

컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 성장특성

엄영철* · 오상석 · 이준구 · 김승유 · 장윤아
농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과

The Development of Container-type Plant Factory and Growth of Leafy Vegetables as Affected by Different Light Sources

Yeong-Cheol Um*, Sang-Seok Oh, Jun-Gu Lee, Seung-Yu Kim, and Yoon-Ah Jang

Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. For the energy-saving production of fresh vegetables in poor environment such as the Antarctic, a container-type plant factory was designed and developed. To maximize space usage of the 20 feet container (L5.9 m × W2.4 m × H2.4 m), a three-level hydroponic cultivation system was installed and the nutrient solution was supplied by bottom watering. Using this system, 3 lettuce cultivars were grown under different the light source (light intensity). After 2 weeks from the transplanting, fluorescent lamp (145 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) showed the best fresh weight of top part and leaf area. However, After 4 weeks, fluorescent lamp plus metal halide lamp (150 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) led to the optimum growth of the each lettuce cultivar. The cultivar, 'Cheongchima', showed the best fresh weight of top part and leaf area, followed by 'Jeokchukmyeon' and 'Lollo rosa'. The chlorophyll concentrations (SPAD) showed no significant difference among the sources of lights. However, 'Cheongchima' showed relatively high chlorophyll concentration. With the above results, we found that the growth of lettuce is depend on light intensity and even at same intensity, the growth is different among the cultivars. Therefore, the selection of optimum cultivar should be considered in the plant factory system that has only weak light density.

Key words : artificial light sources, hydroponic culture, lettuce, plant factory

서 론

식물공장이라 함은 자연환경을 조절하여 계절에 관계없이 일정한 작업을 통하여 계획적으로 작물을 재배할 수 있는 생산시스템을 말하며, 이에 는 작업의 공정화와 자동화 개념을 포함하고 있다. 자연광 이용형과 인공광 이용형 식물공장으로 대별하여 분류하며, 모두 일정한 시설 내에서 광, 온도, 습도, 이산화탄소, 공기 유동, 양분과 수분 등을 조절할 수 있는 시스템을 말한다. 이런 환경을 정밀하게 조절하여 생산성 향상은 물론 품질의 고급화가 가능하다고 한다(TIIC, 2009). 최근 안전한 농산물의 공급을 요구하는 소비자가 증가하고 있고, 한편으로는 이상기상 현상으로 안정생산의

중요성이 강조되고 있으며, 국제적으로 곡물가격의 급등으로 식량안보를 걱정하고 있는 현실에서 식물공장에 대한 관심이 높아지고 있다.

그 중 완전밀폐형 식물공장은 인공광원을 이용하여 외부환경과 거의 무관하게 생산할 수 있고 지리적 입지에 상관없이 사막, 극지방, 고산, 해안, 심지어 우주 공간 등에서 언제나 식물을 재배할 수 있는 장점이 있다. 또한 빌딩이나 건물 내에서도 공간의 활용성을 획기적으로 높일 수 있어 토지의 생산성이 높아지고 따라서 도심에서도 농사가 가능한 시스템이다. 토지생산성의 증가는 소비자와 인접하여 도시 내에서의 설치가 가능하고 인접하여 위치한 다른 산업과의 연계가 쉬워진다. 한편으로 환경을 정밀하게 조절하여 재배한다는 것은 생산성을 높이는 것 이외에 품질을 향상시킬 수 있다.

식물공장 생산이 최근에 많은 사람들로부터 관심을

*Corresponding author: ycum0403@korea.kr
Received November 17, 2010; Revised November 24, 2010;
Accepted December 1, 2010

블러일으키는 이유로서 농산물의 고도의 품질관리기술을 도입하여 안전한 먹거리를 지속적으로 공급할 수 있고 농업과 상업, 그리고 공업이 융합하여 부가가치가 높은 식자재를 공급한다는 측면이 있다(TIIC, 2009). 이는 식물체에 적절한 환경을 조절함으로써 병해충의 발생이 없고, 따라서 농약의 사용이 없이 재배가 가능하다.

최근에 공급되고 있는 LED는 특정한 광파장을 조절할 수 있어 가능성 성분의 함량을 증가시키는 등 고품질 농산물 생산의 가능성이 있다(TIIC, 2009; Nishimura 등, 2006; Nozue 등, 2010). 그리고 수경 재배시스템을 통하여 지하부에만 수분을 공급할 수 있어 앞에서의 오염을 줄이고 씻지 않고도 먹을 수 있는 채소의 생산이 가능하고, 양액관리를 적절히 하여 질산염이 적은 채소를 생산할 수도 있다(Matsumoto 등, 2009, 2010).

