

Original article

스마트 팜에서의 광 특성에 따른 인삼의 광합성률 변화

이정민 · 박재훈 · 이응필¹ · 김의주 · 박지원 · 유영한*

국립공주대학교 생명과학과, ¹국립생태원 외래생물연구팀

Changes in Photosynthetic Rate of Ginseng under Light Optical Properties in Smart Farms. Jung-Min Lee (0000-0002-6630-0685), Jae-Hoon Park (0000-0002-7905-8998), Eung-Pill Lee¹ (0000-0002-0014-8465), Eui-Joo Kim (0000-0002-9249-7055), Ji-Won Park (0000-0002-2691-4236) and Young-Han You* (0000-0002-9039-7595) (Department of Life Science, Kongju National University, Gongju 32588, Republic of Korea; ¹Invasive Alien Species Research Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea)

Abstract Smart farm is a high-tech type of plant factory that artificially makes environmental conditions suitable for the growth of plants and manages them to automatically produce the desired plants regardless of seasons or space. This study was conducted by identifying the effects of Hertz and Duty ratio on the photosynthetic rate of ginseng, a medicinal crop, to find the optimal conditions for photosynthetic responses in smart farms. The light sources consisted of a total of 10 chambers using LED system, with 4 R + B (red + blue) mixed lights and 6 R + B + W (red + blue + white) mixed lights. In addition, the Hertz of the R + B mixed light was treated at 20, 60, 180, 540, 1620 and 4860 hz respectively. The R + B + W mixed light was treated with 60, 180, 540, and 1620 hz. Afterwards, experiments were conducted with the duty ratio of 30, 50, and 70%. As a result, the photosynthetic rate of ginseng according to duty ratio and Hertz was the highest at 60 hz when duty ratio was set to 50%. On the other hand, that was the lowest when the duty ratio was 30% at the same 60 hz. In addition, the photosynthetic rates were highest in the R + B mixed light and R + B + W mixed light at 60 hz. Therefore, the condition with the highest photosynthetic rate of ginseng in smart farms is 60 hz when the duty ratio in R + B mixed light is 50%.

Key words: medicinal plant, automatically, light treatment, LED system, artificial light, plant factory

서 론

스마트 팜은 융·복합 차세대 농업기술로서 식물 재배에 자동화, 광제어와 IT 등의 최첨단방법을 이용하는 것으로서, 고품질의 무공해 농작물 등을 연중 지속적 생산을 가능하게 함으로써 농업의 경쟁력을 높이고 경제와 사업분

야에서 새로운 성장 동력의 창출을 기대할 수 있는 시설이다 (Rural Development Administration, 2013).

최근 잦은 이상기후에 의한 여러 가지 기상이변과 제약된 공간에서도 안정적으로 작물 생산이 가능한 스마트 팜이 최근 큰 관심을 받고 있다 (Kim *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2019; Park, 2020). 이러한 스마트 팜은 고품질의 농작물을 생산하기 위해 경제성 및 생산성을 확보할 수 있는 적절한 재배 시스템이 필요하다 (Cho *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014). 최근 식물재배용 조명으로 많이 이용되고 있는

Manuscript received 18 August 2020, revised 7 September 2020, revision accepted 8 September 2020

* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8508, Fax: +82-41-850-0957
E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

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, provide the original work is properly cited.

LED는 단색광으로서 특정 파장역만을 갖는 광질을 선택하여 식물 재배가 가능하며, 광합성 촉진 및 사포닌 증가 등의 기능을 수행할 수 있다(Kim *et al.*, 2005; Hyun *et al.*, 2010).

또한 LED가 기존의 스마트 팜 조명과 비교하여 갖는 중요한 장점은 매우 짧은 주기의 펄스조명(pulsed lighting)이 가능하다는 것이다(Mori *et al.*, 2002a). 완전제어형 스마트 팜과 같이 광조사를 위한 전력 비용이 문제가 되는 시스템에서는 단위 광량당 광합성량을 증가시키는 것이 매우 중요하다(Kim *et al.*, 2014).

인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer)은 두릅나무과에 속하는 반음지성, 호냉성 다년생 식물로서 향압, 면역증강, 혈압강하, 혈당강하 및 항산화 효과 등 약리·효능면에서 그 우수성을 인정받고 있는 약용작물이다(Lee, 2014).

