Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2014;33(4):358-363. Korean
Published online 2014 November 27. http://dx.doi.org/10.5338/KJEA.2014.33.4.358

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

적색광에 의한 딸기재배의 일장연장 효과

홍성창,[1*] 김민경,[1] 김명현,[1] 최순군,[1] 어진우,[1] 정구복,[1] 소규호[1]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원 기후변화생태과

Effects of Daylength Extension by Red Light in Strawberry Cultivation

Seung-Chang Hong,[1*] Min-Kyeong Kim,[1] Myung-Hyun Kim,[1] Soon-Kun Choe,[1] Jin-Woo Eo,[1] Goo-Bok Jung[1] and Kyu-Ho So[1] ([1]Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science (NAAS), RDA, 166 Nongsaengmyeong-ro, Wanju-gun, 565-851, Korea)

Received: 17 September 2014 / Revised: 20 October 2014 / Accepted: 27 November 2014
Copyright ⓒ 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Many strawberry growers are utilizing daylength extension by using incandescent bulb or fluorescent lamp to break dormancy of strawberry induced by low temperature and short day conditions. Conventional incandescent bulb and fluorescent lamp consume a lot of electricity and have short longevity. Red light known for most efficient wavelength for daylength extension light of short-day plant and long-day plant. This study was conducted to verify the effects of red light to enhance growth and to increase production of strawberry (Fragaria × ananassa Duch. cvs. "Seolhyang")

METHODS AND RESULTS: Three red light (660nm) of 0.70, 0.87, and 1.05 μmol/m^2/s (PAR) and conventional incandescent bulb of 40 Lux were treated respectively under the pot experiment. All treatment irradiated from 18:00 to 24:00 for 6 hours. Red light treatment tend to increase leaf stem number, flower stem number, weight of flower stem, crown weight, root weight, and leaf area of strawberry then incandescent bulb treatment.

In field experiment, red light of 0.7 μmol/m^2/s (PAR) and conventional incandescent bulb of 40 Lux were irradiated respectively. Field experiment showed that the leaf number, leaf weight, and crown weight of strawberry increased than those of incandescent bulb control with red LED of 0.7 μmol/m^2/s (PAR). Red LED treatment increased the fruit number over 15g than incandescent bulb. Furthermore, red LED treatment decreased fruit number below 15g of strawberry than incandescent bulb treatment. Therefore, We believed that red LED treatment increased marketable fruit number by increment of weight of each fruit. Consequently, marketable fruit number, fruit weight, and fruit production of strawberry were increased than those of incandescent bulb by 5 %, 2.9 %, and 8.5 % respectively, but not showed significantly differences.

CONCLUSION: These results presumably due to directly enhanced photosynthesis of strawberry leaves and activated action of Pfr phytochrome form by red light. In conclusion, red LED of 660nm could be used for daylength extension light source to enhance production of strawberry.

Key words: Daylength extension, Growth, Production, Red light, Strawberry

*교신저자(corresponding author): Seung-Chang Hong
Phone: +82-63-238-2501; Fax: +82-63-238-3823;
E-mail: schongcb@korea.kr

서 론

우리나라의 딸기는 재배면적이 6,890 ha, 생산량이 216,803 톤에 이르는 중요한 과채류 작물이다(MAFRA, 2013). 페츄니아와 딸기 같은 장일성식물은 단야(장일) 조건에서 화아가 유도되거나 개화하고(Blanchard *et al.*, 2010) 국화, 들깨와 같은 단일성식물의 화아형성과 개화는 장야(단일) 조건에서 촉진된다(Wilkins *et al.*, 1990). 딸기는 초가을에 화아가 분화하여 겨울에 접어들어 온도가 떨어지면 생육이 거의 멈추는 휴면상태에 들어가 지상부가 납작하게 되는 왜화현상이 일어난다.

딸기의 일장연장재배(전조재배)의 목적은 장일처리에 의한 휴면 억제를 통해 엽면적을 확보하고 광합성량을 증대시켜 최종 과실수량을 높이는 것이다. 딸기의 일장연장재배는 촉성재배에서는 휴면돌입을 막는 역할을 하고 반촉성재배에서는 휴면 타파를 쉽게 하기 위하여 사용한다(Choi *et al.*, 2013).

