

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.849>

JCCT 2024-11-103

도시농업을 위한 LED를 이용한 왜성 토마토의 실내 재배

Indoor Cultivation of Dwarf Tomatoes using Light Emitting Diode for Urban Farming

우승미*, 김호철**

Seung Mi Woo*, and Ho Cheol Kim**

요약 본 연구는 2024년 5월 11일부터 6월 20일까지 광원(White LED, Red+Blue LED)에 따른 왜성 토마토의 생육을 비교하여 도시농업에 적합한 광원을 선발하기 위해서 수행되었다. White LED(WH)와 Red+Blue LED (RB)는 파장과 총 광량의 차이를 가지고 있다. 생장 요소뿐만 아니라 과실의 착과수와 당도에서도 WH에서 RB에 유의하게 높았다. 이러한 결과는 청색과 적색의 파장별 세기도 영향을 준 것으로 판단되지만, 모든 파장 세기의 합(=총 광량)에 의해 좌우되는 것으로 판단되었다. 따라서 가정에서 토마토를 재배하기 위해서는 파장이 다양하고 총 광량이 높은 WH를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

주요어 : LED, 도시농업, 왜성토마토, 착과수

Abstract This study was conducted from May 11 to June 20, 2024 to compare the growth of dwarf tomato according to light sources (White LED, Red + Blue LED) to select a light source suitable for urban agriculture. White LED (WH) and Red + Blue LED (RB) have differences in wavelength and total light intensity. Not only growth factors but also the number of fruits set and sugar content were significantly higher in WH than in RB. These results are thought to have been affected by the intensities of blue and red wavelengths, but they were determined to be influenced by the sum of all wavelength intensities (= total light intensity). Therefore, it is thought to be better to use WH with various wavelengths and high total light intensity for cultivation of tomato at home.

Key words : Light emitting diode, Urban agriculture, Dwarf tomato, Fruits set

1. 서론

최근 국내에서는 도시농업의 확산과 이를 위한 도시농업관리사 양성이 빠르게 이루어지고 있다. 도시농업은 텃밭 이용을 중심으로 이루어지고 있으며, 주로 재배 및 식용이 가능한 상추, 토마토, 고추 등이 이용되고 있다. 도시농업은 단순한 도시민의 농사 행위로서 뿐만

아니라, 농업이 갖는 생물다양성 보전, 기후조절, 공동체문화, 정서함양 등의 다원적 가치를 도시에서 구현하며, 지속가능한 도시, 지속가능한 농업으로서의 기능을 수행한다. 이뿐만 아니라 새로운 여가생활로서 안전한 먹거리의 생산, 재배과정에 얻는 기쁨과 만족, 자연을 통한 심리적, 정신적 안정 등의 목적으로 수행된다 [1]. 따라서 도시농업은 텃밭뿐만 아니라 아파트 실

*정회원, 원광대학교 원예학과 박사과정

**정회원, 원광대학교 원예산업학과 부교수 (교신저자)

접수일: 2024년 9월 15일, 수정완료일: 2024년 10월 23일

게재확정일: 2024년 11월 1일

Received: September 15, 2024 / Revised: October 23, 2024

Accepted: November 1, 2024

**Corresponding Author: go-hc@daum.net

Dept. of Horticulture Industry, Wonkwang Univ, Korea

내로 확장되어야 한다. 작은 과실의 형태인 방울토마토는 먹기가 간편하여, 소비자가 많이 찾는 인기 있는 과채류 중 하나이다. 토마토는 리코펜, 베타카로틴, 페놀화합물, 비타민 C 등 필수 영양소가 풍부하여 영양학적으로도 높은 가치를 지니고 있다 [2]. 토마토 품종 중에서도 왜성 토마토(var. validum)는 일반 방울토마토와 다르게 초장은 15-20cm, 평균 과중 10~15g, 과실의 크기는 직경 2.0-2.5cm 정도로 자라는 작물이다. 따라서 이러한 왜성 토마토의 특성은 실내 도시농업에서 활용 가치가 높을 것으로 생각된다. 토마토의 광포화점은 70klux 정도로 알려져 있는데 [3], 한국 표준 공업규격에서 제시한 주택의 형광등 광도는 평균 1.5klux 이하로 작물이 생육하기에 부족한 광량을 가지고 있다. 또한 형광등은 전기 사용량이 많으며, 수명이 짧고, 파장을 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이러한 형광등의 단점에 대응하여 LED 활용은 매우 효율적이고 작물 생육과 유용성분 증가에도 활용할 수 있다 [4]. 식물이 이용하는 광 파장 중 가시광선은 식물이 광합성에 가장 많이 이용하는 파장 범위로 각각의 파장에 따라 식물의 반응이 다르게 나타난다 [5]. LED 단색광은 고유의 광 파장 특성이 있어 단일광 또는 혼합광으로 이용되고 있다. 각 파장별 작물의 생리 변화 [6-9]를 갖고 있어 개별 광원 또는 혼합광으로 사용될 시 식물의 종류나 생장 시기에 따라 의미 있는 영향을 미친다 [10].