현재 기후변화에 의한 고온장해로 인하여 인삼의 생산량 및 품질이 낮아지고 있어 단기·다수확 재배기술의 개발이 시급한 상황이다(Lee *et al.*, 2012; Lee, 2014). 광원과 빛의 밀도에 따른 인삼의 생육, 2차대사산물의 효능 및 효과에 대한 연구 결과들은 보고되었지만(Han, 2003; Kim *et al.*, 2009) 스마트 팜 내에서 Hertz와 Duty ratio에 대한 인삼의 광합성률에 대한 연구는 부족한 실정이다. Hertz (hz, 헤르츠)란 일정한 크기의 전류나 전압 또는 진동과 같은 주기적 현상이 단위 시간(1초) 동안 반복되는 횟수를 나타내며, 예를 들어 1헤르츠란 진동이나 주기적 현상이 1초 동안 1회 반복됨을 의미한다. Duty 비는 주기를 갖는 펄스(pulse)에서 쓰이는 용어로 전류가 흐르지 않은 시간에 대한 전류가 흐른 시간의 비를 말하며 즉, 한 주기 동안 펄스가 on 상태인 시간의 비율을 말한다(Jao and Fang, 2004). 또한 광합성의 반응경로는 빛이 필요한 명반응과 빛이 필요 없고 포도당(glucose)을 생성하는 암반응이 있다(Takatsuji, 1996). 광 강도가 강하면 암반응이 전자전달속도를 제어하는 제어인자(rate-limiting factor)가 되며, 광포화 현상이 발생한다(Mori *et al.*, 2002a). 이때 빛을 필요로 하지 않는 기간에는 빛을 주지 않고 이 기간과 같거나 짧은 기간 동안 빛을 주는 펄스광을 이용한다면 단위 광량당 광합성량을 증가시켜 효율적인 재배가 가능하다(Mori *et al.*, 2002a). 식물의 광계 II 중심의 Chlorophyll P680의 환원속도의 경우 약 200 μ s (5000 hz), 광계I 중심의 chlorophyll P700의 환원속도는 약 20 ms (50 hz)이며 상추 'Natsuyo-Saradana'의 경우, 펄스주기 10~400 μ s (2500 hz~100000 hz)일 때 duty 비 50%에서 백색 LED에 의해 성장속도와 광합성속도가 증가하였는데, 특히 펄스주기가 400 μ s (2500 hz)일 때 연속광 대비 20%가 증가되었다(Mori *et al.*, 2002a).

이러한 결과를 토대로 볼 때 스마트 팜의 경제성을 높일 다양한 방법들이 있지만, 펄스광에 의한 에너지 절감 기술의 개발은 가능성이 높다(Mori *et al.*, 2002a; Kim and You, 2013; Kim *et al.*, 2014).

따라서 본 연구에서는 수종의 작물 중 약용작물인 인삼을 대상으로 스마트 팜 내에서 LED 광원, Hertz와 duty 비에 따른 광합성률을 알아보고 재배에 가장 적합한 조건을 확인하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재배 및 관리

실험에 사용된 인삼은 2014년 03월에 (주)백년인삼농산에서 1년생 종삼을 구입하여 화분(지름 25 cm×높이 20 cm)에 5개체씩 이식하여 총 10개의 광 조건에서 광조건별로 2개의 화분(총 10개체씩)씩 배치하였고, 3개월간 재배하였다. 스마트 팜의 공기순환을 위해 스마트 팜의 양쪽 끝에 환풍기를 설치하였고, 내부 온도와 습도를 조절하기 위해서 냉·온풍기(SS-2000, Zero engineering, Korea)와 가습기(Fox-1H, Parus Co, Cheonan-si, Korea)를 사용하였다. 그리고 스마트 팜의 온도, 습도와 광은 LCS EMS (PARUS Co., Cheonan-si, Korea)를 이용하여 실험기간 내에 24시간 동안 10분 간격으로 측정하였다. 토양은 모래와 원예용 상토(한아름 원예용상토, 신성미네랄)를 4:1의 비율로 섞어 사용하였고, 수분은 2~3일 간격으로 공급하였다. 비료는 유기물 70%, 질소 4.3%, 인산 1.7%, 칼륨 1% 등으로 이루어진 비료(흙살골드, 케이지케미칼(주))를 3%로 물에 희석하여 일주일에 1회 공급하였다. 재배기간 동안 스마트

Table 1. LED sources and hertz used red (R), blue (B), white (W) LED in ten light treatments.