최근 딸기 촉성재배시 휴면이 얕은 품종을 이용하여 일장연장재배가 감소하는 추세에 있으나 일장연장재배는 딸기의 엽병이 곧추 서게하고, 엽면적도 증가하는 경향이 있어 딸기의 휴면 억제뿐 아니라 딸기 잎의 수광태세를 개선하는 목적도 있다. 지금까지 딸기 일장연장재배에 이용된 광원은 주로 백열등으로 10 a당 60 W 또는 100 W 백열전구 50개 정도를 설치하여 약 20 Lux에서 40 Lux 강도로 야간에 1일 3시간정도 연속조명이나 1시간당 10분씩 간헐조명 하는 것을 권장하고 있다(RDA, 2013). 딸기의 일장연장을 위한 광원으로는 백열등, 전구식형광등, 수은등, 메탈할라이드 램프 등 이 사용되나 모두 에너지 소비가 많고 사용시간이 짧아 자주 교체해 주어야 하는 단점이 있다.

단일성식물과 장일성식물의 일장연장을 위한 가장 유효한 파장은 660 nm의 적색광이며 이 반응을 매개하는 것은 파이토크롬 체계이다(Borthwick and Cathey, 1962). 최근 단일성작물인 들깨(Hong *et al.*, 2012)와 국화(Hong *et al.*, 2013)의 개화를 조절하고 생장을 촉진시키는데 적색광이 이용된 바 있으므로 적색광은 딸기와 같은 장일성식물의 개화조절에도 이용될 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

적색광을 작물의 일장연장에 이용하기 위해서는 단일한 광 파장을 방출하는 LED(Light Emitting Diode)를 이용하는 것이 효과적이다. 그러나 딸기재배에 실용적으로 사용될 수 있는 적정한 적색광 이용방법은 검토된 바 거의 없다. 따라서 본 연구는 적색광을 이용한 딸기의 일장연장 처리기술을 개발하기 위하여 딸기의 생장과 결과촉진에 대한 적색광 처리 효과를 구명하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

적색광 강도별 생육특성 포트실험

본 실험은 2008년 부터 2009년까지 수원시에 소재한 국립농업과학원 시험포장에서 수행하였다. 적색광에 의한 딸기의 일장연장 효과를 검토하기 위해 1/5,000 a 와그너 포트에 원예용 상토(바로커상토, 서울바이오)를 균일하게 충진한 후 딸기(Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang")를 2008년 8월 20일 정식하여 비닐하우스에서 재배하였다. 일장연장처리를 위해 자체 제작한 적색 LED 장치(200×6×3 cm)를 지상으로 부터 200 cm 높이에 설치하여 정식 직후 부터 적색광은 각각 0.70, 0.87, 1.05 μmol/m^2/s (Photosynthetically Active Radiation, PAR) 강도로 처리하였고 관행 농가들이 사용중인 백열등을 대조구로 40 Lux 강도로 처리하였다. 일장연장 처리시간은 18:00 부터 24:00 까지 연속적으로 6시간 동안 처리하였다. 각 처리별 딸기의 생육특성은 정식후 90일 후인 11월 20일 조사하였고 착과특성은 12월 20일 부터 4회 조사하였다. 시험구는 백열등 처리구와 적색광 강도별 처리구를 완전임의배치법으로 배치하였고 각 처리구에서 생육이 균일한 딸기 식물체 10주를 조사하였다. 각 처리별 적색광 강도는 광센서 SKP-215(Skyeinstruments, UK)를 이용하여 측정하였다.