따라서 본 연구는 실내 도시농업으로 활용이 가능한 왜성토마토를 대상으로 실내에서 효율적으로 사용할 수 있는 LED 종류를 탐색하고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 식물 재배 및 재배환경

본 연구에 사용된 왜성 방울토마토(Sinnurimaru, Asia seed, Korea)를 트레이(가로*세로 = 10*5cm)에 파종 후 45일간 육묘하였고 이후 펄라이트(New Pearl Shine No. 2, GFC, Korea)와 피트모스(Sunkim Premium Potting Soil, sunkinglobal, Latvia)를 5:5비율로 혼합한 상토에 처리구별 24주씩 원통형 화분(직경 13.5cm, 높이 15cm)에 정식하여 LED실에서 동일한 온도 조건에서 7주간 재배하였다. 정식 후 과채류용 양액(Daeyu Mulpuri, Daeyu, Korea)을 물 20L 당 A액(N:

K: Ca = 5.5: 4.5: 4.5) 20mL, B액(N: P: K = 6.0: 2.0: 4.0) 20mL를 녹인 후 A액과 B액을 혼합한 양액을 2024년 5월 11일부터 2024년 6월 20일까지 하루 200-250mL씩 공급하여 관리하였다. 환경계측기(aM-31, WISE-sensing Inc., Korea)로 측정된 기온은 LED 점등 시간을 기준으로 주·야간을 나누어 평균하였다. 연구 기간 동안 야간기온 27.16±0.22°C로 유지되었고 주간기온 28.89±0.16°C, 일평균기온은 27.63±0.17°C로 유지되었다. 그리고 습도 51.20±0.56%, 이산화탄소 449.60 ±7.78ppm 정도로 유지 및 관리되었다.

2. LED 처리

Photosynthetic photon flux density(PPFD, 광합성 광량 지속밀도)의 측정에는 광 파장 측정기(LI-180, LI-COR, USA)를 이용하여 광도를 측정하였다. 재배 기간 동안 LED등인 White(WH), Red+Blue(RB)의 혼합광을 광 주기 12시간(07:00-19:00)으로 처리하였으며, 각 처리구의 파장에 대한 광량의 최댓값을 1로 정하여 나타낸 상대적 비율은 Figure 1과 같다. 일 누적 광량($\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$)은 광 파장 측정기로 측정된 PPFD값을 이용하여 광 주기 시간인 12시간을 초 단위로 환산한 값인 43,200초를 곱하여 계산하였다. 실제 LED에서 아래도 40cm 위치에서 측정된 각 파장별 광 세기는 Table 1과 같다.

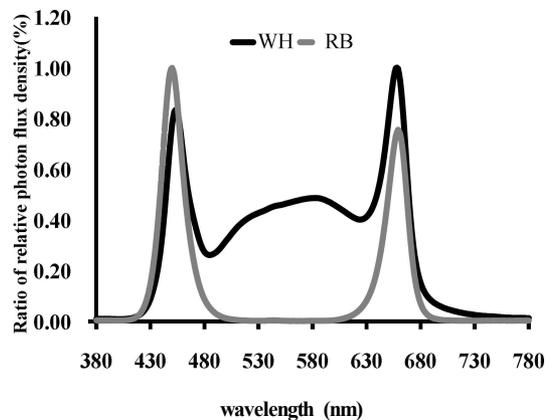


그림 1. 각 파장에서 측정된 광량의 최댓값을 1로 정하여 상대적 비율로 표현한 값.

Figure 1. The amount of light measured at each wavelength, maximized to 1, and expressed as a relative ratio.