이상과 같은 장점이 있음에도 불구하고 설치비용이 매우 높아서 경제성을 맞추기가 어렵다는 것이 최고의 문제점으로 지적되고 있다(Kim과 Jang, 2009; Masamoto, 2010). 생산비의 증가에 대하여 고기능성의 농산물을 생산하여 가격을 높여 받는 방법도 있겠으나 시설의 표준화 등을 통하여 설치비용의 절감도 필요하다.

한편으로 인간에게 있어서 채소는 미네랄, 비타민 등의 영양소 공급이나 섬유질 등의 소화기능 등 없어서는 안 되는 중요한 기능을 가지고 있기 때문에 극지, 우주, 선상, 사막 등 채소의 생산이 어려운 지역에서 생활하는 사람들에게는 식물공장의 보급이 시급한 실정이다. 본 연구는 남극 세종기지 대원들을 대상으로 소규모의 식물공장을 제작하여 보급하고 이들에게 공급이 필요한 여러 가지의 채소작물에 대한 재배기술을 확립하여 제공할 목적으로 수행하였다. 이제까지 채소작물 생산을 위한 식물공장에 대한 연구는 식물공장용 자동화장치에 관한 개발(Chang 등, 2005), PLC와 컴퓨터를 이용한 환경제어(Kim 등, 2006) 등의 기계장비와 제어장비에 대한 연구가 이루어졌고, 식물공장 내 재배기술을 위해 탄산가스의 변화특성(Son 등, 1999), 인공광원(Cho 등, 1998), 온도(Choi와 Lee, 2003), 배양액 농도(Choi와 Lee, 2001), 광강도와 배양액농도(Park과 Lee, 1999b), CO₂ 농도, 광강도 및 배양액농도(Park과 Lee, 1999a), 근권부 온도(Lee 등, 2004) 등의 재배환경 조건에 따른 작물의 생육과 특성에 대

한 연구가 이루어져 왔다. 본 연구에서는 남극의 기후 환경 및 현실적 문제를 고려하여 컨테이너형 식물공장을 개발하여 설치하였고, 이 컨테이너 식물공장을 활용하여 엽채류 생산을 안정적으로 할 수 있도록 광원의 설정 등 환경요인에 대한 생장 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

식물재배가 어려운 환경조건에서도 안정적으로 채소를 생산할 수 있으며 제한된 공간을 최대한 활용할 수 있도록 소형의 식물공장을 제작하여 본 연구를 실시하였다. 우선 식물공장의 설치는 길이 5.9m, 너비 2.4m, 높이 2.4m로 일반 20피트 크기의 컨테이너를 활용하였다. 컨테이너에는 우레탄 단열재를 내벽에 설치하여 극한 기후에서도 난방비를 최소화 하도록 하였다. 내부 벽면에는 알루미늄 판(알루미늄 코팅 보온재)을 부착하여 내부에서 발광하는 모든 빛에 대하여 반사를 많이 되게 하여 광 이용 효율을 높였다. 찬 공기, 지나친 건조, 바람 등 외부의 기상환경이 작물생육에 영향을 끼치지 않도록 이중의 공간을 설치하여 외부의 공기는 준비실을 통하여 재배실 내로 유입되도록 하였다. 실내 공기의 유동은 재배상에 소형 유동팬을 설치하여 약 0.5m·s⁻¹ 정도가 되게 하였다. 또한 재배실 내 온도, 습도, 탄산가스 농도를 감지하여 가온, 냉방, 가습, 제습, 탄산가스 공급 등이 조절하도록 하였다. 재배상은 천정의 높이에 맞게 3단으로 설치하였고, 양쪽 벽면에 부착하여 이동이 용이하도록 60×130cm 넓이의 재배상을 총 18개 배열하였다. 각 베드의 높이는 1층 40cm, 2층 55cm, 3층 80cm로 만들었고, 베드마다 다양한 광원을 설치하여 비교하였다.

각각의 재배상은 일정량의 양액을 담을 수 있도록 스테인레스 판으로 제작하였고, 양액의 공급은 저면급수 방식으로 하였는데, 일정시간 양액을 재배조에 공급한 후에 자동 배수가 되도록 전자밸브를 설치하였다. 작물에 따라서 양액공급 회수, 공급량, 공급시간 등을 조절할 수 있도록 타이머 등이 부착된 순환식 수경재배시스템을 적용하였다. 각 베드의 하단부 높이 50cm 공간에 타원형의 110L 용량의 플라스틱통을 설치하여 양액탱크로 활용하였으며, 각 탱크마다 펌프를 이용하여 각 층별로 각기 다른 양액이 공급 가능하도록 하였다.

컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 성장특성

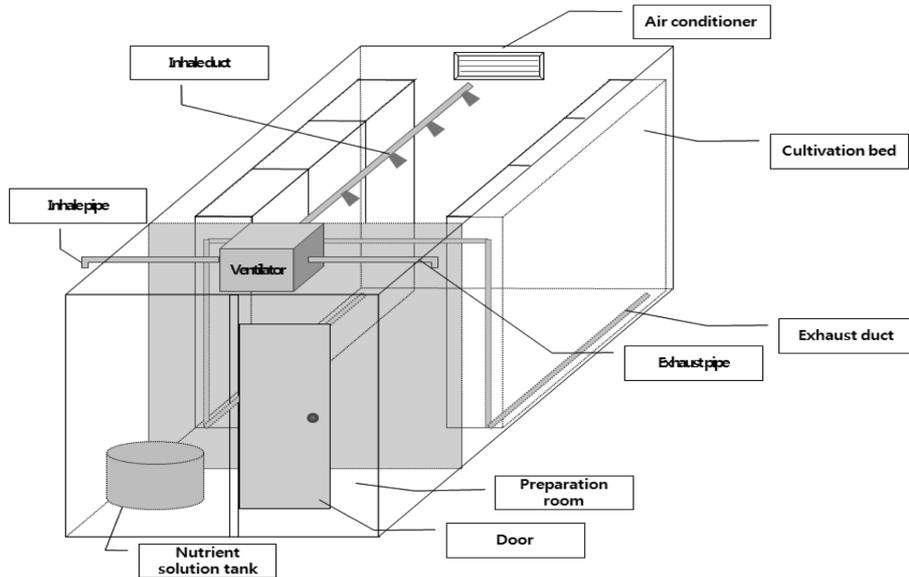


Fig. 1. Schematic diagram of container-type plant factory for the production of leaf vegetables.

재배구역 내 온도 제어는 unit cooler(KUC-SDU020L, 경동)를 이용하였으며, 천정 중앙부에 온도센서를 설치하여 전체 재배구역내의 온도를 제어할 수 있도록 하였다. 습도 제어는 초음파 기습기를 설치하여 설정치에 따라 작동이 되도록 이용하였다. 온습도 제어와 환기를 위해 폐열회수형 환기장치(ESP250, (주)진성ERV)를 설치하여 지속적으로 내외부공기가 서로 순환되도록 하였다. 각 재배베드의 광원은 제어판넬과 타이머를 이용

하여 작동이 되도록 하였으며, CO₂ 가스는 제어판넬의 설정에 따라 공급이 가능하도록 하였으나, 본 시험에서는 환기장치로 인해 CO₂ 공급이 평균 400mg·L⁻¹ 이상으로 유지되어 별도로 제어를 하지 않았다.

공시작물은 식물공장 내에서 다양한 엽채류의 생육을 비교하기 위해 ‘뚝섬적축면 상추’(Nongwoo Bio Co., Korea), 겨자채(Asia seed Co., Korea), 레드치커리(Asia seed Co., Korea), 적근대(Asia seed Co.,

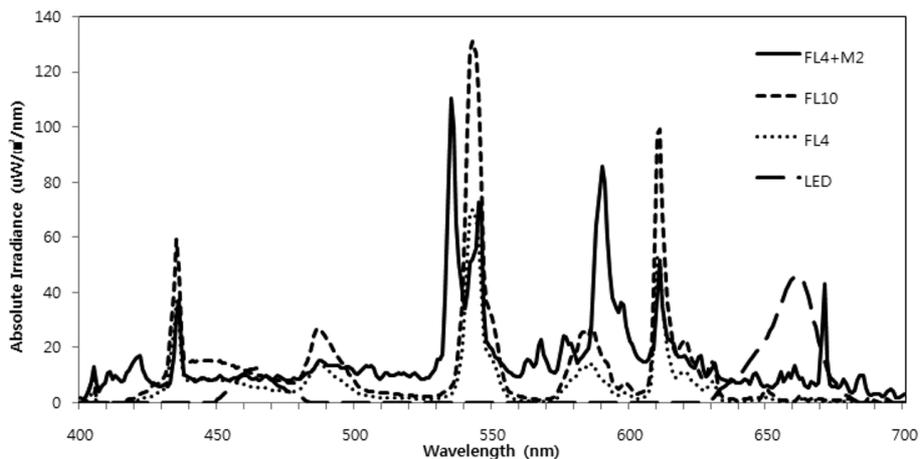


Fig. 2. The absolute irradiance spectrum of each light source.

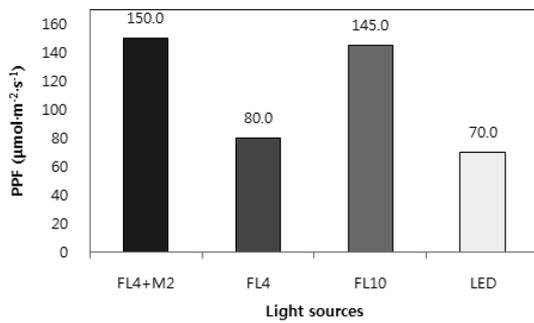


Fig. 3. PPF level of each light source.