일장연장 광원별 재배포장실험

본 실험은 2009년 부터 2010년까지 충남 예산군 시험포장의 토경재배 비닐하우스에서 수행하였다. 일장연장 광원별 딸기의 생육특성과 착과특성을 조사하기 위해 시험포장의 토경재배 비닐하우스에 딸기(Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang")를 2009년 8월 15일에 정식한 후 2010년 4월 30일 까지 재배하며 수행하였다. LED는 원추형 농업용 LED 장치를 이용하여 지상으로부터 2.5 m 높이에 9 m ×2 m 간격으로 설치하였다. 일장연장 처리시간은 18:00 부터 24:00까지 연속적으로 6시간 동안 처리하였고, 광처리는 정식후 100일 후인 11월 25일 부터 생육후기인 4월 30일 까지 실시하였다. 일장연장 광원별 광 강도는 백열등 40 Lux, 적색광 0.7μmol/m^2/s (PAR)로 처리하였다. 적색광 처리구의 광 강도는 광센서 SKP-215(Skyeinstruments, UK)를 이용하여 측정하였다. 광원별 처리구의 면적은 백열등 처리구 450 m^2, 적색광 처리구 450 m^{2}를 각각 조성하였다. 정식후 49일인 10월 4일 딸기의 생육특성을 조사하였다. 광원 처리별로 생육이 균일하게 이루어진 식물체 5주를 엄선하여 조사지점을 설치하여 착과수, 과실무게를 조사하였다. 각 처리별 반복은 4반복으로 시행하였고 딸기의 착과와 성숙이 진행됨에 따라 2009년 12월 21일 부터 2010년 2월 22일까지 9회 조사하였다.

실험결과의 통계분석은 *R* 통계패키지 (Ver 2.3.1)를 이용하여 t-test로 처리간 유의성 (p<0.05)을 분석하였다.

결과 및 고찰

적색광 강도별 생육특성 포트실험 관행의 백열등을 대조구로 하고 적색광의 강도를 3수준으로 조절하여 일장연장 처리 후 딸기의 개화와 생육특성을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Growth characteristics of strawberry (Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang") affected by incandescent bulb and red light intensities for daylength extension

Light treatment	Number of leaf stem (no/plant)	Number of flower stem (no/plant)	Flower stem weight (g/flower stem)	Root weight (g/plant)	Leaf area (cm^2/plant)
Incandescent bulb*	10.8	2.5	5.0	21.4	897
Red light** 0.70	7.7	2.5	4.5	22.4	821
Red light 0.87	11.2	3.3	6.0	22.6	920
Red light 1.05	14.0	3.7	6.4	24.5	1,232

* : Incandescent bulb : 40 Lux, ** : μmol/m^2/s (PAR), Replication = 1

딸기의 엽병 수, 화경의 수는 적색광 처리구에서 대조구인 백열등을 이용한 일장연장 처리보다 증가하는 경향이었고, 적색광의 강도가 1.05 μmol/m^2/s 까지 증가할수록 엽병과 화경의 수는 증가하는 경향이었다.

화경의 무게, 뿌리의 무게도 적색광 처리에서 백열등 처리보다 증가하는 경향이었다. 딸기의 엽면적은 적색광 0.87 μmol/m^2/s 과 1.05 μmol/m^2/s 처리구에서 백열등 처리구보다 증가하는 경향이었다.

Taiz 등(2006)은 적색광을 이용한 파야처리는 개화를 촉진하며 연이은 초적색광 처리는 적색광에 의한 반응을 상쇄시키고 이 반응은 파이토크롬이 연관되어 있다고 하였다.

Hong 등(2012)은 적색광으로 일장연장 처리시 들깨의 엽면적, 엽생체중, 엽생산량은 관행의 전구식형광등 보다 증가된다고 하였다. 또 Hong 등(2013)은 적색광으로 일장연장 처리시 국화의 초장, 엽면적, 엽생체중, 엽생산량은 관행의 전구식형광등 처리보다 증가된다고 하였다.

Table 1의 결과는 Hong 등(2013)이 적색광으로 들깨와 국화에 일장연장 처리하여 초장, 엽면적, 엽생체중을 증가시킨 결과와 유사한 경향이었다. 따라서 적색광 처리는 백열등을 이용한 일장연장 처리보다 저온단일기 딸기의 엽면적을 충분히 확보하게 하는 것으로 판단된다.

백열등을 대조구로 하고 적색광의 강도를 3수준으로 조절하여 일장연장 처리 후 딸기의 착과특성을 조사한 결과는 Table 2와 같다.