3. 생육 조사

생육조사 항목은 초장, 엽록소 함량, 착화수, 착과수

를 측정하였다. 초장은 지체부부터 식물체의 가장 높은 위치까지 줄자로, 착화수와 착과수는 육안으로 측정하

표 1. LED의 광도는 각 광원에 대해 PPF($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 단위로 측정.

Table 1. The light intensity of the LED used in this study, measured in PPF ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) for each light source, is detailed below.

Treatment	PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)				
	Total PPF	Red	Blue	Green	Far-Red
WH	514.6	220.5	106.0	188.1	11.5
RB	355.0	183.0	168.5	3.5	3.7

였다. 엽록소함량은 성엽을 엽록소 측정기(SPAD-502Plus, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정 시 식물체 당 3 반복하여 평균하였다. 뿌리, 줄기, 과실의 총 무게와 엽면적, 당도를 측정하는 파괴조사를 실시하였다. 최종 조사일에는 식물체 기관별 생체중을 측정 후 70°C 건조기를 이용하여 72시간 이상 건조하여 건물중을 전자저울(HS230, HANSUNG, China)을 사용하여 측정하였다. 당도는 당도계(Pocket Refractometer PAL-1, ATAGO, Japan)를 이용하여 측정하였다. 엽면적 측정기(LI-3100C, SOLDAN, Korea)를 사용하여 엽면적을 측정하였다. 상대 성장률(RGR)은 다음과 같이 계산하여 나타내었다.

$$RGR = \frac{\ln(W2) - \ln(W1)}{T2 - T1}$$

[RGR: 상대 성장률($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$), W2: 최종 생체중 또는 건물중(g/plant), W1: 최초 생체중 또는 건물중(g/plant), T1, T2: 시작 및 종료 시점의 시간(days)]

4. 통계 분석

처리별 평균 차이 검증은 95% 신뢰수준($p < 0.05$)에서 F-검정을 통한 이분산(Heteroscedasticity of variance) 또는 등분산(Homogeneity of variance)을 검토한 후 T-검정을 실시하였고, 주요 요소 간 관계는 회귀 분석(Regression analysis)을 실시하였다. 그리고 그래프는 Excel 2019(office 365, Microsoft Crop. Canada)을 이용하여 작성하였다.

III. 결과 및 고찰

1. LED 종류에 따른 왜성토마토 생육량

WH과 RB 광 환경에서 정식 후 48일 간 재배된 왜성 방울토마토의 생육 조사 결과(Table 2), 초장, 엽록소함량, 엽면적, 줄기길이, 과실 착과수 및 당도가 모두 두 처리간에 유의한 차이를 나타내었다. 특히 초장, 착과수에서 가장 뚜렷한 차이를 나타내었다. 초장과 엽면적, 줄기길이는 RB에서 높았으나 엽록소함량, 과실 착과수, 과실 당도는 WH에서 유의하게 높았다. 정상적인 식물의 발달과정에는 다소 광 세기가 낮아도 청색광의 비율이 일정 부분을 차지한다면 유효한 광이 될 수도 있다 [11]. 하지만 광합성량에 영향을 주는 엽록소 함량이 유의하게 높음에 따라서 총 광량이 높은 WH에서는 두 요소의 상호 촉진 효과로 인하여 과실 착과수가 매우 증가하고 당 축적이 원활하여 당도도 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 2. 초장, 엽록소 함량, 착과수.

Table 2. Plant height, chlorophyll content, number of flowers set, number of fruits set.

Treatment	Plant height (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Number of fruits set (ea/plant)
WH	13.34	72.95	31.08
RB	14.92	68.82	19.79
Sig. ^z	***	*	***
Treatment	Leaf area (cm ² /plant)	Main stem length (cm)	Sugar content (°Brix)
WH	833.8	8.88	4.29
RB	985.6	7.99	3.78
Sig. ^z	**	*	*

^zMean Difference between treatments by T-test at ≤ 0.05 (*), 0.001(***)

WH와 RB 조건에서 자란 왜성토마토의 기관별 생체중과 건물중을 비교하였다(Table 3). 식물체 당 총 생체중 및 건물중을 비롯하여 줄기와 잎의 건물중을 제외하고는 모두 유의한 차이를 나타내었다. 생체중은 WH에서 264.9g/plant으로 RB보다 60g/plant정도 무거웠고, 건물중에서도 23.45g/plant로 4.3g/plant정도 무거웠다. 특히, 기관별에서는 과실에서 WH에서 RB보다 약 1.5배 정도 높은 값이었다. 이는 착과수에서 월등히 많은 결과(Table 2)와 관련이 있을 것으로 판단된다. 따라서 WH 광원이 RB 광원보다 식물 성장 및 광합성량 증가에 더 효과적임을 알 수 있다.