Korea), 엔디브(Asia seed Co., Korea), 적치커리(Asia seed Co., Korea), 케일(Asia seed Co., Korea), 잎브로콜리(Asia seed Co., Korea)의 쌈채소용 작물 8종을 이용하였고, 광원의 종류에 따른 상추의 품종별 생육특성을 비교하기 위해 ‘청치마 상추’(Nongwoo Bio Co., Korea), ‘뚝섬적측면 상추’(Nongwoo Bio Co., Korea), 결구상추 ‘롤로로사’(Asia seed Co., Korea)의 3 품종을 이용하였다.

각 시험에 사용된 광원의 종류는 각각 형광등(32W, Philips) 10개(FL10), 형광등 4개 + 메탈할라이드등(150W, Osram) 2개(FL4 + M2), 형광등 4개(FL4), LED 등 (Red2:Blue1, 80W, Parus)의 4종이었으며, 각 광원의 종류별 분광특성(Fig. 2)과 광강도(Fig. 3)는 그림과 같다. 각 광원별 광강도는 FL10과 FL4 + M2 처리구는 145~150 μmol · m⁻² · s⁻¹이며, FL4와 LED 처리구는 80~70 μmol · m⁻² · s⁻¹ 수준이었다. 광원별 광질 분석에는 분광복사계(RPS900-R, International Light Co.)를 이용하였고, 광강도의 측정은 Quantum meter(Spectrum technologies Inc.)를 이용하였다.

식물공장 내부온도는 23°C와 20°C로 설정하였고, 광주기는 1시간 간격으로 on/off를 반복하여 일일 총 광조사시간은 12시간으로 설정하였다. 양액의 공급은 시판되는 엽채류 전용액(물푸레, 대유)을 이용하여 EC 1.2dSg · m⁻¹ 수준으로 조정하여 2시간 간격으로 20분간 공급하였다. 양액은 순환식으로 재활용되었으며, 각 양액탱크의 수위가 일정비율 이하로 낮아졌을 때 초기와 동일한 양액을 재보충하여 공급하였다.

파종 후 10일된 묘를 식물공장 내 재배베드에 정식 후 4주간 재배하였으며, 1주일 간격으로 지상부 생체중, 엽면적, 엽록소함량, 안토시아닌 색소발현 등 식물

체 생육을 조사하였다. 상추 품종별 안토시아닌 색소발현의 간이측정을 색도색차계(Chromameter, CR400, Minolta)를 이용하여 Hunter’s a*값으로 나타내었으며, 엽록소 함량은 간이 엽록소측정기(SPAD-502)를 이용하여 측정하였다. 총 비타민C 함량을 분석하기 위하여 잘게 썬 잎 조직 0.5g을 50mL 플라스틱 용기에 평량하여 넣고 2.5% meta-phosphoric acid 용액 25mL를 넣은 후 균질화하였다. 균질화된 시료를 원심분리용 튜브에 넣고 원심분리기 4°C, 10,000rpm으로 10분간 원심분리하였다. 상등액을 0.45 μm PVDF filter (Whatman)로 여과하여 HPLC용 샘플병에 담았다. 분석은 HPLC(Breeze system, Waters, USA)로 하였으며, 분석조건은 Symmetry C18(5 μm, 3.9 × 150mm) 칼럼(W 12191L-028, Waters, USA), 파장 254nm, 유속 0.5mL · min⁻¹, 전개용매는 20 μm KH₂PO₄액과 메탄올(90 : 10, v/v)로 하였다.

시험구 배치는 완전임의배치법으로 하였으며, 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

식물공장 내에서 FL4 + M2 처리와 FL10 처리의 2종의 광원 하에서 4주간 재배된 8종의 쌈채소용 작물의 생체중을 비교하였다(Fig. 4). 재배 2주 후에는 ‘적측면상추’와 ‘겨자채’, ‘엔디브’, ‘잎브로콜리’는 FL10 처리구에서 생체중이 다소 높게 나타났으며, 다른 작물들은 광원종류에 따른 차이가 없었다. 단 이 시기에는 동일 작물간에 편차가 다소 커 통계적인 유의차는 나타나지 않았다.