딸기 과실수와 과실무게는 적색광 처리가 백열등 처리 보다 증가하는 경향이었다. 과실수와 과실무게의 증가로 총 과실무게도 적색광 처리가 백열등 처리 보다 증가하는 경향이었다. 딸기의 과실수와 과실무게는 적색광 0.70 μmol/m^2/s 이상의 강도 처리구에서 백열등 처리구 보다 증가하였다. 과실수의 증가는 Table 1의 화경수 증가에 따른 결과로 판단된다.

또한, 적색광의 강도가 1.05 μmol/m^2/s 까지 증가할수록 과실수, 과실무게, 총 과실무게가 증가하는 경향이었다. 특히, 적색광 처리에 의해 과실수가 증가하였지만 적색광 0.7과 1.05 μmol/m^2/s 처리구에서 과실무게는 감소가 되지 않았다. Saebo 등(1995)은 적색광은 광합성 기구의 발달에 중요하고 몇몇 식물종에서는 광합성 산물을 잎 이외의 기관으로의 이동을 억제하여 잎에 전분의 축적이 증가되도록 한다고 하였고, Kasperbauer 과 Hamilton(1984)은 적색광을 처리한 담배잎은 그라나가 많고 전분립의 크기가 크다고 하였다. 따라서 향후 적색광의 생리작용에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

일장연장 광원별 재배포장실험

딸기에 대한 일장연장 광원별 효과를 검토하기 위해 적색 LED와 관행의 백열등을 이용하여 시험포장에서 일장연장 처리(Fig. 1) 후 딸기의 생육특성을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

이때 적색광의 처리 강도는 Table 2에서 딸기의 과실무게와 총과실 무게를 증가시킨 적색광 강도인 0.7 μmol/m^2/s 로 처리하였다. 적색광 강도는 실용적인 측면에서 설치시의 경제성 등을 고려하여 0.7 μmol/m^2/s 로 처리하였다.

Hong 등(2012)은 들깨의 개화억제를 위한 한계 적색광 강도는 0.7 μmol/m^2/s (PAR)라 하였고 Hong 등(2013)은 국화의 개화억제를 위한 한계 적색광 강도는 1.4 μmol/m^2/s (PAR)라 하였다.

Table 2. Fruit characteristics and total fruit weight of strawberry (Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang") affected by incandescent bulb and red light intensities for daylength extension

Light treatment	Fruit number (no/plant)	Fruit weight (g/fruit)	Total fruit weight (g/plant)
Incandescent bulb*	8.8	8.1	71.3
Red light** 0.70	9.5	9.0	85.5
Red light 0.87	11.1	7.9	87.7
Red light 1.05	12.2	10.2	124.4

*: Incandescent bulb 40 Lux, **: μmol/m^2/s (PAR), Replication = 1

Fig. 1. Photographs showing the daylength extension treatment by using conventional incandescent bulb (left) and red LED (right) in strawberry at plastic house during field experiment.

Table 3. Growth characteristics of strawberry (Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang") affected by incandescent bulb and red LED for daylength extension

Light source	Number of leaf (no/plant)	Fresh weight (g/plant)				
		Leaf	Leaf stem	Flower stem	Crown	Total fresh weight
Incandescent♪ bulb	16.0±1.0♪♪♪	32.7±1.7	17.4±2.6	14.7±4.7	12.1±1.2	76.9±4.4
Red LED♪♪	21.0±12.1	52.2*±30.3	34.5*±18.6	22.9±15.3	22.4*±13.6	132.0*±77.0

♪ : Incandescent bulb 40 Lux, ♪♪ : Red LED 0.7μmol/m²/s (PAR)
♪♪♪ : Standard deviation
* : Mean separation within columns by t-test at 5% level

딸기의 엽수, 화경 생체중은 적색 LED 처리구가 대조구인 백열등 처리보다 높은 경향이었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타내지 않았다.

딸기의 엽 생체중과 엽병 생체중, 크라운 생체중은 적색 LED 처리가 백열등 처리 보다 유의하게 컸고 총 생체중도 적색 LED 처리가 백열등 처리보다 유의하게 컸다.