Treatment	LED source	Duty ratio (%)			Hertz (hz)
T1					20
T2					60
T3	Red + Blue	30	50	70	180
T4					540
T5					1620
T6					4860
T7					60
T8	Red + Blue + White	30	50	70	180
T9					540
T10					1620

팜 내 온도는 $22 \pm 4.00^\circ\text{C}$, 습도는 $67 \pm 8.05\%$ 이었다.

2. 광원처리

본 연구에서는 LED grow light 시스템(Parus Co. 2010)을 이용하여 적색+청색(R+B)과 적색+청색+백색(R+B+W) 혼합광으로 총 10개의 구배로 구성하였다(Table 1). 각 광원의 종류를 구성하는 PGL-Box (Plant factory)의 크기는 모두 $120\text{ cm} \times 52\text{ mm}$ 이고 소비 전력은 160 watt이다. 식물의 광합성에 주로 이용되는 파장 대역은 엽록소의 광 흡수 스펙트럼에 해당하는 청색광(B) (400~500 nm), 적색광(R) (600~700 nm)이 있으며(Hong, 2012), 광합성 효율은 적색광(R), 청색광(B), 녹색광(G)의 순으로 높다(Khan and Abas, 2011). 각 광원별 최적 스펙트럼은 적색광(R)이 630~660 nm, 청색광(B)이 440 nm, 백색광(W)은 450~540 nm에서 최대 피크를 보였다.

3. Hertz와 Duty 비

본 연구에서는 Chlorophyll P700 (광계I)의 환원속도는 약 20 ms (50 Hz), Chlorophyll P680 (광계II)의 환원속도의 경우 약 200 μs (5000 Hz)인 것을 고려하여 R+B 혼합광의 Hertz를 20, 60, 180, 540, 1620, 4860 Hz로, R+B+W 혼합광은 60, 180, 540, 1620 Hz로 각각 처리하고, 여기에 각각 duty 비 30%, 50%, 70%에서 실험을 진행하였다.

적색과 청색광은 식물의 광합성에 주로 이용하는 광 파장으로 알려져 있기 때문에 스마트 팜에서는 대부분 적색과 청색 혼합광을 적용하여 재배하고 있다(Park, 2020). 또한 최근에는 스마트 팜 내에서 LED 광원을 이용하여 적색+청색(R+B) 혼합광에 백색광(W)을 추가해서 실험하는 경향이 있다(Kim and You, 2013; Kim *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2016). 따라서 적색+청색+백색(R+B+W) 혼합광에서는 적색+청색(R+B) 혼합광에서 처리한 Hertz값들 중 최저값과 최대값을 제외한 중간값들에 해당하는 60, 180, 540, 1620 Hz로 처리하여 실험하였다.

본 연구에서 사용한 Hertz 단위는 Duty 비를 기초로 하여 on-off의 진동수의 단위를 표현하기 위해 사용하였다.

4. 광합성률 측정

광합성률은 인삼에서 일사량이 광포화점보다 높은 오전 10시부터 12시 사이에 광합성측정기(LCi Ultra Compact Photosynthesis System, ADC 2005)를 이용하여 생장단계에 있는 2014년 5월에 측정하였다. 측정 당시 스마트 팜 내 온도는 $22 \pm 4.41^\circ\text{C}$, 습도는 $63 \pm 9.29\%$ 였다.