재배 4주 후에는 ‘적측면상추’, ‘레드치커리’, ‘적근대’, ‘엔디브’, ‘적치커리’ 등은 FL10 광원 하에서 생육이 더 양호하였고, ‘겨자채’, ‘케일’, ‘잎브로콜리’는 FL4 + M2 광원 하에서 더 나은 생육을 보였다. 특히 ‘엔디브’와 ‘적치커리’는 FL4 + M2 광원과 비교해 2.5~3배 이상 생체중에 차이가 있었다. 작물 8종간에는 광원에 관계없이 ‘적측면상추’의 생체중이 가장 컸으며, ‘레드치커리’, ‘케일’, ‘잎브로콜리’는 다른 작물과 비교해 생체중이 작아 인공광원을 이용한 식물공장 내 재배에는 다소 부적합한 것으로 판단된다. ‘엔디브’와 ‘적치커리’를 제외한 다른 작물들은 각 광원별로 생체

컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 성장특성

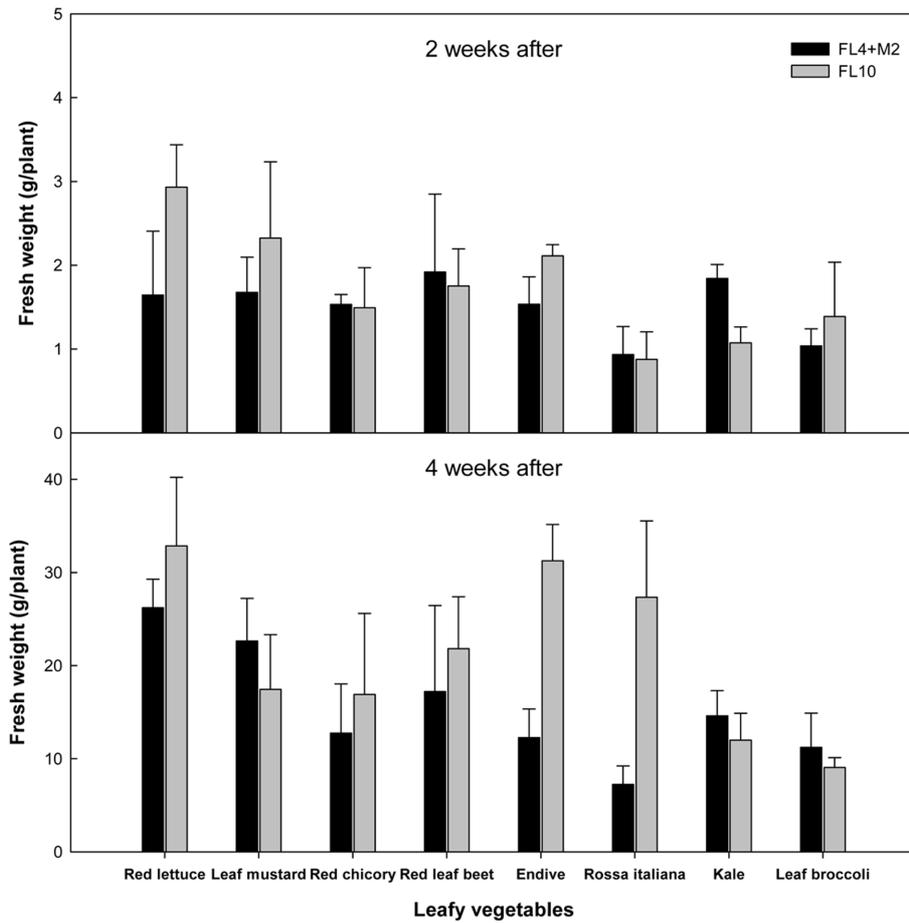


Fig. 4. Fresh weight of leafy vegetables grown in the container-type plant factory as affected by different light sources. Vertical bars represent mean \pm SD.

중 차이는 있으나 통계적인 유의차는 나타나지 않았다.

식물공장 내부 설정온도와 광원종류(광강도)에 따른 상추 3품종의 지상부 생체중을 비교하였다(Fig. 5). 23°C 조건에서는 FL4 + M2 처리구에서 ‘칭치마상추’와 ‘적측면상추’ 품종의 지상부 생체중이 다른 처리구보다 컸다. 상추 품종간에는 ‘칭치마상추’가 FL4 + M2 처리구에서 66.51g으로 다른 품종보다 생육이 양호하였으며, ‘롤로로사’는 모든 광원처리구에서 다른 품종보다 생육이 저조한 결과를 나타내었다. ‘롤로로사’ 품종의 생체중은 다른 품종과 비교했을 때 광원종류에 따른 차이가 유의성 있게 나타나지 않았으며, FL10 처리구에서 생체중이 가장 많았다. ‘적측면상추’와 ‘칭치마상추’는 광원종류에 따라 유의차가 있었으며, FL4 + M2, FL10, LED, FL4 순서로 생체중이 감소

하였다. Park과 Lee(1999b)는 식물공장 내 광강도와 양액수준에 따른 상추의 생육을 조사한 결과 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서 가장 높은 생체중을 나타냈다고 보고한 바 있으며, CO_2 농도, 광도 및 배양액농도가 생육에 미치는 영향을 조사한 결과(Park과 Lee, 1999a)에서도 CO_2 시비시 적정광도 수준은 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이상으로 나타났다고 보고하였다.

