

RESEARCH ARTICLE

빛의 파장에 따른 나도공단풀의 생육 비교

전성우¹, 강대영¹, 김나은², 이명우³, 김현태^{2*}

¹경상국립대학교 생물산업기계공학과, ²경상국립대학교 바이오시스템학과, ³경상국립대학교 스마트팜학과

Comparing the growth of the *Sida rhombifolia* L. according to the wavelength of light

Seong-Woo Jeon¹, Dae-Yeong Kang¹, Na-Eun Kim², Myung-Woo Lee³, Hyeon-Tae Kim^{2*}

¹Bio-industrial Machinery Engineering, College of Agriculture and Life Sciences of Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea

²Department of Bio-Systems Engineering, Graduate School of Gyeongsang National University (Institute of Smart Farm), Jinju, Republic of Korea

³Institute of Smart Farm, Jinju 52828, Republic of Korea

*Corresponding author: cow9566@naver.com

These authors equally contributed to this study as first author.

Abstract

The purpose of this research is to find out the effect of different wavelengths on the growth of the Cuban jute (*Sida rhombifolia* L.). In this experiment, plants were grown in five chambers block for avoiding the role of sunlight during the growing period. To find out the effects of wavelengths on plants, we classified the light sources into 5 groups e.g., COB LED, full-spectrum LED, W2+R1, R2+B1, and R4+B1. The length and thickness of stem, number of leaves, and leaf area of plants were calculated using the equation of ellipse in order to observe the role of wavelength on growth. The wavelengths in this study were measured using a spectrometer and the range was found from 450 nm to 660 nm. The illuminance values were also measured using a light quantity meter to observe the effects on plant growth as well. The study found that the illuminance values were maximum for COB LED light source followed by Full-spectrum LED > W2+R1 > R2+B1 > R4+B1 appear. It was also examined that the COB LED light source was the best for plant growth compared to Full-spectrum LED, W2+R1, R2+B1, R4+B1 light sources. According to the current study, it can be concluded that the COB LED light source with a full-spectrum LED is suitable for growing Cuban jute plants.

Keywords: COB LED, Full-spectrum LED, Illuminance values, Leaf Area



OPEN ACCESS

DOI: <https://doi.org/10.12972/jame.20220006>

Received: November 18, 2022

Revised: November 22, 2022

Accepted: November 22, 2022

Copyright: © 2022 Journal of Agricultural Machinery Engineering



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

최근 심해진 이상기후로 예측하기 어려운 기후 때문에 노지에서의 경작 방법이 한계에 이르자 밀폐된 공간에서 생육환경을 조절하는 인공재배법이 필요했으며, 식물공장처럼 태양광으로부터 광합성을 할 수 없는 환경에서 식물을 키우기 위한 인공조명이 사용되기 시작했다. 이로 인해 기후와 환경에 의한 영향이 적고 높은 생산성과 병해충의 유입 방지로 무농약재배가 가능하고 연중 계획생산이 가능했다.

광합성에 사용되는 인공조명으로는 LED 광원이 많이 사용되고 있다(Jun et al, 2014). 다른 광원에 비해 수명이 길고 효율이 높으며 소비 전력 대비 광합성 유효 광량자속밀도 PPF(D) (Photosynthetic Photon Flux Density) 가 가장 높기 때문이다. LED 광원의 R (Red), G (Green), B (Blue) 각각의 단색광은 고유의 광파장 특성을 가지고 있어 개별광원으로 활용하거나 혼합광으로 조합할 경우 식물의 종류나 성장시기에 따라 의미 있는 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Jong and Dong, 2014).

적색광은 광합성 촉진과 개화조절에 유효하고 초적색광은 과실수의 당도 증가, 특용작물의 사포닌 및 비타민 등 기능성 물질 증가에 유의하며 청색광은 생육에 영향을 미치고 광합성에 유효하다. 황색광은 해충 억제에 효과가 있다고 알려져 있다. 이와 같이 LED 광원의 종류에 따라 식물에 미치는 영향이 상이한 것으로 연구 결과에서 밝히고 있다(Xiao, 2015).