5. 통계분석

정규분포 여부를 Kolmogorov-smirnov test를 이용하여 확인하였고, 정규분포를 따르지 않아($p < 0.05$) 비모수 통계분석(Nonparametric analysis)을 실시하여 각 환경구배별 차이를 확인하였다. 구배별 차이의 유의성은 Mann-Whitney U Test와 Median Test로 확인하였다. 모든 통계적 분석은 STATISTICA 7 (Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. Duty 비 30% 내 광원과 Hertz에 따른 광합성률 비교

Duty 비 30%에서는 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광 모두 Hertz별 구배 간에 서로 차이가 없었다(Fig. 1). 또한 Han (2003)의 야외 벚꽃지붕에서 생육하여 측정한 인삼의 광합성률은 $2.66\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 이었다. 이러한 결과는 본 연구 실험결과의 것보다 7.6% 낮았는데, 이는 인삼은 야외에서 재배하는 것보다 스마트 팜에서 duty 비가 30%일 때 재배하는 것이 광합성률을 높일 수 있는 조건임을 의미하는 것이다.

2. Duty 비 50% 내 광원과 Hertz에 따른 광합성률 비교

Duty 비가 50%에서는 R+B 혼합광이 60 Hz일 때 인삼의 광합성률($7.74 \pm 0.40\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)이 가장 높았고, 540 Hz일 때($2.30 \pm 0.23\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) 가장 낮았으며, R+B+W 혼합광에서는 서로 차이가 없었다(Fig. 2).

두 광원에서 Hertz가 동일한 구배 간에 비교할 때 60 Hz일 때 R+B 혼합광($7.74 \pm 0.40\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광($5.45 \pm 0.20\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)의 인삼의 광합성률은 전자에서 후자에서보다 높았다. 180 Hz일 때 R+B 혼합광($3.82 \pm 2.19\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광($4.66 \pm 1.11\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 차이가 없었다. 540 Hz일 때 R+B 혼합광($2.30 \pm 0.23\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광($4.42 \pm 1.63\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 후자에서 전자에서보다 높았다. 1620 Hz일 때 R+B 혼합광($4.71 \pm 1.57\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광($3.58 \pm 1.35\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 차이가 없었다(Fig. 2).

또한 Han (2003)의 야외 차광판에서 생육하여 측정한 인삼의 광합성률은 $4.61\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 이었다. 이러한 광합성률 값은 본 연구 실험결과의 것보다 40.4% 낮았는데, 이는

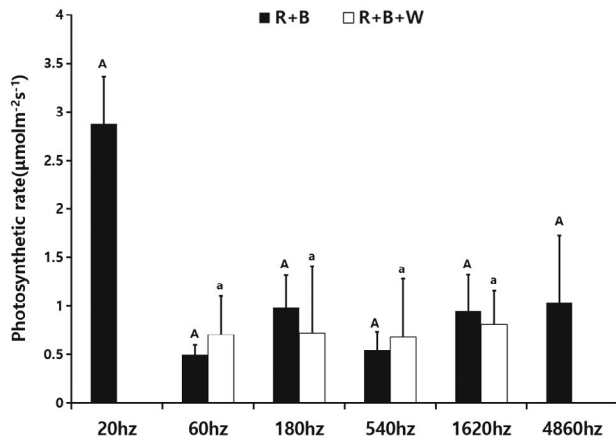


Fig. 1. Photosynthetic rate of ginseng on different hertz of red + blue mixed light and hertz of red + blue + white mixed light in treatment adjusted by 30% duty ratio in smart farm. The different letters and star (*) on the bars refer to significantly differences among light treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

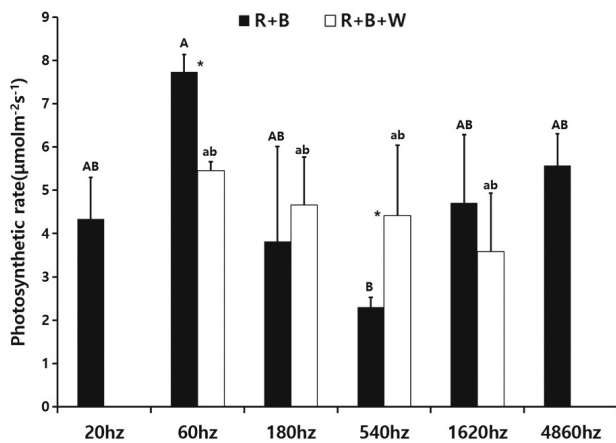


Fig. 2. Photosynthetic rate of ginseng on different hertz of red + blue mixed light and hertz of red + blue + white mixed light in treatment adjusted by 50% duty ratio in smart farm. The different letters and star (*) on the bars refer to significantly differences among light treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

인삼은 야외보다 스마트 팜에서 duty 비가 50%일 때 재배하는 것이 광합성률을 높일 수 있는 조건임을 의미하는 것이다.