청색광은 생체중 및 건물중을 감소시킨다는 연구 결

과가 보고된 바 있는데 [7], Blue 파장의 광량이 더 많았던 RB에서 낮은 것을 보면(Fig. 1) 이전 연구와 동

표 3. 식물의 기관별 생체중과 건물중.

Table 3. Fresh weight and dry weight per organs of plant.

Treatment	Fresh weight (g/plant)				
	Root	Stem ^y	Fruit	Leaf	Sum
WH	7.40	25.9	199.4	32.2	264.90
RB	5.96	26.1	137.9	37.8	207.76
Sig. ^z	***	NS	***	***	**
Treatment	Dry weight (g/plant)				
	Root	Stem ^y	Fruit	Leaf	Sum
WH	1.20	2.8	13.5	5.95	23.45
RB	0.75	2.5	9.4	6.1	18.75
Sig. ^z	**	NS	***	NS	**

^yMean The weight of the stem includes all the main stem, lateral branches, and flower stalk.

^zMeans Difference between treatments by T-test at P ≤ 0.01(**), 0.001(***).

일한 결과였다고 판단된다. 이와 반대로 적색 파장의 광량이 많았기 때문에 또한 생리적 축진이 원활히 이루어진 것으로 기관별 성장량이 많은 것으로 나타났다고 판단된다.

2. LED 종류에 따른 왜성토마토 착과수 변화

Table 2에서 최종 착과수에서 두 처리 간 매우 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이러한 착과수를 누적광량을 독립변인으로 하여 회귀분석하였다(Fig. 2). 누적 광량은 Figure 1에 따라서 시간을 곱하여 계산한 결과 RB에서 약 500mol·m⁻²·day⁻¹이, WH는 약 800mol·m⁻²·day⁻¹로 매우 큰 차이를 나타내었다. 착과수의 변화를 살펴본 결과 회귀계수가 각각 0.0397과 0.0402 mol·m⁻²·day⁻¹로 큰 차이를 나타내지 않았다. Table 1에서 두 처리 간 적색 및 청색 파장의 세기에서는 매우 큰 차이가 나지 않았고 총 광량세기가 가장 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 두 처리 간 총 착과수의 차이에는 총 광 세기가 영향을 크게 준 것으로 판단된다. 하지만 청색과 적색의 생리적 역할을 고려하면 두 파장의 차이도 영향을 주었을 것으로 판단된다.

결국 높은 PPFD 값이 성장과 과실 생성에 관하여 긍정적인 영향을 주었고, PPFD 값이 증가함에 따라 식물의 광합성 효율이 높아지고, 생체중량과 생장률이 증가(Table 3)하는 것으로 해석된다.

또한 이러한 결과는 상대성장률(RGR)에서도 동일하게 나타났다(Table 4). 생체중 기준 WH와 RB에서 각

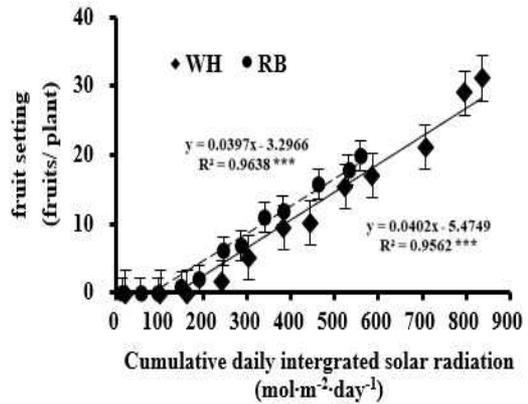


그림 2. 처리구별 누적광량에 따른 착과수 변화.

Figure 2. Changes in the number of fruits set according to the accumulated light amount of WH1, WH2, RB1, RB2. Bars are standard error.

각 5.53과 5.24g·g⁻¹·day⁻¹였고, 건물중 기준으로 각각 3.15와 2.92g·g⁻¹·day⁻¹였다. 생체중 및 건물중 기준 WH에서 0.05-0.07배 더 높았다.

상기들의 결과를 종합해 보면 도시의 가정 실내에서 왜성 토마토를 재배하기 위해서는 RB보다는 중간파장이 혼합되고, 청색보다는 적색 파장 비율이 높고, 총 광 세기가 큰 WH를 사용하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

표 4. 각 처리구 대한 생체중 및 건물중의 상대성장률.