Jeong and Choi (2020)는 최근 나도공단풀(*Sida rhombifolia* L.)의 새로운 용도로 전립선 비대증의 개선 또는 억제용으로 사용하기 위해 연구하고 있다. 전립선 비대증은 가장 흔한 남성 비뇨기 질환 중 하나로, 요도 주위의 전립선이 비정상적으로 커져서 소변의 배출을 막고 이로 인해 다양한 증상이 발생하는 상태를 말한다. 5AR (5-alpha reductase) 은 테스토스테론에서 DHT (Dihydrotestosterone) 로의 전환을 매개하는 가장 중요한 효소이다. DHT는 전립선 조직의 성장에 가장 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 따라서 나도공단풀이 5AR 활성을 억제하는지 확인함으로써 전립선 비대증에 효과를 나타내는지 알아보려 하였다. 실험은 노지에서 나도공단풀을 키워 재배해 나도공단풀추출물을 실험동물에게 6주량을 사용하여 나타난 결과로 그래프를 통해 전립선 세포의 세포 분열을 유의적으로 억제하였음을 볼 수 있다. 이러한 나도공단풀을 외부 환경에 상관없이 인공재배하여 다양한 형태로 이용가능하게 하는 것이 위 특허와 차이점이며 연구목적이다. 본 연구 결과를 통하여 각각의 LED 광원이 나도공단풀에 미치는 의미 있는 영향 관계를 분석하고 LED 광원의 광파장 특성에 따른 나도공단풀의 성장도를 평가하고자 한다.

Materials and Methods

Materials

나도공단풀의 생육 비교 실험을 위해 나도공단풀의 종자를 Fig. 1에서 제주시 한림읍 동명리 나도공단풀의 군락지에서 확보했다. 실험에 사용한 챔버는 Fig. 2a에서 나도공단풀이 자라는 환경에서 태양광을 차단하기 위해 만들었으며, Fig. 2b에서 나도공단풀을 키우기 위해 길이와 폭이 20 cm인 아크릴 상자 4개를 실험용 베드로 사용하였다. 챔버 1개당 4개의 아크릴판을 설치했으며, 나도공단풀이 자라는 높이마다 적절한 LED 높이를 조절할 수 있도록 했으며, 그림c에서 통풍구를 설치하여 나도공단풀이 챔버로 닫힌 공간에서 이산화탄소를 잘 흡수할 수 있게 해주고 증산작용을 통해 습도 조절을 할 수 있게 했다. 같은 시간에 같은 양의 물을 줄 수 있도록 Fig. 3a 처럼 급수 타이머로 매일 저녁 6시마다 10분동안 풀에 물을 주도록 설정했다. Fig. 3b는 타이머와 연결된 스프링클러를 통해 나도공단풀에 물을 주는 사진이다.

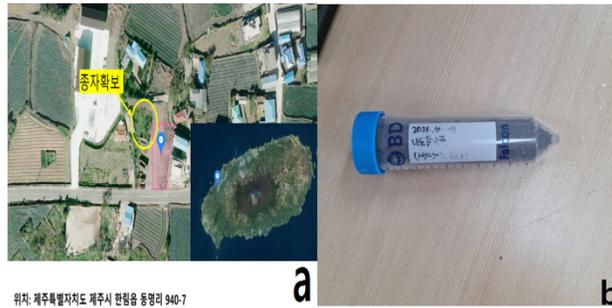


Fig. 1. The seeds of *Sida rhombifolia* L were secured in Jeju Island.(a) Location, (b) The seeds of *Sida rhombifolia* L.