3. Duty 비 70% 내 광원과 Hertz에 따른 광합성률 비교

Duty 비가 70%에서는 R+B 혼합광이 60 hz일 때 인삼의 광합성률 ($7.15 \pm 0.36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)이 가장 높았

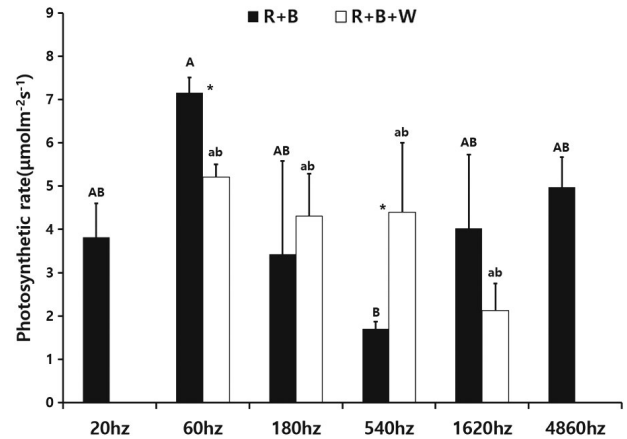


Fig. 3. Photosynthetic rate of ginseng on different hertz of red + blue mixed light and hertz of red + blue + white mixed light in treatment adjusted by 70% duty ratio in smart farm. The different letters and star (*) on the bars refer to significantly differences among light treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

고, 540 hz일 때 ($2.30 \pm 0.23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 가장 낮았으며 R+B+W 혼합광에서는 구배 간에 차이가 없었다(Fig. 3).

두 광원에서 Hertz가 동일한 구배 간에 비교할 때 60 hz일 때 R+B 혼합광 ($7.15 \pm 0.36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광 ($5.20 \pm 0.29 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 전자에서가 후자에서보다 높았다. 180 hz일 때 R+B 혼합광 ($3.43 \pm 2.15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광 ($4.30 \pm 0.98 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 서로 차이가 없었다. 540 hz일 때 R+B 혼합광 ($1.70 \pm 0.16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광 ($4.39 \pm 1.60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 후자에서가 전자에서보다 높았다. 1620 hz일 때 R+B 혼합광 ($4.03 \pm 1.70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)과 R+B+W 혼합광 ($2.12 \pm 0.63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서 자라는 인삼의 광합성률은 서로 차이가 없었다(Fig. 3).

또한 Han (2003)의 야외 차광망에서 생육하여 측정된 광합성률은 $4.12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다. 이러한 광합성률 값들은 본 연구 실험결과의 것보다 42.4% 낮은 것이다.

이것을 토대로 판단해볼 때 인삼은 야외보다 스마트 팜에서 duty 비가 70%일 때 재배하는 것이 광합성률을 높일 수 있는 조건임을 의미하는 것이다.

4. 동일한 Hertz 내 Duty 비에 따른 광합성률 비교

본 연구에서 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서의 Hertz 구배 처리를 다르게 하였는데, 주로 R+B 혼합광