Table. 4 Relative growth rate of live weight and building weight for each treatment.

Treatment	RGR (g·g ⁻¹ ·day ⁻¹)	
	Fresh weight	Dry weight
WH	5.53	3.15
RB	5.24	2.92
Sig. ^z	**	*

^zMeans Difference between treatments by T-test at P ≤ 0.05, 0.01.

IV. 결론

본 연구에서는 왜성토마토를 대상으로 가정 실내에서 LED 종류인 백색광(WH), 그리고 적색과 청색만으로 혼합된 혼합광(RB) 처리한 후 생육 조사를 통해 적합한 광원을 선발하였다. WH에서 RB보다 초장과 엽면

적이 작지만 착과수가 많았고 당도가 높았다. 이러한 특성에 따라서 기관별 생체중과 건물중에서도 줄기를 제외한 다른 기관에서 유의한 차이를 나타내었다. 총 생체중 및 건물중에서도 동일한 결과였다. 두 광원 간 착과수에 대한 일누적광량에 따른 회귀계수는 큰 차이를 나타내지 않았고, 상대생장률은 WH에서 높았던 것을 고려하면 두 광원 간 생육 차이는 광원의 총 광 세기에 의한 것으로 판단된다. 따라서 사용된 WH가 RB에 비하여 초장에서 더 작고 착과량에서 더 많아 도시 내 가정 실내에서 활용하기에 더 적합한 것으로 판단된다.

References

- [1] Kim, H.R., So, E.J., Park B.M., and Park Y.J. "A study on the perception of and satisfaction with urban farming management", *Journal of Korean Garden Design Society*, Vol. 4(2), 72-80, 2018, DOI: 10.22849/jkigd.2018.4.2.002
- [2] García-Closas R., Berenguer A., Tormo M.J., Sánchez M.J., Quirós J.R., Navarro C., Arnaud R., Dorransoro M., Chirlaque M.D., Barricarte A., Ardanaz E., Amiano P., Martínez C., AAgudo A., González C.A. "Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain", *British Journal of Nutrition*, Vol. 91(6), pp. 1005 - 1011, DOI: 10.1079/bjn20041130
- [3] RDA, "Nongsaro-Technical support case for the field", <https://www.nongsaro.go.kr/portal/ps/psz /psz /contentSub.ps?menuId=PS00077&cntntsNo=213370&totalSearchYn=Y>, 2019.
- [4] Heo, J.W., Lee Y.B., Chang Y.S., Lee J.T., and Lee D.B. "Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured in vitro", *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol. 29, pp. 374-380, 2010, DOI: 10.5338/KJEA.2010.29.4.374
- [5] Hopkins, W.G. and N.P.A. Huner. 2004. "Introduction to plant physiology", 3rd Ed. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ., USA.
- [6] Johkan M., Shoji K., Goto F., Hashida., S., and Yoshihara T. "Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce", *HortScience*, Vol. 45, pp. 1809-1814, 2010, DOI: 10.21273/HORTSCI.45.12.1809
- [7] Son K., Park J., Kim D., and Oh M. "Leaf shape index, growth, and phytochemicals in two leaf lettuce cultivars grown under monochromatic light-emitting diodes", *Horticultural Science & Technology*, Vol. 30(6), pp. 664-672, 2012, DOI: 10.7235/hort.2012.12063
- [8] Terashima I., Fujita T., Inoue T., Chow W.S., and Oguchi R. "Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: Revisiting the enigmatic question of why leaves are green", *Plant and Cell Physiology*, Vol. 50(4), pp. 684-697, 2009, DOI: 10.1093/pcp/pcp034
- [9] Whitelam, G. and Halliday K. "Light and plant development", Blackwell Publishing, Oxford, UK. 5, 2007.
- [10] Kim, H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., and Sager J.C. "Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes", *HortScience*, Vol. 39, pp. 1617-1622, 2004, DOI: 10.21273/HORTSCI.39.7.1617
- [11] Cope K.R. and Bugbee B. "Spectral effects of three types of white light-emitting diodes on plant growth and development: absolute versus relative amounts of blue light", *American Society for Horticultural Science*, Vol. 48(4), pp. 504-509, 2013.

※ 본 연구는 2023학년도 원광대학교 교비 지원에 의해 수행되었습니다.