

식물공장 내 대마(*Cannabis sativa* L.) 유묘 수경 생장에 미치는 광질의 영향

허정욱, 이정민, 백정현, 김태현*

Light Quality influences Hydroponic Growth of Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seedlings in a Plant Factory System

Jeong-Wook Heo , Jeong-Min Lee , Jeong-Hyun Baek  and Tae-Hyun Kim 

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea

* Correspondence: wooncho@korea.kr

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.26>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 271-278

Received: November 12, 2024

Revised: November 15, 2024

Accepted: November 18, 2024

Published: December 5, 2024

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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: The purpose of this research is to investigate the light quality effects provided by Light-Emitting Diodes (LEDs) on the growth of hemp seedlings derived from cutting under plant factory system. 'V1' and 'V4' hemp cuttings were collected on the 2nd or 3rd node from the top of mother plants. The cuttings were hydroponically cultured under the different light qualities with monochromatic or mixture of blue, red or white light for 6 weeks. On day 42, a significant increment in number of nodes and branches developed in the V1 and V4 seedlings was shown in Treatment BR of blue plus red LEDs. In both varieties, the number of nodes and branches increased 14% and 22% in Treatment BR compared to Treatment R of monohromatic red and fluorescent light (Treatment FL) considered as a control, respectively. Stem diameter in V1 and V4 was significantly 100% and 117% greater in Treatment BR than in Treatment FL, respectively. Although the secondary metabolites did not mentioned in the present, it was suggested that the hemp seedlings derived from cuttings were successfully cultured under the plant factory system with the BR mixture LEDs compared to the conventional seedling culture method.

Keywords: Hemp cuttings, Hydroponics, Light quality, Year-round production

서론

기후변화에 따른 작물 생산 위기에 대응한 농업 시스템으로 주목받고 있는 식물공장은 외부 기후변화와 상관없이 폐쇄된 공간에서 작물 생장에 적합한 온도, 습도 및 광질 등의 재배환경을 인위적으로 제어하면서 작물을 연중 안정적으로 생산할 수 있는 시스템이다[1-3]. 식물공장에서는 태양광을 주광원으로 이용하는 노지나 온실과 달리 형광등이나 발광다이오드(LEDs: Light-Emitting Diodes)와 같은

인공광만을 조사하여 작물을 재배하기 때문에 식물공장 내 재배작물의 생장은 인공광원의 광질이나 광강도에 의해 좌우된다 [1,2]. 현재 상용화된 식물공장에서는 LEDs를 인공광원으로 채택하는 경우가 많은데, LEDs는 기타 광원에 비해 초기 설치비용이 높다는 단점이 있으나 소형으로 다단식 재배시스템을 채택하는 식물공장에 적합하다. 또한 형광등과 같은 기존 광원에 비해 전력소모량이 적고 광원의 수명이 길며 적색이나 청색의 단일광 또는 단일광질 간의 혼합광 제어로 작물 생장에 필요한 광질만을 선택적으로 조사할 수 있다는 장점이 있다. 이에 LEDs는 연구용뿐만 아니라 산업용 다단식 식물공장에서 엽채류, 약용작물 및 과채류 등 다양한 원예작물 재배에 이용되고 있다[4,7,9,10].

대마(*Cannabis sativa* L.)는 기호용인 Marijuana와 의료용이나 산업용 소재인 Hemp로 분류되는데 Marijuana와 같은 중독성 물질로 인하여 국내·외적으로 재배, 연구 등 취급면에서 식약청의 허가가 필요한 취급 제한 작물이지만 의료소재로써 CBD (Cannabinoid)와 같은 유용성분에 대한 연구는 오래전부터 수행되어 왔다[3,17,20,25]. 미국, 캐나다, EU 및 중국 등 여러 나라에서는 의료용 대마인 Hemp 취급에 대한 합법화 추진으로 대마 산업이 활성화되고 있다. Fortune Business Insight의 예측에 의하면 이들 국가가 주도하는 대마 시장은 2023년 약 80조, 2030년에는 약 620조를 넘을 것으로 예상하고 있다. 우리나라에서도 기능성 의료용 대마 시장의 미래 성장 가능성에 주목하여 2019년 마약류 관리법을 개정하고 희귀, 난치 환자를 대상으로 한 의료용 소재로써 Hemp 취급이 허가되었다. 또한 대마 우수품종 선발 및 이용에 관련된 연구가 진행되었으나 2020년 의료용 대마 규제자유특구 지정으로 대마 재배연구 및 관련 산업의 가속화가 기대된다[24]. 농림축산식품부 보고에 의하면 우리나라 대마 재배면적은 1970년대 약 5,300 ha에서 2020년 19 ha로 대폭 감소하였다고 한다. 한편 규제자유특구 지정으로 일부 지역에서 2020년 6.6 ha 대비 2021년 48.6 ha로 재배면적이 증가하기 시작하였고 의료용 소재인 대마 종자 생산면적도 98%로 증가하는 등 의료용 대마에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나 대마에 대한 부정적 이미지에 의해 산업용 대마에 대한 인지도가 낮고 고령화, 재배규제, 안정적 유품 공급 및 재배기술 등 고품질 의료소재로써의 대마 생산 기반이 취약하다는 문제점이 거론되고 있다.