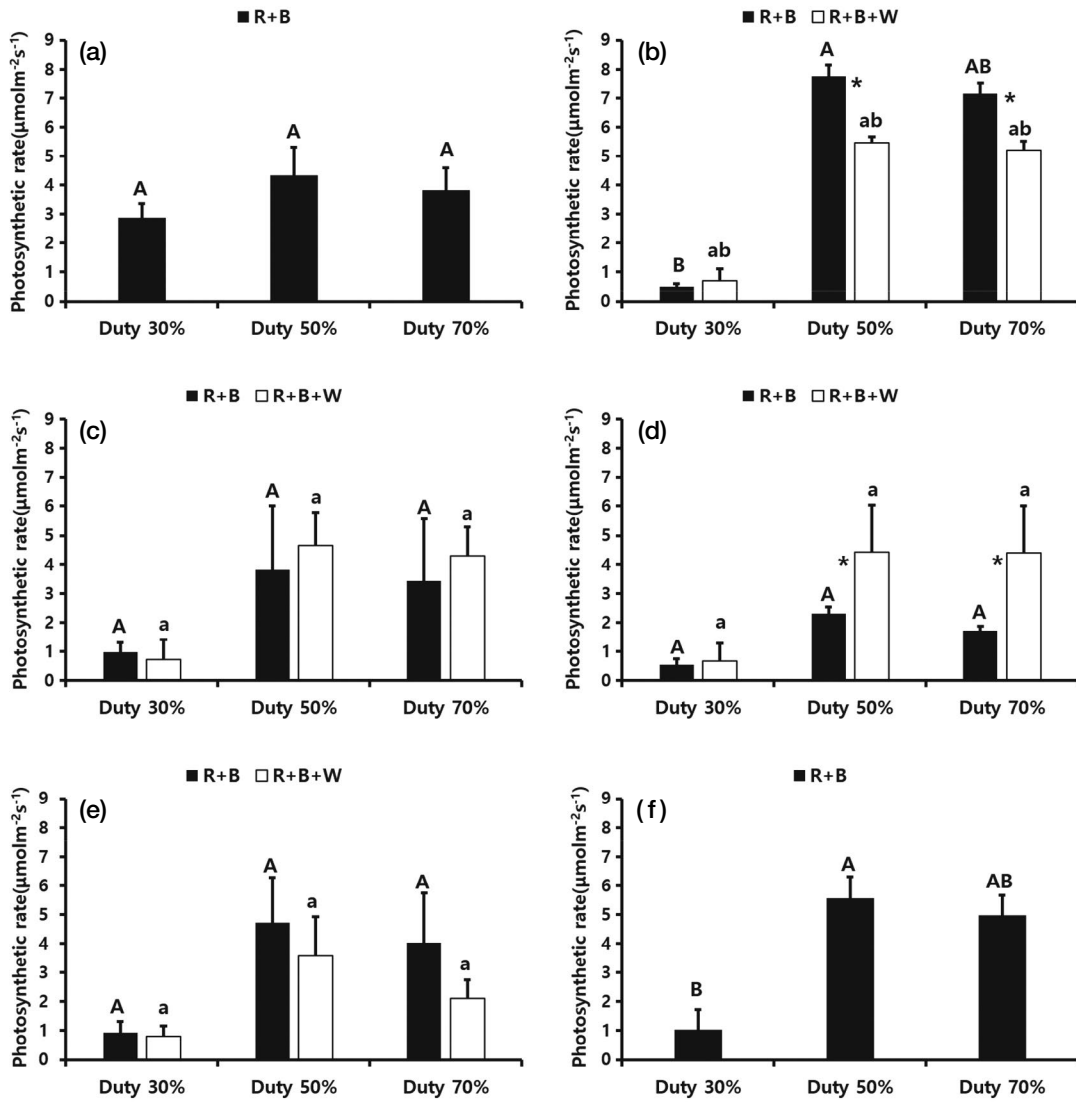


Fig. 4. Photosynthetic rate of ginseng on different duty ratio of red + blue mixed light and duty ratio of red + blue + white mixed light in treatment adjusted by (a) 20 hz, (b) 60 hz, (c) 180 hz, (d) 540 hz, (e) 1620 hz, (f) 4860 hz in smart farm. The different letters and star (*) on the bars refer to significantly differences among light treatments (Fisher’s least significant difference, $P < 0.05$).

에서의 인삼의 광합성률을 관찰하였고, 부가적으로 R + B + W 혼합광에서의 인삼의 광합성률을 보기 위해 R + B 혼합광의 구배를 더 많이 설정하였다.

20 hz일 때 R+B 혼합광에서는 duty 비에 따른 인삼의 광합성률 간에 차이가 없었다(Fig. 4a).

60 hz에서 R+B 혼합광이 duty 비 50%일 때 인삼의 광합성률이 가장 높았으며 duty 비 30%일 때 가장 낮았다. R+B+W 혼합광에서는 광합성률 간 차이가 없었다. 두 광원에서 duty 비가 동일한 구배 간에 비교할 때 duty 비 30%에서는 구배 간 차이가 없었다. Duty 비 50%일 때 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서 자라는 인삼의 광합

성률은 전자가 후자보다 높았다. Duty 비 70%일 때 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서 자라는 인삼의 광합성률은 전자가 후자보다 높았다(Fig. 4b).