20°C 조건에서 재배 4주 후 결과를 보면 ‘칭치마상추’에서는 FL10 처리구의 생체중이 평균 76.19g으로 FL4 + M2 처리구의 70.34g보다 다소 많았으나, 두 처리구간에 유의차는 없었다. 상추 품종간에는 23°C 조건과 유사하게 모든 광원처리구에서 ‘칭치마상추’의 지상부 생체중이 가장 많아 양호하였으며, ‘적측면상추’, ‘롤로로사’ 순으로 작아지는 경향이였다.

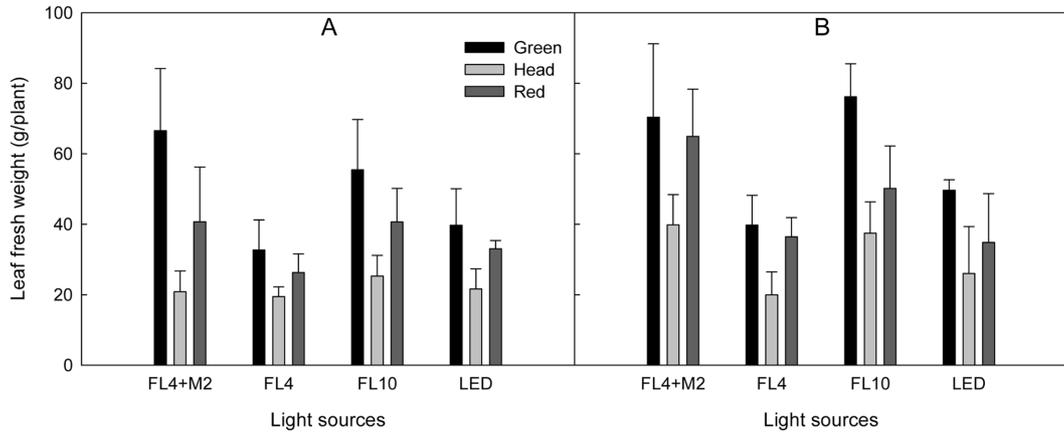


Fig. 5. Leaf fresh weight of lettuce grown in the container-type plant factory as affected by different light sources and growing temperature. A: 23°C, B: 20°C. Green: Cheongchima, Head: Lollo rosa, Red: Jeokchukmyeon. Vertical bars represent mean \pm SD.

23°C와 20°C의 설정온도 조건에 따른 생육차이를 비교한 결과, 전체적으로 20°C 조건에서 생체중이 더 많은 결과를 보였다. ‘칭치마상추’는 FL10 처리구에서 생체중이 평균 20.76g 증가하였으며, ‘적측면상추’와 ‘롤로로사’는 FL4 + M2 처리구에서 각각 18.98g, 24.23g 증가하여 상추의 식물공장 내 재배에는 20°C 조건이 적합하다고 판단되었다. 단, 광강도가 높은 FL10 처리구와 FL4 + M2 처리구에서는 모든 품종들의 생체중 변화가 많은 반면, 광강도가 낮은 LED와 FL4 처리구에서는 생체중의 변화가 많지 않은 결과를 보아 여러 가지 광원의 종류나 광강도 차이는 식물공

장의 온도환경에 따라 그 효과에 차이가 있을 것으로 판단된다.

Choi와 Lee(2003)는 식물공장에서 상추 재배시 주 야간온도 조건이 각각 30/25°C와 20/15°C일 때 잎상추는 생육온도가 높을수록 생체중이 많았으나, 반결구상추는 온도에 따른 차이가 없다고 보고하여 품종과 온도환경에 따라 생육에 차이가 있음을 알 수 있었다.

식물공장 내부 설정온도와 광원종류(광강도)에 따른 상추 3품종의 엽면적을 비교하였다(Fig. 6). 23°C 조건에서는 FL4 + M2 처리구에서 ‘칭치마상추’ 품종의 엽면적이 1,568cm²로 다른 처리구보다 많았다. 상추