일반적으로 대마는 종자를 파종하여 실생묘를 토경재배하거나 대마 재배 기간을 단축하기 위하여 모본에서 삽수를 채취하여 삽목하여 재배한다. 노지재배 대마는 초장이 수 미터까지 자라며 생육속도가 빠르고 재배기간이 짧아 기후조건에 따라서는 연 2~3회 이상 수확이 가능하다[15,16]. 그러나 대마를 노지에서 토경재배할 경우에는 품종간 자연 교배가 발생하기 쉽고 환경변화에 따라 한 개체에서 암·수꽃이 동시에 발달하기도 한다. 이에 자연교배를 억제하여 품종 특성을 유지하고 암꽃에 포함되어 있는 의료용 소재 물질의 안정적 생산을 위한 연구가 진행되고 있으나 유품 관리 및 재배방법 등 식물공장 내 대마 재배환경이나 재배기술에 대한 고찰은 부족한 실정이다[23-25]. 또한 대마 유품을 생산하기 위하여 삽목묘를 이용하기도 하는데, 모본에서 삽수를 채취하여 삽수 절단 부위에 발근제나 성장조절제를 도포한 후 토경재배로 뿌리 발달을 유도한다[15]. 그러나 관행의 삽수를 이용한 대마 토경재배시에는 뿌리혹파리, 총채벌레 등 병해충 피해가 다발하고 삽수에서 뿌리가 발달하기까지 2~3주 이상의 시간이 소요된다. 또한 시설 내 온·습도, 관수회수, 관수량, 발근제 도포량의 차이 등에 의해 삽목 유품의 발근이나 생장량 차이가 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 노지나 시설에 비해 환경 제어가 쉬운 다단식 식물공장 시스템을 활용하여 적색, 청색 또는 백색의 LEDs 단일 광질 또는 이들 광질을 혼합한 광질 제어가 의료용 대마 삽수 유품 V1과 V4 유품의 수경 생장에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

식물재료 및 재배조건

식물재료는 농촌진흥청 국립원예특작과학원에서 노지 대마 대비 의료용 소재인 CBD (Cannabidiol) 함량이 높고 환각성분인 THC (Tetrahydrocannabinol) 함량이 낮으며 초장이 짧아 식물공장 재배가능성이 높은 품종으로 선발한 대마(*Cannabis sativa* L.) 'V1'과 'V4' 두 품종의 삽수로 하였다. 삽수 채취를 위하여 V1과 V4 모본은 광강도 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 백색 LEDs를 광원으로 하여 온도 25°C, 습도 50%로 제어한 식물공장에서 고압증기멸균한 원예상태에 정식하여 토경재배하였다. 상기 조건에서 재배한 대마 상부 2~3마디에서 본엽이 3~4매 전개한 삽수를 채취하였으며, 관행 삽수 처리 방법과 달리 채취한 삽수 절단 부위에 발근제를 도포하지 않고 1일 동안 물을림한 후 수경재배용 우레탄스펀지 큐브로 감싼후 재배베드에 정식하였다.

식물공장 내 대마 삽수 수경재배를 위하여 백색 형광등(Treatment FL, Fluorescent Lamp), 청색 LEDs (Treatment B, Blue Light-Emitting Diodes), 적색 LEDs (Treatment R, Red Light-Emitting Diodes), 적청 혼합 LEDs (Treatment BR, mixture of Blue

plus Red Light-Emitting Diodes) 및 적청백 혼합 LEDs (Treatment BRW, mixture of Blue plus Red plus White Light-Emitting Diodes) 등 5개의 광질 처리구를 설정하였으며 대조구로는 36W Cool-White 형광등을 공시하였다. 또한 적청 및 적청백 혼합 LEDs 처리구에서 단일광질간 혼합비율은 각 단일 광질을 1:1 및 1:1:1 비율로 제어하였다. 각 처리구의 광강도는 삼수 정식일부터 1주일간 $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 정식 2주차부터 재배종료시까지 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 설정하였다. 대마 삼수 수경재배를 위하여 담액식(Deep Flow Type) 재배방식을 채택하고 삼수 정식후 6주간 수경재배하였으며 각 처리 광질별 광조사시간은 1일 16시간으로 제어하였다. 삼수 재배기간동안 수경배양액은 식물공장 내 관행 업체류 재배용 Yamazaki 액(N: 6.5, P: 1.5, K: 4.0, Ca: 2.0 및 Mg: 1.0 me/L)을 공시하고 4시간 간격으로 자동 급·배수하였다. 재배실내 온도와 습도는 각각 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 및 $50 \pm 10\%$ 로 제어하였으며 수경배양액 EC 및 pH는 각각 1.5 dS/m 및 6.0으로 제어하였다. 또한 식물공장 재배시스템 내 지상부 및 지하부 온도, 습도, EC 및 pH, 작물 생육 등 데이터 수집, 대마 취급 안전 및 보안을 위하여 실시간 모니터링시스템을 구축하여 운용하였다(Fig. 1).