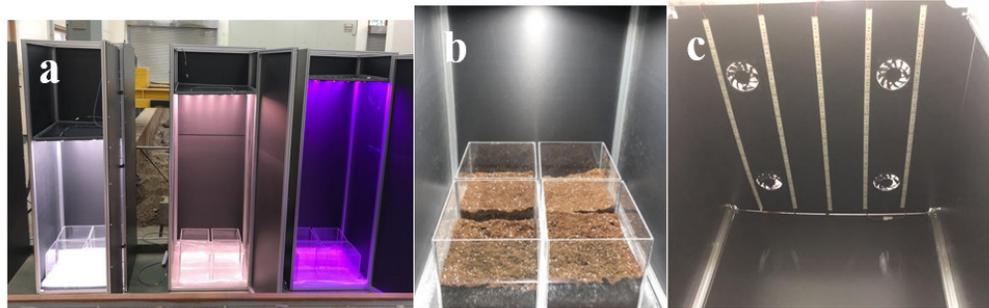


Fig. 2. Chamber to block sunlight.(a) Chamber, (b) Bed cultivation (c) Fan

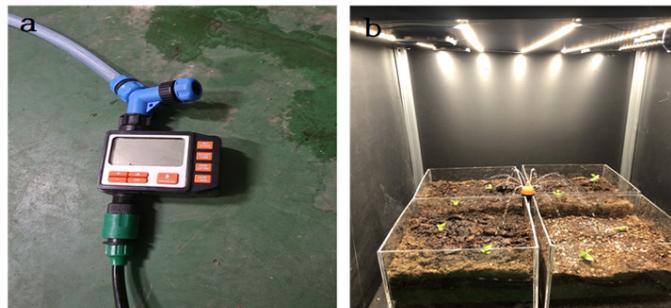


Fig. 3. Automatic watering device (a) control machine, (b) water sprinkler.

Methods

그룹별로 다른 특징을 주기 위해 빛의 파장이 다른 식물 재배용 LED (Grinmax, PCB type LED, Korea)를 Fig. 4와 같이 설치했다. 그룹은 5가지로 분류했으며, 순서대로 COB LED, Full Spectrum LED (Grinmax, PCB type LED 50cm, Korea), W2+R1 LED (Grinmax, PCB type LED 50cm, Korea), R2+B1 LED (Grinmax, PCB type LED 50cm, Korea), R4+B1 LED (Grinmax, PCB type LED 50cm, Korea)로 설치하여 식물 생장을 비교 후 실험했다. 실험에 사용된 COB LED의 소비전력은 70 W이며, 다른 LED의 소비전력은 36 W로 COB LED의 소비전력에 2배 가까이 차이가 발생한다. 식물의 광합성에 이용되는 파장범위 400 nm ~ 700 nm로 가시광선 범위인 380 nm ~ 760 nm와 유사한 파장 범위를 보이고 있고, 이 파장범위에서 광은 광합성 뿐만 아니라, 광형태형성 반응을 유도하며, 식물 분야에서는 광합성유효방사(Photosynthetically active radiation; PAR)이라 한다. 광합성에는 식물의 엽록소가 관여하는데 엽록소에는 엽록소a와 엽록소b가 있으며, 660 nm 부근과 450 nm 부근에서 흡수 되는 광량이 높아 광합성에 효율적으로 사용되고 있다(Im et al, 2013).

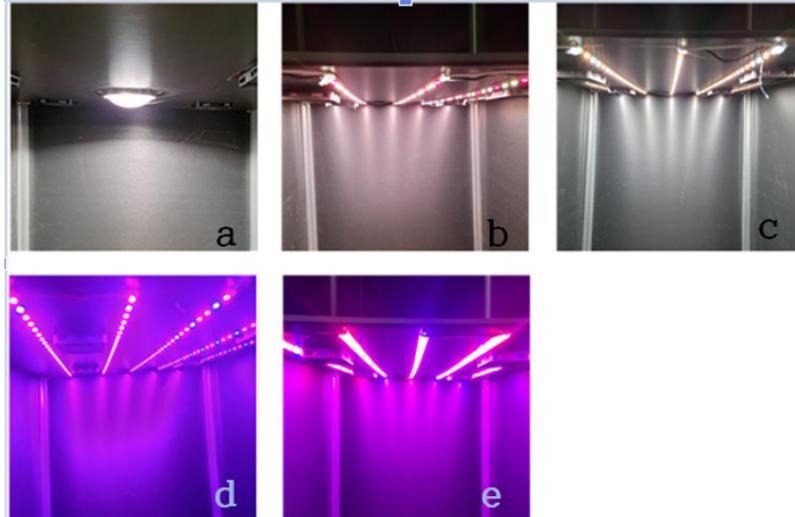


Fig. 4. LED light for each case (a) COB LED, (b) Full Spectrum LED, (c) LED W2+R1 (d) LED R2+B1, (e) LED R4+B1.



Fig. 5. Measuring the illuminance.

파장에 따른 나도공단풀의 생육변화를 기록하기 위해 5가지 광원마다 가장 잘 자란 풀의 줄기를 측정했다. 풀의 줄기는 지면에서부터 식물의 최상단 부분까지를 측정했다. 잎의 수는 육안으로 일주일에 한 번씩 측정했으며, 디지털 버니어캘리퍼스(Mitutoyo, 500-182-30, Japan)를 이용하여 나도공단풀의 줄기의 두께와 잎의 길이를 측정했다. 줄기의 두께는 줄기의 중심부에서 측정했으며, 잎의 길이는 줄기에서부터 잎의 끝부분까지의 길이를 측정했다.