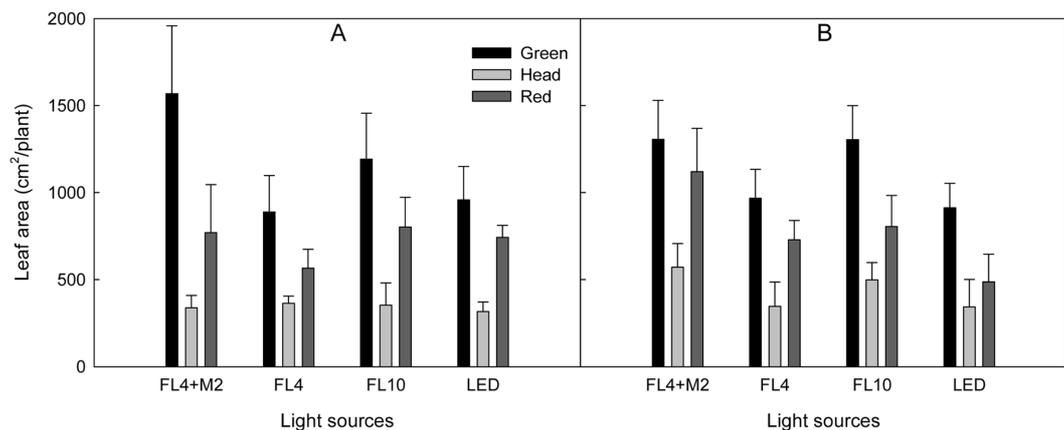


Fig. 6. Leaf area of lettuce grown in the container-type plant factory as affected by different light sources and growing temperature. A: 23°C, B: 20°C. Green: Cheongchima, Head: Lollo rosa, Red: Jeokchukmyeon. Vertical bars represent mean \pm SD.

컨테이너 식물공장의 개발과 이를 활용한 광원별 엽채류의 성장특성

품종간에는 ‘칭치마상추’가 모든 광원에서 다른 품종보다 엽면적이 많아 생육이 양호하였으며, ‘롤로로사’는 모든 광원처리구에서 다른 품종보다 생육이 저조한 결과를 나타내어 생체중의 결과와 동일한 경향이였다. ‘적축면상추’와 ‘칭치마상추’는 광원종류에 따라 유의차가 있었으며, FL4 + M2, FL10, LED, FL4 순서로 생체중이 감소하였다. 20°C 조건에서는 역시 ‘칭치마상추’의 엽면적이 다른 품종들보다 컸으나, 광원종류에 따른 차이를 볼 때 FL10 처리구와 FL4 + M2 처리구간에 유의차가 없었다. 상추 품종간에는 23°C 조건과 유사하게 모든 광원처리구에서 ‘칭치마상추’의 엽면적

이 가장 많았으며, ‘적축면상추’, ‘롤로로사’ 순으로 작아지는 경향이였다.

23°C와 20°C의 설정온도 조건에 따른 생육차이를 비교한 결과, FL4 + M2 처리구의 ‘칭치마상추’를 제외하고, 전체적으로 20°C 조건에서 엽면적이 더 많아 생체중의 결과와 유사한 경향을 보여 상추의 식물공장 내 재배에는 20°C 온도조건이 적합하다고 판단되었다.

식물공장 내 온도를 23°C로 설정하여 4주간 재배하면서 광원종류와 상추 품종간의 엽록소 함량 변화를 비교하였다(Fig. 7). 엽록소 함량은 ‘칭치마상추’에서 광원종류에 따른 차이는 없었으나, ‘적축면상추’와 ‘롤

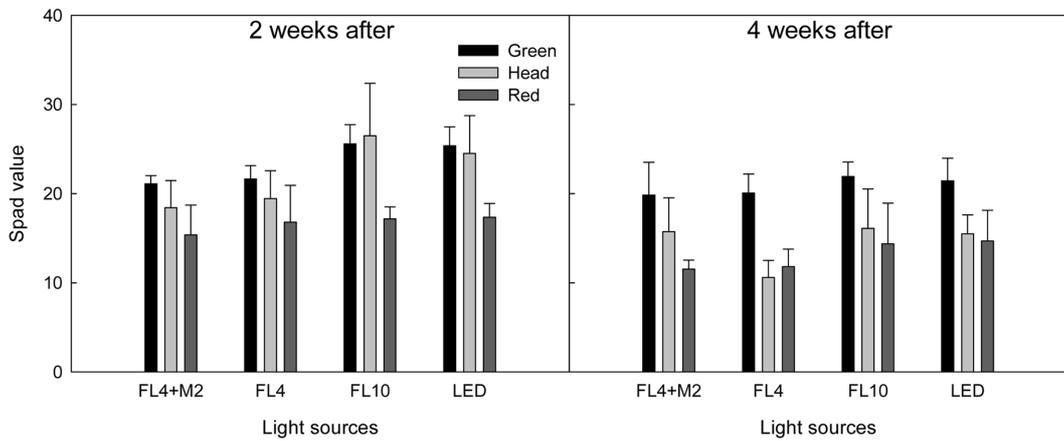


Fig. 7. SPAD value of lettuce grown in the container-type plant factory as affected by different light sources. Green: Cheongchima, Head: Lollo rosa, Red: Jeokchukmyeon. Growing temperature was set as 23°C. Vertical bars represent mean ± SD.