적색 LED 처리가 백열등 처리보다 딸기의 엽, 엽병, 화경 등 지상부와 크라운과 뿌리의 지하부 생장을 모두 촉진한 것을 확인할 수 있다(Fig. 2). 적색광에 의한 딸기 엽병의 신장 촉진은 경엽의 수광태세를 개선하고 특히, 크라운 부위에서 새로 발생하는 잎의 광 입사에 유리하게 작용한 것으로 판단된다.

Fig. 2. Growth characteristics of strawberry affected by two different daylength extension light sources (left : incandescent bulb, right : red LED).

적색 LED와 백열등을 이용하여 일장연장 처리하면서 생육기간 중 주기적으로 조사한 딸기의 수확 과실수와 수확량은 Table 4와 같다.

적색 LED 처리로 백열등 처리보다 딸기의 수확과실수 5%, 수확과실의 개당 무게는 2.9% 증가하는 경향이었고, 수

Table 4. Fruit number and weight of strawberry (Fragaria ×ananassa Duch. cvs. "Seolhyang") fruit affected by different light sources for daylength extension

Light source	Number of fruit (no/5 plant)	Weight per fruit (g/fruit)	Total fruit weight (g/5 plant)
Incandescent bulb♪	60.0±13.4♪♪♪	20.3±1.3	1214.5±260.0
Red LED♪♪	63.0±11.6	20.9±0.2	1317.4±239.3

♪ : Incandescent bulb : 40 Lux, ♪♪ : Red LED 0.7 μmol/m²/s (PAR)
♪♪♪ : Standard deviation
Mean separation within columns by t-test at 5% level