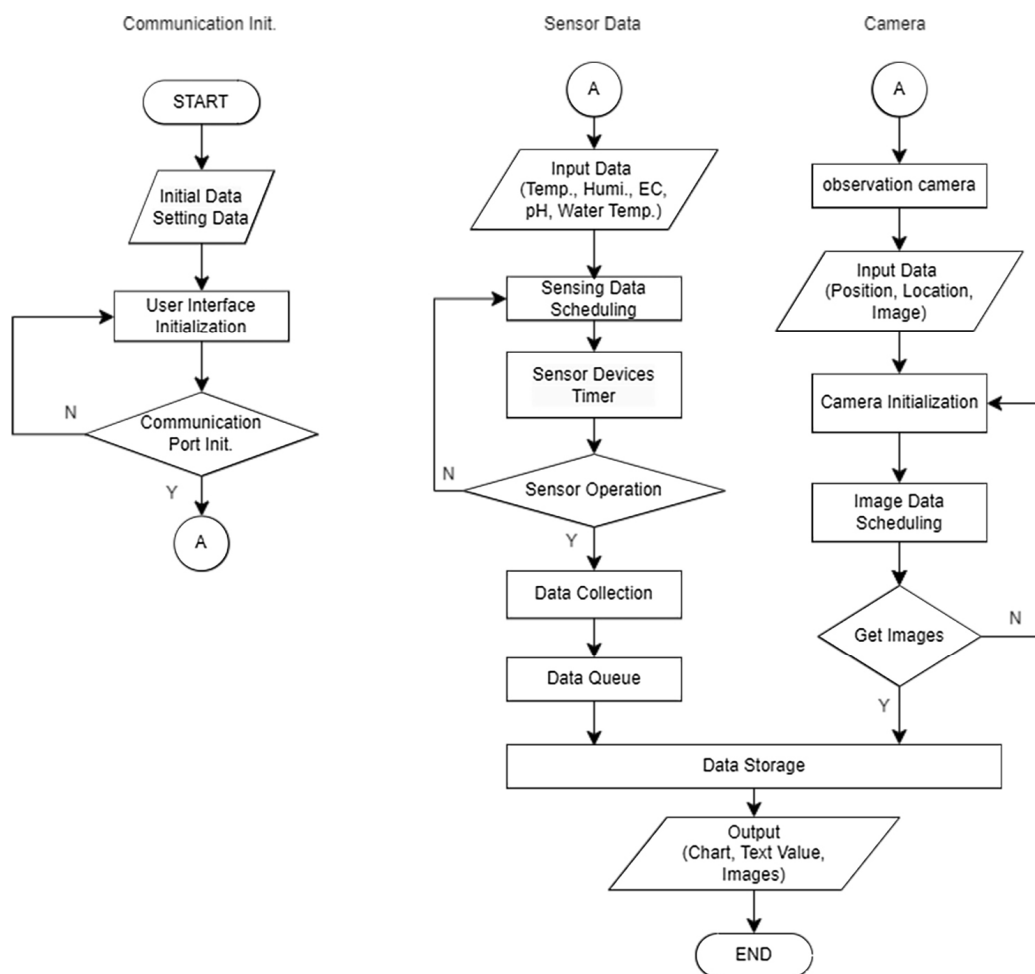


Fig. 1. Flow chart of the real-time monitoring system for Hemp growth and environmental factors.