Results and Discussion

광원의 광량 측정 결과

작물의 생장에 빛이 미치는 영향을 알기 위해서 나도공단풀이 자라는 4개의 아크릴 상자마다 광량이 다를 것이기 때문에 Fig. 5에서 번호마다 중앙에서 측정했다. 챔버안의 나도공단풀이 받는 광량을 광량측정기(HD 2102.2)로 측정한 결과는 Table 1 같이 나타났으며, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 단위로 측정했다. COB LED에서 $342.3 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 많은 광량이 측정되었으며, 반대로 LED (R4+B1)에서 $9.01 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 가장 적은 광량이 측정됐다. Table 1에서 평균 광량이 많은 순서대로 COB LED > Full-spectrum LED > W2+R1 > R2+B1 > R4+B1 나타났다. COB LED와 다른 LED의 광량 차이가 큰 것은 소비전력의 차이가 2배 가까이 나는 것이 원인인 것 같다.

Table 1. The amount of the light according to the light source .

Location	Light Source ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)				
	COB LED	Full-spectrum LED	W2+R1 LED	R2+B1	R4+B1
1	260.3	84.46	52.90	36.27	9.32
2	342.3	100.73	62.90	41.65	9.25
3	332.1	96.66	55.22	35.80	9.65
4	319.8	93.27	59.67	39.45	9.01

광원의 파장 측정 결과

Fig. 6은 실험에 사용된 광원이 식물의 광합성에 이용되는 파장 범위 내에 있는지 파악하고자 분광측정기(RPS900, ILT Inc., USA)를 이용하여 광원의 파장대를 측정하였으며, 측정 결과를 그래프로 도출했다. 그래프에서 x축은 파장(nm)을, y축은 uv 강도 단위($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)를 나타낸 것이다. COB LED의 파장 범위는 450 nm ~ 630 nm이며 450 nm와 630 nm에서 두드러지게 나타난다. Full-spectrum LED의 파장 범위는 450 nm ~ 660 nm이며 450 nm에서 가장 높게 나오고 나머지 가시광선영역은 비슷하게 측정됐다. W2+R1 LED의 파장 범위는 450 nm ~ 660 nm로 나오며 660 nm가 가장 두드러지게 나오고 그 다음이 450 nm가 많이 나왔다. R2+B1와 R4+B1 LED는 파장이 455 nm와 660 nm 부근만 측정이 되어 특정 영역만 나오는 것으로 보인다.