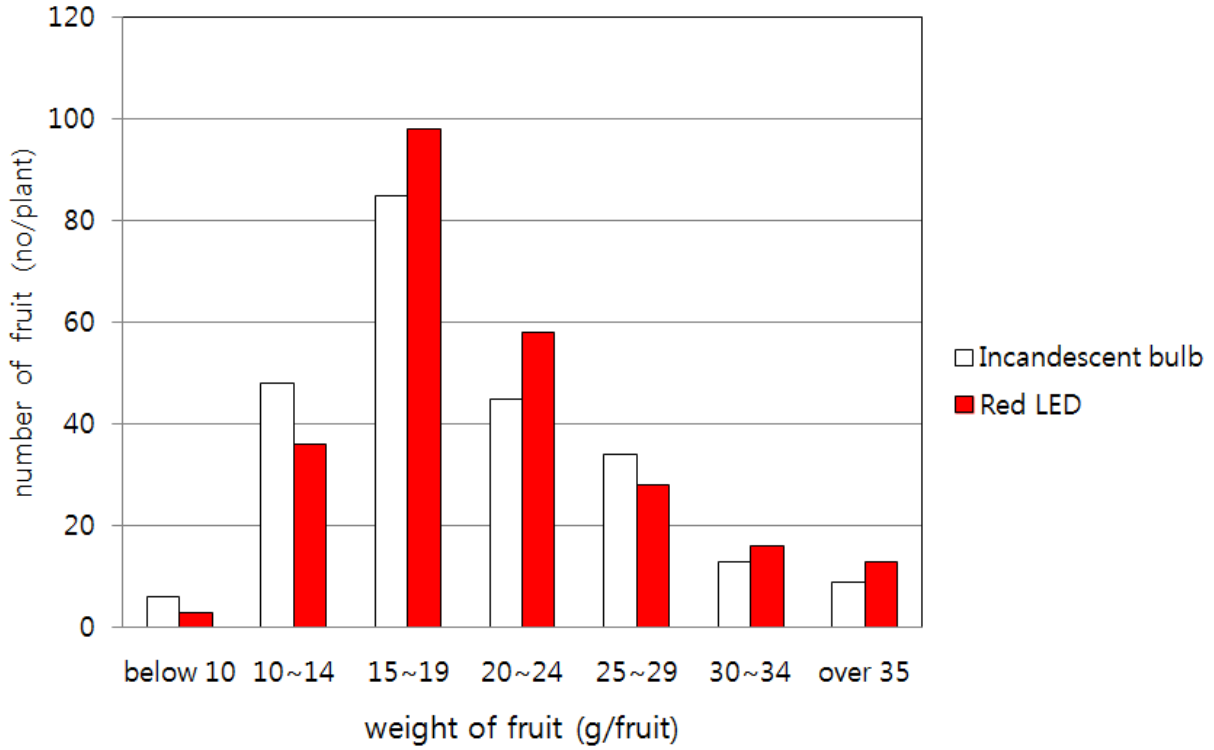

Fig. 3. Distribution of fruit weight of strawberry treated with incandescent bulb and red LED for daylength extension.

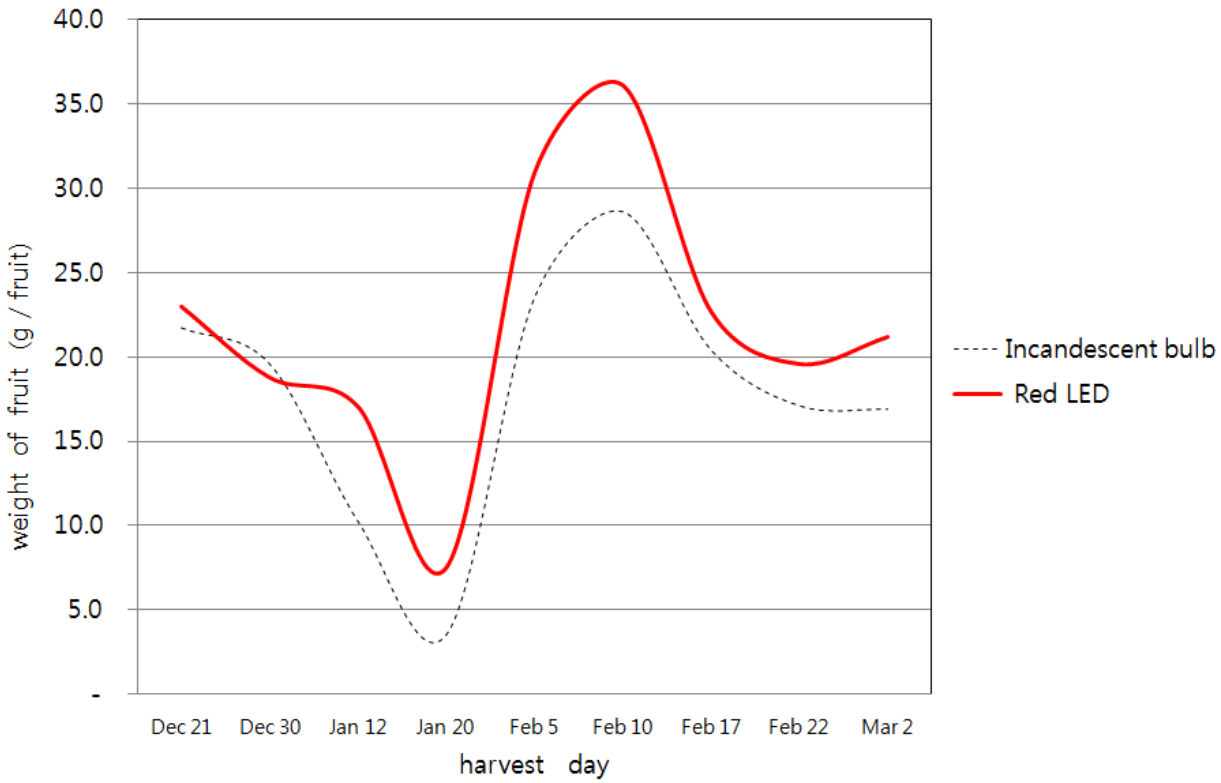

Fig. 4. Time courses of fruit weight of strawberry treated with incandescent bulb and red LED for daylength extension light source.

확과실수와 수확과실의 개당 무게의 증가로 딸기의 총생산량은 약 8.5% 증가하는 경향이었다.