생장량 조사 및 통계분석

대마 모본 상부 2~3마디에서 삼수를 채취하여 수경재배하고 재배개시 6주차에 대마 삼목묘의 초장, 마디수, 줄기직경, 엽내 SPAD 측정치(SPAD-502, Minolta Spectrum Tech., USA) 등을 측정하였다. 또한 광질을 달리한 처리구의 시험반복은 3, 개체 반복수는 15로 하였다. 시험은 완전임의배치법으로 수행하였으며 시험 종료 후 통계분석은 SAS 프로그램(Version 6.21: SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA 분석하고 측정 결과에 대하여 Duncan의 다중검정($P=0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 발근제 처리에 의해 뿌리 성장을 유도하는 관행 토경재배 방식에 비해 단일 또는 혼합 LEDs 광원을 채택한 인공광 식물공장 시스템에서 수경방식으로 재배하는 것이 삼수 유래 대마 V1과 V4 유묘의 지상부와 지하부 성장 촉진에 유리할 것으로 판단되었다. 관행 재배방식과 달리 토양 유래 병해충 억제 및 재배관리 편의성 등을 고려하여 일반 토양을 사용하지 않고 우레탄 스펀지를 작물 지지체로 이용하여 수경재배한 결과 상토 표면의 녹조 발생이나 뿌리혹파리와 같은 병충해는 관찰되지 않았다. 재배기간동안 조사광질을 달리한 식물공장 조건에서 6주간 수경재배한 삼수 유래 대마 V1 유묘의 초장은 적색의 단일 LEDs를 조사한 R구에 비해 청색의 단일 LEDs를 조사한 B구, 적청 또는 적청백의 혼합 LEDs를 조사한 BR구 및 BRW구에서 통계적으로 유의하게 증가하였다(Fig. 3). B구, BR구나 BRW구에서 V1 대마 유묘의 초장은 개체당 약 38~39cm까지 증가하였으며 R구에서 32cm, 대조구인 FL구에서 약 35cm로, B구, BR구 또는 BRW구에서 R구 대비 19% 이상 증가하였다. 또한 초장신장이 관찰된 B구, BR구 또는 BRW구 간에는 통계적인 유의성이 없는 것으로 나타났다. Wannida 등 (2024)은 청색의 단일광질뿐만 아니라 원적색의 단일광질 조사에 의해 대마 삼수의 줄기 신장이 촉진된다고 보고하였다[8]. 선행 연구 결과에서 언급한 바와 같이, 청색이나 원적색의 단일광질 조사에 의한 줄기신장 효과는 광질처리전 삼수가 가지고 있던 마디수 증가에 의한 줄기신장 촉진인 아닌 마디의 길이신장을 의미하는 것으로, 본 연구조건에서는 마디수의 증가에 의한 줄기신장이 단일광질이 아닌 적색과 청색의 혼합광질에 기인한 것으로 판단되었다. V4의 초장은 혼합광 처리구인 BR구에서 약 45



Fig. 2. Shoot and root growth of of Hemp seedlings derived from cuttings hydroponically cultured under the mixture radiation conditions (Treatment BR of blue plus red LEDs in the ratio of 1:1, and Treatment BRW of blue plus red plus white LEDs in the ratio of 1:1:1) provided by Light-Emitting Diodes (LEDs) for 6 weeks. Treatment FL means fluorescent light considered as a control.

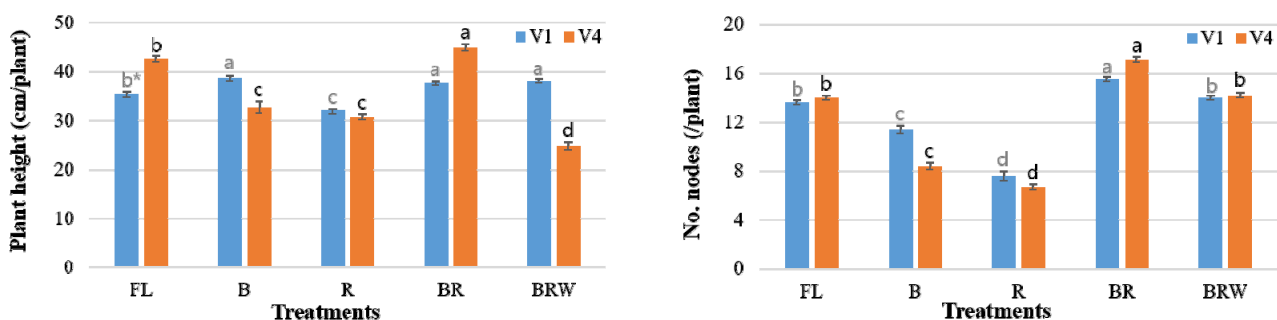


Fig. 3. Plant height (left) and number of nodes (right) of Hemp seedlings derived from cuttings hydroponically cultured under the different light qualities (Treatment B of monochromatic blue light, Treatment R of monochromatic red light, Treatment BR of blue plus red LEDs in the ratio of 1:1, and Treatment BRW of blue plus red plus white LEDs in the ratio of 1:1:1) for 6 weeks. Different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Values are means of 3 replications $\pm$ standard errors.

cm로 최대였으며 V1과 달리 BRW구에서는 초장신장이 억제되었다. BR구에서 V4 품종의 초장은 대조구인 FL구 대비 5% 이상, BRW구 대비 80% 이상 유의하게 증가한 것을 알 수 있었다. V1과 V4 품종에 있어서 초장신장은 다른 처리구에 비해 BR구와 FL구에서 V1 품종 대비 V4에서 촉진되는 것으로 보아 광질처리 효과는 대마 삼수 품종에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있었다.