180 hz에서는 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광 모두 구배 간에 차이가 없었으며 두 광원에서 duty 비가 동일한 구배 간에도 차이가 없었다(Fig. 4c).

540 hz에서는 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광 모두 구배 간에 차이가 없었다. 두 광원에서 duty 비가 동일한 구배 간에 비교 시 duty 비 30%에서는 차이가 없었다. Duty 비 50%일 때 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서 자라는 인삼의 광합성률은 후자가 전자보다 높았다. Duty 비

70%일 때 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서 자라는 인삼의 광합성률은 후자가 전자보다 높았다(Fig. 4d).

1620 hz에서는 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광 모두 구배 간에 차이가 없었으며 두 광원에서 duty 비가 동일한 구배 간에도 차이가 없었다(Fig. 4e).

4860 hz일 때 R+B 혼합광에서는 duty 비 50%일 때 인삼의 광합성률이 가장 높았으며, duty 비 30%일 때 가장 낮았다(Fig. 4f). 실험 결과 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서의 인삼의 광합성률은 60 hz에서 duty 비가 50%일 때 가장 높았다.

5. Hertz와 Duty 비에 따른 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서의 인삼의 광합성률

Hertz와 Duty 비에 따른 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광에서의 인삼의 광합성률은 duty 비 50%에서 60 hz일 때 가장 높았다. 반면 같은 60 hz에서 duty 비 30%일 때는 인삼의 광합성률이 가장 낮았다. 이 결과 값을 토대로 같은 Hertz에서도 duty 비의 차이에 따라 인삼의 광합성률이 크게 차이가 날 가능성이 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 R+B 혼합광과 R+B+W 혼합광 모두 본 연구에서 설정한 Hertz값들 중에서 비교적 낮은 20 hz와 60 hz에서 각각 인삼의 광합성률이 가장 높게 나타난 것을 알 수 있다. 인삼의 재배환경을 살펴보면 반음지 및 음지에서 잘 자라며 고온, 고광조건에 약하여 일반 식물과는 다르기 때문에 인위적으로 반음지 조건을 조성해 재배해야 한다(Han, 2003). 그렇기 때문에 본 연구에서 Hertz와 duty 비에 따른 인삼의 광합성률에 대한 결과, 인삼은 설정한 duty 비 30%, 50%, 70% 중에서 높지 않은 50%일 때 60 hz에서의 인삼의 광합성률이 가장 높게 나타난 것으로 보인다. 또한 본 실험에서의 가장 높은 인삼의 광합성률은 Han (2003)의 야외에서 재배한 인삼의 광합성률보다 높게 나타났다. 위 결과들을 종합해볼 때, 스마트 팜에서의 인삼의 광합성률이 가장 높은 조건은 R+B 혼합광에서 duty 비가 50%일 때 60 hz이다.

저자정보 이정민(공주대학교 석사과정), 박재훈(공주대학교 박사), 이응필(국립생태원 연구원), 김의주(공주대학교 박사과정), 박지원(공주대학교 석사과정), 유영한(공주대학교 교수)

저자기여도 연구설계: 이정민, 박재훈, 유영한, 자료 수집: 이정민, 김의주, 박지원, 자료 분석: 이정민, 박재훈, 이응필, 원고작성: 이정민, 박재훈, 유영한, 원고 수정 및 검토: 이정민, 박재훈, 이응필, 김의주, 박지원, 유영한

이해관계 본 연구는 이해관계 충돌 여지가 없습니다.