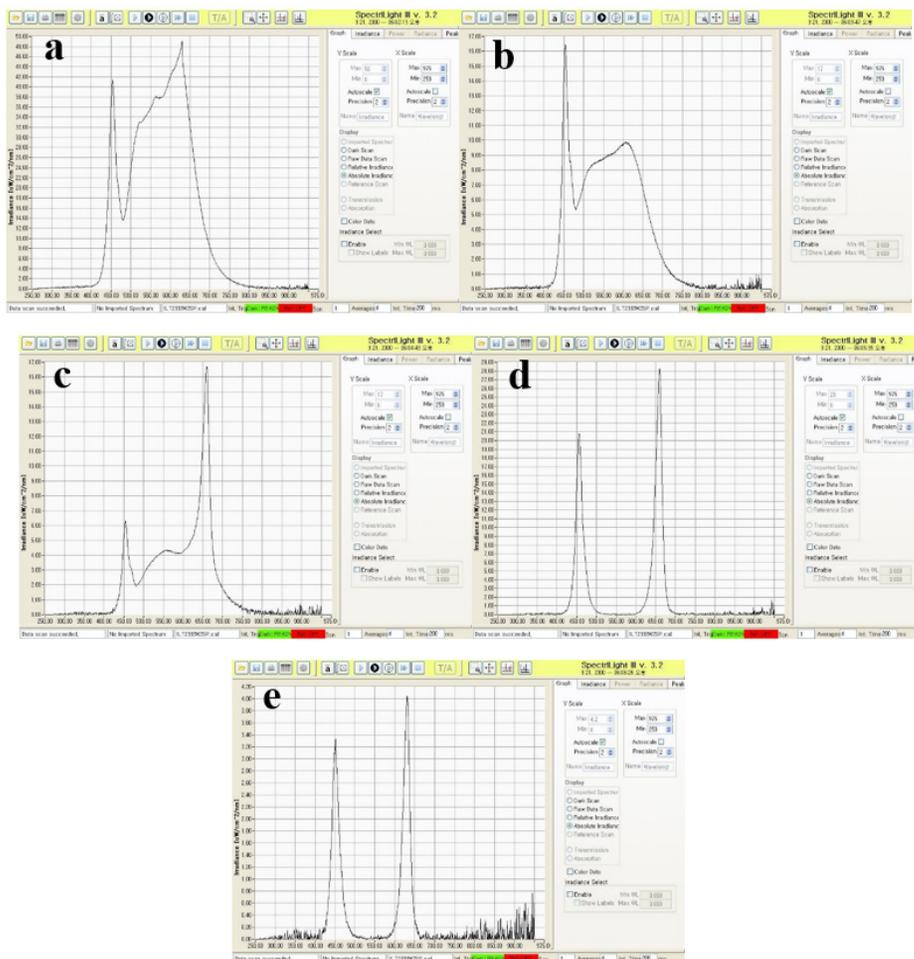


Fig. 6. Wavelength graph for each LED light (a) COB LED, (b) Full-spectrum LED, (c) LED W2+R1, (d) LED R2+B1, (e) LED R4+B1.

토양의 EC와 pH측정

토양이 산성화되면 칼슘, 인산 등의 양분유효도가 낮아지고 유용 미생물의 활성이 저하되며, 알루미늄 등 중금속의 용해도가 증가돼 작물생육이 피해를 입기 쉽다고 한다. 또 한 EC (Electric conductivity)는 전해질 이온의 세기를 나타내는 수치로, 토양에 각종 이온들과 같은 염류가 집적되면 높은 값이 나타난다. Lee (2017)에서 EC가 증가함에 따라 엽장, 엽수, 생체중은 감소하는 경향이었던 연구 결과가 있다. Fig. 7에서 빛의 파장 외에는 다른 변수를 지우기 위해 식물 성장에 영향을 주는 EC와 pH를 토양측정기(JXCT, JXBS-3001-SCY-PT, China)로 측정했다. Table 2에서 EC 측정은 0.449 dS/m가 가장 높게 나왔지만 보통 염류 토양은 전기전도도(EC)가 4 ds/m이상이므로 측정토양에서 염류집적현상은 없었다. Table 3에서 pH의 경우 적정수준은 6.0 ~ 7.0 pH이며, 산도측정에서 유의미한 차이가 없이 거의 6 pH로 일정한 값으로 측정됐다. 사용한 토양은 나도공단풀이 자라는데 적합하다고 할 수 있다.

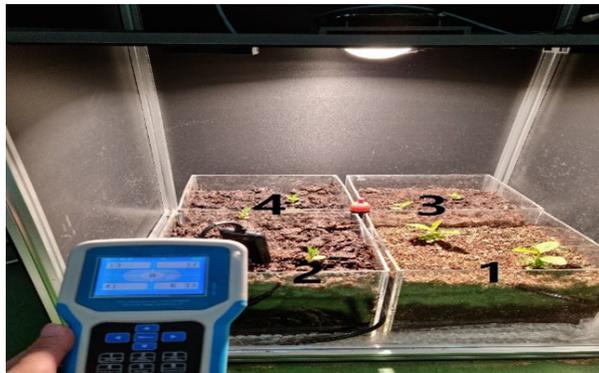


Fig. 7. Measurement of pH and EC according to soil.

Table 2. Measurement of EC according to soil.

Location	Light Source (dS/cm)			
	COB LED	Full-spectrum LED	White+Red LED	Red+Blue LED
1	25	124	31	180
2	248	20	33	51
3	46	14	35	47
4	50	11	13	40

Table 3. Measurement of pH according to soil.

Location	Light Source (pH)			
	COB LED	Full-spectrum LED	White+Red LED	Red+Blue LED
1	6.11	6.54	6.08	6.27
2	6.35	6.02	5.98	6.16
3	5.90	6.04	6.07	6.01
4	5.92	6.03	6.19	6.11