V1과 V4 품종의 마디수는 초장신장과 마찬가지로 BR구에서 통계적으로 유의하게 증가하였는데, 다른 처리구와 달리 BR구에 있어서 마디수 증가는 마디의 종축생장에 의한 초장신장이 아닌 마디수 증가에 기인한 것으로 판단되었다(Fig. 3). BRW구에서 초장은 V1에 비해 V4에서 감소하였으며 V1과 V4의 마디수에는 유의한 차이가 없었다. V1 품종의 마디수는 R구 대비 BR구에서 100% 이상 증가하였으며 단일광 처리구인 B구나 R구에서는 BR구에서와 달리 V4보다 V1에서 마디수가 증가하였고 BRW구에서는 품종간 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

한편 V1 분지수는 초장신장이나 마디수 증가에서와 같이 적청 혼합 LEDs 조사구인 BR구에서 최대였으며 단일광 조사구인 R구에서 최소로 나타났다(Fig. 4). 삼수 재배개시 6주차 BR구에서 V1의 분지수는 10.9개로 R구 대비 65%, 대조구인 FL구 대비 49%, BRW구 대비 13% 이상 유의하게 증가하였다. V1에서와 같이 V4의 마디수는 BR구에서 13.5개로 최대였으며 분지수 증가가 최소인 R구 대비 125%, BRW구 대비 60% 증가하였다. BR구에서 V1과 V4 품종간 분지수 증가 경향을 비교한 결과 V4에서 약 24% 증가하는 것을 알 수 있었다. 온실이나 노지에 비해 비교적 광강도가 낮은 조건에서 작물을 재배하는 식물공장에서는 광강도 이외에 작물의 종류나 생육단계에 따라 작물 생장에 미치는 광질의 영향이 다양하게 나타난다. 일부 연구 보고에 의하면 식물공장 조건에서 수경재배한 엽채류의 엽장이나 분지수 증가는 광질보다 광강도에 의해 좌우된다고 한다[9]. 본 연구에서와 같이 광강도가 동일한 조건에서 대마 V1과 V4의 분지수 증가는 광강도의 영향보다 적색과 청색의 혼합광질의 영향을 받은 것으로 판단되었다. 온실이나 노지에서 작물재배시 조사 광강도는 전력소모량 및 냉방 부하를 감소시키기 위하여 광강도를 일정 수준으로 제어하는 식물공장에 비해 높기 때문에 광질 및 광강도의 차이뿐만 아니라 온도나 강우, 습도 등 외부 환경요인도 엽수, 분지수 증가 등 작물의 지상부 생장에 영향을 미쳤을 것으로 생각되었다.

삼수에서 발달한 잎의 색소형성 지표인 SPAD 측정치를 조사한 결과 V1과 V4 두 품종 모두 단일 LEDs 조사구인 B구나 R구에 비해 FL구, BR구 및 BRW구에서 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4). 특히 SPAD 측정치는 R구에서 최소인 것으로 보아 적색의 단일광질은 대마 엽내 색소합성을 억제하는 요인으로 작용한 것을 알 수 있었다. 이에 반해 FL구와 BRW구에 있어서는