연구비 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07050269)

REFERENCES

- Cho, K.J., J.Y. Cho, I.S. Park and W. Oh. 2013. Effects of Duty Ratio of Pulsed LED Light on Growth and Photosynthetic Rate of Lettuce Grown in a Plant Factory System. *Journal of Korean Society for People Plants Environment* **16**(6): 427-434.
- Han, Y.H. 2003. Physio-ecological Studies on Photosynthesis and its Related Trait with Cultural Environment in Korean Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer). Master Thesis, Univ. of Miryang, Miryang, pp. 1-33.
- Hong, S.C. 2012. Development of Practical Energy Saving Technology Using by LEDs in Crops (Report No. TRKO201200009787). National Institute of Agricultural Sciences.
- Hyun, D.Y., S.W. Lee, Y.B. Kim, S.W. Kang, G.S. Kim and S.W. Cha. 2010. Effect of red, blue and white LED irradiation on growth characteristics and saponin contents in *Panax ginseng* C.A. Meyer Korean J. ginseng by hydroponic culture. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **28**(Suppl. 1): 69.
- Jao, R.C. and W. Fang. 2004. Effects of frequency and duty ratio on the growth of potato plantlets in vitro using light-emitting diodes. *American Society for Horticultural Science* **39**(2): 375-379.
- Khan, N. and N. Abas. 2011. Comparative study of energy saving light sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**: 296-309.
- Kim, H.R. and Y.H. You. 2013. Effects of red, blue, white, and far-red LED source on growth responses of *Wasabia japonica* seedlings in plant factory. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **31**(4): 415-422.
- Kim, M.J., X. Li, J.S. Han, S.E. Lee and J.E. Cho. 2009. Effect of Blue and Red LED irradiation on Growth Characteristics and Saponin Contents in *Panax Ginseng* C. A. Meyer. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* **17**(3): 187-191.
- Kim, S.B., K.M. Lee, H.R. Kim and Y.H. You. 2014. Effects of light sources, light quality on the growth response of leafy vegetables in closed-type plant factory system. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**(1): 32-40.
- Kim, Y.H., D.E. Kim, G.I. Lee, D.H. Kang and H.J. Lee. 2011. Current status and development direction of the domestic and overseas for the artificial plant factory. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **29**(Suppl. II):

- 37.
- Kim, Y.S., J.G. Kim, Y.S. Lee and I.J. Kang. 2005. Comparison of the chemical components of buckwheat seed and sprout. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* **34**: 81-86.
- Lee, J.H. 2014. Characterization of Korea Ginseng Varieties and its Promotion of Utilization for industrialization. Ph. D. Thesis, Univ. of Chungnam, Daejeon, pp. 1-134.
- Lee, K.M., H.R. Kim, H. Lim and Y.H. You. 2012. Effect of Elevated CO₂ Concentration and Temperature on the Growth and Ecophysiological Responses of Ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer). *Korean Journal of Crop Science* **57**(2): 106-112.
- Lee, S.Y., Y.S. Hong, E.P. Lee, Y.S. Han, E.J. Kim, J.H. Park, S.I. Lee, Y.H. Jung and Y.H. You. 2019. Effects of Sources and Quality of LED Light on Response of *Lycium chinense* of Photosynthetic Rate, Transpiration Rate, and Water Use Efficiency in the Smart Farm. *Korean Journal of Ecology and Environment* **52**(2): 171-177.
- Mori, Y., M. Takatsuji and T. Yasuoka. 2002a. Effects of pulsed-red LD light on the growth of a plant. *The Review of Laser Engineering* **30**(10): 602-605.
- Park, J.H. 2015. Artificial cultivation of *Silene capitata* Kom., endangered plant for conservation and restoration in Korea. Master Thesis, Univ. of Kongju, Kongju, pp. 1-48.
- Park, J.H., E.P. Lee, S.I. Lee, R.H. Jang, K.H. An and Y.H. You. 2016. Effects of the light source of LEDs on the physiological and flowering response of endangered plant *Silene capitata* Kom. *Korean Journal of Environment and Ecology* **30**(5): 821-828.
- Park, J.H. 2020. The relationships between vegetative succession and soil characteristics on the floodplain in large river ecosystem, and cultivation and growth of *Epilobium hirsutum* L., Korean endangered hydrophyte in the closed smart farm. Ph. D. Dissertation, Univ. of Kongju, Kongju, pp. 1-208.
- Rural Development Administration. 2013. <https://www.nongsa-ro.go.kr>. Accessed 30 Jan 2020.
- Rural Development Administration. 2017. <https://www.nongsa-ro.go.kr>. Accessed 30 Jan 2020.