딸기의 총생산량은 8.5% 증가한 경향이나 통계적으로는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 백열등과 적색광 광원별 딸기의 수량반응은 추후 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

Fig. 3은 Table 4의 총 수확량을 조사한 딸기 과실을 개당 무게별로 분포비율을 산출하여 나타낸 것으로 적색 LED 처리는 백열등 처리보다 15～19 g, 20～24 g의 딸기과실의 수가 많았고 30～34 g, 35 g 이상의 과실수도 많았다. 반면에 10～14 g, 10 g 미만의 딸기 과실수는 백열등 처리구가 적색 LED 처리구 보다 많았다.

따라서 적색 LED 처리는 백열등 처리보다 딸기의 개당 무게를 증가시켜 상품성 있는 15 g 이상의 과실을 증가시킨 것으로 판단된다.

Fig. 4는 2009년 12월 21일 부터 2010년 3월 2일까지 9차례에 걸쳐 수확한 딸기 과실의 개당 무게 변화를 나타낸 것이다. 딸기 과실의 무게는 3차조사인 1월 12일 부터 9차 조사인 3월 2일까지 적색 LED 처리가 백열등 처리구 보다 무겁게 경과하였다.

요 약

본 연구는 적색광(660 nm)을 이용한 딸기(Fragaria × ananassa Duch. cvs. “Seolhyang”)의 일장연장 처리효과를 구명하고자 수행하였다. 포트실험에서 관행의 백열등 40 Lux와 적색광 0.70, 0.87, 1.05 μmol/m^2/s (PAR)에 의한 일장연장 처리는 백열등 처리 보다 적색광 강도가 증가할수록 딸기의 초장, 엽수, 과실무게가 증가하는 경향이었다. 재배포장실험에서 적색 LED 0.7 μmol/m^2/s 강도의 일장연장 처리는 관행의 백열등 40 Lux 처리 보다 딸기의 엽 생체중, 엽병 생체중, 크라운 생체중과 총 생체중을 유의하게 증가시켰다. 적색 LED 처리가 백열등 처리 보다 딸기의 과실수는 5%, 과실무게는 2.9%, 딸기 수확량은 8.5% 증가시키는 경향이었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타내지 않았다. 적색 LED 처리는 백열등 처리보다 상품성 있는 15 g 이상의 딸기 과실 수를 증가시키는 경향을 보였다. 따라서 딸기의 일장연장을 위한 광원으로 적색 LED도 이용될 수 있을 것으로 기대되며 향후 관련 연구가 계속 수행되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgment

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development(Project No. PJ010063)”, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

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.

Borthwick, H.A., Cathey, H.M., 1962. Role of phytochrome in control of flowering of chrysanthemum, *Botancial Gazette* 123, 155-162.

Choi, H.G., Jeong, H.J., Moon, B.Y., Bekhzod, K., Kwon, J.K., Park, K.S., Lee, S.Y., Cho, M.W., Kang, N.J., 2013. Effects of supplemental LED lightings on fruit quality and yield of strawberry, *J. Agric. Life Sci. Gyeongsang Natl. Univ.* 47, 49-56.

Higuchia, Y., Sumitomoa, K., Odaa, A., Shimizub, H., Hisamatsua, T., 2012. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering, *J. Plant Physiol.* 169, 1789-1796.

Hong, S.C., Kwon, S.I., Kim, M.K., Chae, M.J., Jung, G.B., Kang, K.K., 2012. Flowering control by using red light of Perilla, *Korean. J. Environ Agric.* 31, 224-228.

Hong, S.C., Kwon, S.I., Kim, M.K., Chae, M.J., Jung, G.B., So, K.H., 2013. Flowering control by using red light of Chrysanthemum, *Korean. J. Environ. Agric.* 32, 123-127.

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, *J. Plant Physiol.* 74, 967-960.

Saebo, A., Krekling, T., Appelgren, M., 1995. Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro, *Plant Cell Tissue Organ. Culture* 41, 177-185.

Taiz, L., Zeiger, E., 2006. *Plant physiology*, pp. 655-656. fourth ed. Sinauer Associates Inc, USA.

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.