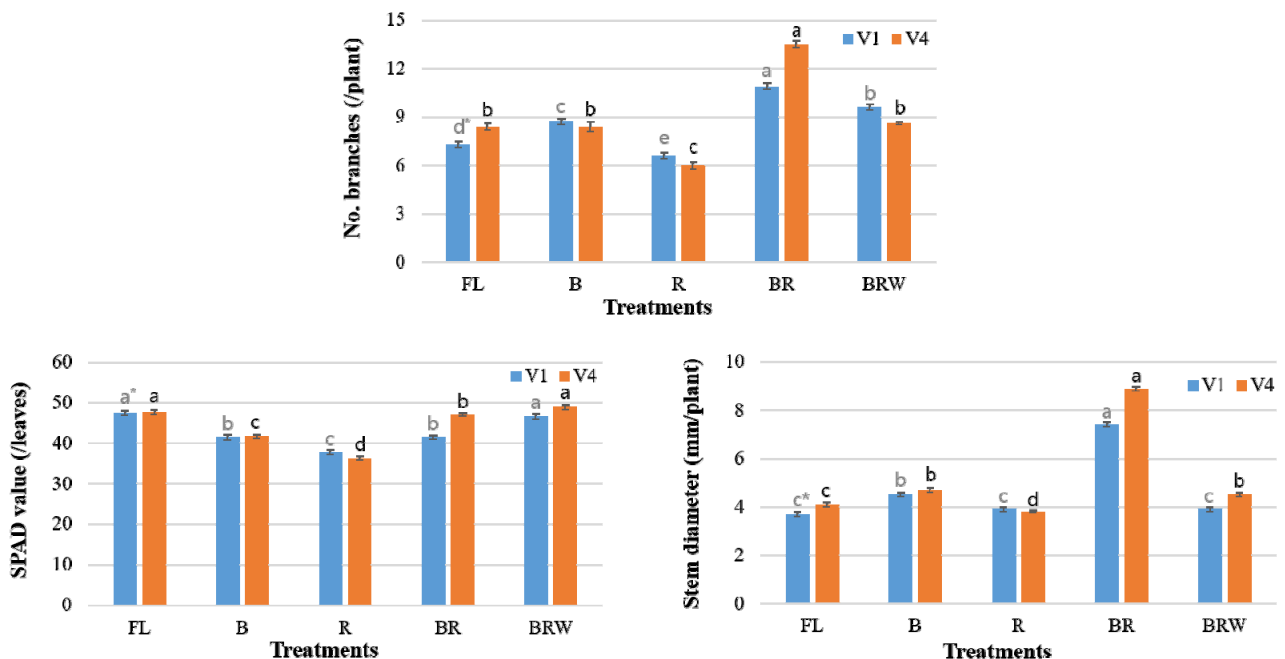


Fig. 4. Number of branches, SPAD value, and stem diameter of Hemp seedlings derived from cuttings hydroponically cultured under the different light qualities (Treatment B of monochromatic blue light, Treatment R of monochromatic red light, Treatment BR of blue plus red LEDs in the ratio of 1:1, and Treatment BRW of blue plus red plus white LEDs in the ratio of 1:1:1) for 6 weeks. Different letters are significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Values are means of 3 replications $\pm$ standard errors.

V1 품종의 색소형성이 촉진되었으며 두 처리구간 유의성은 인정되지 않았다. 대조구인 FL구에서의 색소합성능의 경우 다른 처리구와 달리 품종에 의한 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 반면에 초장신장, 마디수 및 분지수 증가에 유의한 영향을 미친 혼합 LEDs 처리구인 BR구나 BRW구에서는 품종간 색소합성능에 차이가 관찰되어 V1 대비 V4에서 SPAD 측정치가 유의하게 증가하였다. V4의 경우 V1과 마찬가지로 FL구와 BRW구에서 색소합성능이 최대였으며 두 처리구 간에는 유의성이 인정되지 않았다. BR구에서 대마 신선엽내 색소합성능은 광질뿐만 아니라 품종에 따라 상이한 결과가 관찰되었는데 BR구의 경우 V1 대비 V4에서 SPAD 측정치가 13% 이상 증가한 것으로 나타났다. FL구 및 BRW구에서 수경재배한 V1의 SPAD 측정치는 R구 대비 24% 이상 유의하게 증가하였고 V4에서도 색소형성능이 억제된 R구 대비 FL구 및 BRW구에서 30% 이상 증가하였다. 광질이 상이한 재배조건에서 대마 지상부의 양적생장과 단백질이나 전분 합성과 같은 질적생장 향상은 정의 관계를 나타낸다고 한다[18]. 이와 같은 연구 결과는 온실조건에서 산업용 대마 토경재배시 상이한 광질 처리에 의해 작물의 양적생장 촉진과 함께 작물체 내 단백질 합성량이 증가한다는 연구에서도 언급되었다. 또한 본 연구에서와 같이 단일 광질 이외에 형광등이나 혼합광질 조건에서 대마 삽수를 수경재배하면 수경재배 실생묘에서와 같이 엽수, 분지수, 마디수 증가 등의 양적생장 증가와 더불어 대마의 색소합성능 또한 증가하는 것을 확인하였다[6].