나도공단풀의 생육 비교

COB LED와 적색광(Red) 및 청색광(Blue)의 조합 또는 Full-spectrum LED에 따른 나도공단풀의 생육비교는 Table 4, 5와 같다. 광질은 식물체의 줄기 신장과 두께 그리고 잎의 길이와 개수에 영향을 미친다고 한다. 이미 보고된 실험에 의하면 적색광(Red)과 청색광(Blue)을 조합한 광원의 영향이 가장 크다고 하지만(Wongnok et al, 2008), 본 실험에서는 COB LED가 초장, 줄기의 직경이 길고 잎의 면적과 개수가 가장 컸으며, Full-spectrum LED > W2+R1 > R2+B1 > R4+B1 순으로 수치가 나왔다. Table 4, 5를 보면 3주 전 측정했을 때 줄기의 길이와 잎의 수를 비교해보면, 줄기의 길이는 Full-spectrum LED에서 변화량이 가장 컸다. 처음 측정했을 때 1.5 cm였지만 3주 지난 후에는 3.5 cm로 2배 이상 큰 것을 확인했다. 잎의 개수는 COB LED에서 가장 변화가 컸으며, 6개에서 15개의 잎이 나왔다. 측정 결과와 관련하여 나도공단풀의 초장, 줄기의 직경, 잎의 길이와 개수는 모든 가시광선 영역 즉 450 nm ~ 660 nm에서 영향을 받으며, 광량이 많을수록 더 잘 자라는 것을 볼 수 있다.

Table 4. Effects of light quality on the growth of the *Sida rhombifolia* L.

Treatments	Light Source				
	COB LED	Full-spectrum LED	W2+R1 LED	R2+B1	R4+B1
Plant height (cm)	3.2	1.5	1.8	1.3	1.4
Diameter of stem (mm)	0.94	0.88	0.89	0.73	0.78
Leaf numbers (ea)	6	6	6	6	6
Leaf length (mm)	18.2	16.5	20.6	14.1	12.9

Measurement date is 11/13.

Table 5. Effects of light quality on the growth of the *Sida rhombifolia* L.

Treatments	Light Source				
	COB LED	Full-spectrum LED	W2+R1 LED	R2+B1	R4+B1
Plant height (cm)	4.7	3.5	3.1	2.6	2.6
Diameter of stem (mm)	2.01	1.76	1.74	1.18	1.05
Leaf numbers (ea)	15	11	8	6	6
Leaf length (mm)	40.2	34.3	33.5	21.7	22.4

Measurement date is 12/04.

Conclusion

나도공단풀이 가장 잘 자라는 빛의 파장 조건을 찾기 위해 COB LED, Full-spectrum LED, 혼합광(W2+R1, R2+B1, R4+B1)으로 실험을 진행했다. 다른 생육조건을 동등성을 위해 일정한 시간에 물을 같은 양으로 공급했으며, 토양의 EC와 pH를 측정하여 작물의 생육에 적합한 땅임을 찾아냈다. 파장 측정기를 통해 광원의 파장을 측정하여 광원의 파장 영역을 나타냈으며, 1달에 걸쳐 나도공단풀의 생육비교를 기록한 결과는 COB LED에서 가장 높게 자랐고, 잎의 면적도 가장 넓게 나타났다. 이를 통해 나도공단풀의 성장에 있어서 전 가시광선 영역의 빛을 포함하는 Full-spectrum LED와 COB LED가 나도공단풀 인공재배에 가장 적합한 LED라고 실험을 통해 확인하였다.

Acknowledgement

본 성과물은 농림축산식품부의 농식품 기술융복합 창의인재양성사업 지원에 의해 이루어졌습니다(717001-7).

Reference

- An, X.M. 2015. A study on LED lighting system design for the plant growth. p.43-49. [in Korean]
- E.J. Jeong, S.H Choi. KR-A-10-2020-0089619:2020. A new purpose of the *Sida rhombifolia* L. [in Korean]
- Hwang, J.-D., & Ko, D.-S. 2014. Evaluation of Plant Growth according to the Wavelength Characteristics of the LED Light Source. p.101-105. [in Korean]
- Im, J. un, Yoon, Y. C., Seo, K. wook, Kim, K. H., Moon, A. K., & Kim, H. T. 2013. Effect of LED Light Wavelength on Chrysanthemum Growth. p.49-53. [in Korean]
- Lee S. 2017. Organic journal 01 Organic Farmland Soil Management [in Korean]
- Wongnok, A., Piluek C, Tantivivat S. 2008. Effects of light emitting diodes on micropropagation of *Phalaenopsis* orchids. *Acta Hort.* 788:149-156.
- Yang, Jun-Hyuk, Choi, Won-Ho, Park, Noh-Joon, & Park, Dae-Hee. 2014. A Study on Plant Growth depending on PPFD Modification and Light Quality of LED Light Source. p.1-15. [in Korean]