초장, 마디수 및 분지수 증가와 마찬가지로 재배개시 6주차 대마 삽수 V1과 V4의 줄기 비대는 적색과 청색 혼합 LEDs 광질의 영향을 받은 것을 알 수 있었다. V1의 줄기직경을 측정된 결과 FL구, R구 및 BRW구에서 최소값을 보였으며 이들 처리구간 유의성은 인정되지 않았는데 BR구에서 V1의 줄기직경은 다른 처리구에 비해 100% 이상 유의하게 비대하였다. V4의 줄기직경은 BR구 > B구 ≒ BRW구 > FL구 > R구 순으로 증가하였는데, V1과 마찬가지로 BR구에서 8.9 mm로 줄기직경이 최대였다. 적색과 청색의 혼합 LEDs 조사구에서 V4의 줄기직경은 대조구인 FL구에 비해 117%, R구에 비해 134% 증가하였다. 동일한 광질 조건에서도 V1과 V4의 줄기직경은 R구를 제외한 모든 처리구에서 품종간 차이를 보여 V1 대비 V4 품종에서 줄기비대가 유의하게 촉진되었는데 BR구의 경우 V4의 줄기직경은 V1 대비 20% 이상 증가한 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 식물공장 조건에서 관행 엽채류 재배용 배양액을 공급하면서 대마 삽수 V1과 V4를 수경재배하는 것이 삽수에 발근제를 도포하는 관행 방식의 토경재배에 비해 삽수 유래 유묘 생산에 유리할 것으로 생각되었다. 또한 식물공장 조건에서 조사 광질에 따라 품종간 성장차이가 발생하여 V1에 비해 V4 유묘의 수경 생장이 촉진되는 경향을 확인하였다. 본 연구에서는 대마 삽수를 채취한 후 온실과 같은 시설이나 노지에서 토경재배로 생산하는 관행의 재배방식을 채택하여 유묘 생장을 비교하는 실험은 수행하지 않았다. 그러나 식물공장 조건에서 삽수 유래 대마 유묘의 생장은 동일한 광질처리에도 불구하고 토경재배 방식에 비해 수경재배 조건에서 촉진된 것으로 보아 온실이나 노지에서 유묘를 생산하는 관행방법보다는 토경재배방식을 채택 하더라도 인공광 식물공장 조건에서 수경재배하는 것이 유묘 생산에 유리할 것으로 생각되었다. 또한 본 연구에서는 대마 수량 및 취급 제한 등에 의해 단일광질, 혼합광질, 혼합광 조사구의 혼합비율이나 재배방식별 성장 차이 이외에 작물체 내 CBD나 THC와 같은 기능성 성분 합성에 대한 검토가 이루어지지 않았다. 적색과 청색의 LEDs 혼합비율을 달리하여 대마 실생묘를 재배할 경우 적색의 비율을 낮게 제한한 조사구에서 성장 및 CBD 합성이 촉진된다는 연구사례에서 알 수 있듯이[13] 본 연구에서 공시한 적색과 청색의 혼합광 조사에 의한 양적생장의 차이로부터 상기 물질 이외 기타 기능성 성분 합성량에도 유의한 차이가 있을 것으로 생각되었다[21,22,25]. 수경재배방식을 채택하는 식물공장 시스템에서 다양한 원예작물을 재배한 연구 결과에 의하면 삼채와 같은 약용작물의 경우 노지나 시설 내 토경재배방식에 비해 작물의 연중 생산뿐만 아니라 향당도, 면역 등에 영향을 미치는 기능성 물질 등 이차대사산물 합성량은 특정 광질이나 광강도 등 제어된 환경요인에 의해 좌우된다고 한다[5,9,10,11,12,19].

본 연구를 통하여 얻어진 광질별 삽수 유래 대마 유묘의 성장 특성을 기반으로 식물공장 조건에서는 발근제나 성장조절제, 살충제와 같은 물질을 처리하지 않고도 삽수 유래 대마 유묘를 수경방식으로 연 52주 기준 8회 이상 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 식물공장 조건에서 적정 혼합광질은 대마 삽수, 실생묘나 엽채류 이외에 과채류인 딸기 러너의 근권 형성에 유의한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다[14]. 대마 삽수의 경우 결과로 제시하지는 않았으나 재배기간 중 근권 형성을 육안으로 관찰한 결과 관행 토경재배에 비해 삽수 정식 4주차 대마 유묘의 근권 형성이 양호하다고 판단되었다. 이로써 V1과 V4 대마 유묘 생산기간을 2주 단축하여 연 13회 삽수 유래 대마 유묘를 안정적으로 생산할 수 있을 것으로 기대된다. 대마 작물체 내 CBD와 같은 의료소재 물질은 주로 어린 잎이나 미수정 암꽃에 다량 함유되어 있기 때문에 금후 광질의 혼합비율, 담액이나 분무경 등 수경방식 등에 따른 유묘 잎의 물질 합성능의 차이에 대하여 조사하고 관행 방법에 의해 생산된 유묘와의 비교·검토를 통하여 삽수 유래 대마 건전유묘 수경재배기술을 확립하고자 한다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: Conceptualization, TH Kim; and methodology, JM Lee and JH Baek, TH Kim and JW Heo; writing-review and editing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This study was funded by a research program (PJ01728501) of Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.26>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Tae-Hyun Kim.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

- Kozai T (2013) Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 89(10), 447-461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>.
- Promratrak L (2017) The effect of using LED lighting in the growth of crops hydroponics. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 6(2), 133-140. <https://doi.org/10.12720/sgee.6.2.133-140>.
- Jaeger S (2024) Vertical farming (plant factory with artificial lighting) and its produce: Consumer insights. *Current Opinion in Food Science*, 56, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2024.101145>.
- Wojciechowska R, Kołton A, Długosz-Grochowska O, Kunicki E, Mrowiec K, Bathelt P (2020). LED lighting affected the growth and metabolism of eggplant and tomato transplants in a greenhouse. *Horticultural Science*, 47(3), 150-157. <https://doi.org/10.17221/78/2019-HORTSCI>.
- Nguyen DT, Kitayama M, Lu N, Takagaki M (2020) Improving secondary metabolite accumulation, mineral content, and growth of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by regulating light quality in a plant factory. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(3), 356-363. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1677510>.
- Islam Md. J, Ryu BR, Azad Md. OK, Rajman Md. H, Rana Md. S, Kang CW, Lim JD, Lim YS (2021) Comparative growth, photosynthetic pigments, and osmolytes analysis of hemp (*Cannabis sativa* L.) seedlings under an aeroponics system with different LED light sources. *Horticulturae*, 7, 239-253. <https://doi.org/10.3390/horticulturae.7080239>.
- Orsini F, Pennisi G, Zulfiqar F, Gianquinto G (2020) Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs). *European Journal of Horticultural Science*, 85(5), 297-309. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.5.1>.
- Wannida ST, Ep H, Wouter K, Eleni A, Celine CS N (2024) Effect of far-red and blue light on rooting in medicinal cannabis cuttings and related changes in endogenous auxin and carbohydrates. *Scientia Horticulturae*, 325, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112614>.
- Heo JW, Baek JH (2021) Effects of light-quality control on the plant growth in a plant factory system of artificial light type. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 40(4), 270-278. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2021.40.4.31>.
- Heo JW, Baek JH, Lee SH, MJ Kim, Shim CK (2023) Environmental control in the plant factory system influences year-round production of *Allium hookeri* leaves. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 42(4), 279-285. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2023.42.4.32>.
- Jung JE, Heo JW, Kim JS, Jeong UY, Kim HB, Shim CK, Lee SH (2022) Comparison of the antioxidant and anti-inflammatory effects of *Allium hookeri* leaves grown in an outfield and a plant factory using different artificial lights. *The Korean Society of Community Living Science*, 33(4), 657-669. <https://doi.org/10.7856/kjcls.2022.33.4.657>.
- Toldi D, Gyugos M, Darkó É, Szalai G, Gulyás Z, Gierczik K, Székely A, Boldizsár Á, Galiba G (2019) Light intensity and spectrum affect metabolism of glutathione and amino acids at transcriptional level. *PLoS One*, 14(12), e0227271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227271>.
- Wei X, Zhao X, Long S, Xiao Q, Qui C, Qui H, Wang Y (2021) Wavelengths of LED light affect the growth and cannabidiol content in *Cannabis sativa* L. *Industrial Crops & Products*, 165, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113433>.
- Zheng J, Ji F, He D, Niu G (2019) Effect of light intensity on rooting and growth of hydroponic strawberry runner plants in a LED

- plant factory. *Agronomy*, 9(12), 875. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120875>.
15. Henry AML, Carlos FBS, Oscar De JCG (2023) Asexual propagation in female plants of cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Revista Colombiana De Ciencias Horticolas*, 17(2), e16046. <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i2.16046>.
 16. Jin D, Jin S, Chen J (2019) Cannabis indoor growing conditions, management practices, and post-harvest treatment: A review. *American Journal of Plant Sciences*, 10, 925-946. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.106067>.
 17. Magagnini G, Grassi G, Kotiranta S (2018) The effect of light spectrum on the morphology and cannabinoid content of Cannabis sativa L.. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 1, 19-27. <https://doi.org/10.1159/000489030>.
 18. Cheng X, Zhao K, He X, Zheng H, Wang R, Liu C (2023) Differential protein response to different light quality conditions of industrial hemp cultivation based on DIA technology. *Industrial Crops & Products*, 197, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022023.116650>.
 19. Atherton H, Li P (2023) Hydroponic cultivation of medicinal plants-plant organs and hydroponic systems: Techniques and trends. *Horticulturae*, 9, 349-375. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030349>.
 20. Mahberg PG, Hemphill JK (1983) Effect of light quality on cannabinoid content of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *Botanical Gazette*, 144(1), 43-48. <https://doi.org/0006-8071/83/4401-0017>.
 21. Miao C, Yang S, Xu J, Wang H, Zhang Y, Cui J, Zhang H, Jin H, Lu P, He L, Yu J, Zhou Q, Ding X (2023) Effects of light intensity and quality of lettuce and spinach cultivars in a plant factory. *Plants*, 12(18), 3337-3355. <https://doi.org/10.3390/plants12183337>.
 22. Xiao L, Shibuya T, Kato K, Nishiyama M, Kanayama Y (2022) Effects of light quality on plant development and fruit metabolism and their regulation by plant growth regulators in tomato. *Scientia Horticulturae*, 300, 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.11076>.
 23. Park SH, Pauli CS, Gostin EL, Staples K, Seifried D, Kinney C, Heuvel DV (2022) Effects of short-term environmental stresses on the onset of cannabinoid production in young immature flowers of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of Cannabis Research*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.1371/10.1186/s42238-021-00222-y>.
 24. Moon YH, Song YS, Jeong BC, Bang JK (2006) Cluster analysis and growth characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.) germplasm. *Korean Journal of Crop Science*, 51(5), 483-490. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2006.51.5.483>.
 25. Morello V, Brousseau VD, Wu N, Wu BS, MacPherson S, Lefsrud M (2022) Light quality impacts vertical growth rate, phytochemical yield and cannabinoid production efficiency in *Cannabis sativa*. *Plants*, 11(21), 2982-3001. <https://doi.org/10.3390/plants11212982>.