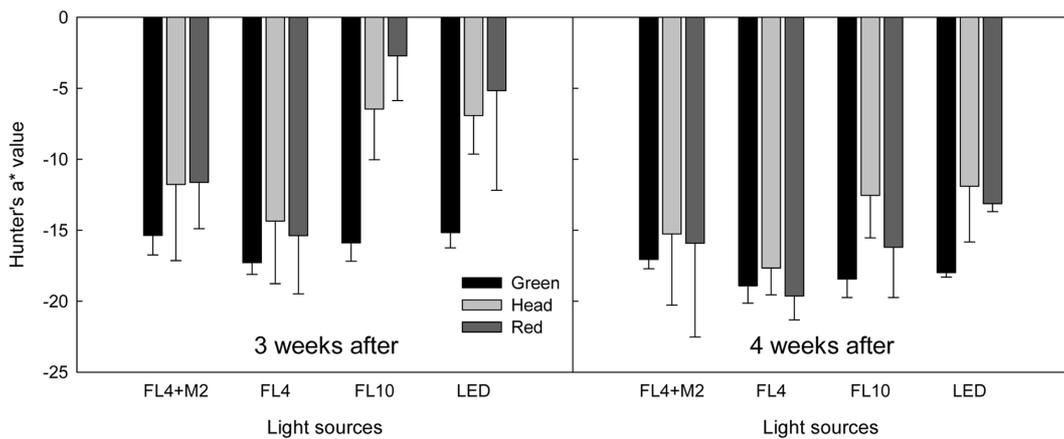


Fig. 8. Hunter's a* value of lettuce grown in the container-type plant factory as affected by different light sources. Green: Cheongchima, Head: Lollo rosa, Red: Jeokchukmyeon. Growing temperature was set as 20°C. Vertical bars represent mean ± SD.

Table 1. Changes in mineral contents of nutrient solution in the container-type plant factory as affected by different light sources (grown at 23°C).

Light sources	pH	EC (dS · m ⁻¹)	K (mg · L ⁻¹)	Ca (mg · L ⁻¹)	Mg (mg · L ⁻¹)	P (mg · L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg · L ⁻¹)	NO ₃ -N (mg · L ⁻¹)
<i>Initial</i>								
FL4 + M2	6.69	1.27	82.46	112.14	9.86	30.81	9.31	123.69
FL4	6.21	1.31	92.30	127.46	13.06	31.95	4.41	128.10
FL10	6.40	1.29	87.54	122.62	11.98	27.81	3.85	129.22
LED	5.96	1.37	91.46	119.40	12.74	29.65	2.17	130.83
<i>2 weeks after transplanting</i>								
FL4 + M2	6.66	1.78	119.78	182.32	15.92	28.13	0.00	177.38
FL4	6.78	1.64	123.86	196.84	21.38	31.37	0.00	165.34
FL10	7.04	1.80	118.42	209.74	22.82	20.29	0.00	183.96
LED	7.00	1.56	120.80	267.84	42.66	21.94	0.00	150.57
<i>3 weeks after transplanting</i>								
FL4 + M2	7.01	1.76	103.84	188.78	17.12	20.02	0.00	172.41
FL4	7.02	1.60	112.50	187.16	22.20	26.06	0.00	159.88
FL10	7.28	1.64	83.82	214.6	23.66	13.07	0.00	163.66
LED	7.11	1.46	88.90	161.34	19.48	17.29	0.00	140.70
<i>4 weeks after transplanting</i>								
FL4 + M2	7.37	1.70	79.74	185.54	16.92	16.46	0.56	162.61
FL4	7.39	1.69	97.40	198.46	20.10	16.31	0.00	163.66
FL10	7.68	1.50	54.30	229.92	23.66	13.76	0.00	138.53
LED	7.68	1.41	67.86	175.86	19.88	12.73	0.00	137.97

로로사'는 광강도가 상대적으로 낮은 LED 처리구가 FL10 처리구와 FL4 + M2 처리구보다 높거나 유사하게 나타나 광강도가 비슷한 수준인 FL4 처리구와 차이가 있었다. 전체적으로 '청치마상추'가 품종 특성에 맞게 다른 상추보다 높은 값을 나타내었다. 다른 상추 품종의 경우 적색발현이 많은 품종 특성이 있어 엽록소 함량에서 낮은 값을 나타낸 것으로 판단된다.

식물공장 내 온도를 20°C로 설정하여 4주간 재배하면서 광원종류와 상추 품종간의 색도색차의 변화를 비교하였다(Fig. 8). 재배 3주 후 광원종류(광강도)에 따른 상추 3품종의 색도색차를 이용한 Hunter's a 값은 '청치마상추'에서는 광원종류에 따른 차이가 없었으나, '적측면상추'와 '롤로로사'는 FL10 처리구와 LED 처리구에서 높게 나타났다.

재배 4주 후 결과를 보면 '청치마상추'에서 광원종류에 따른 차이는 없었으나, '적측면상추'와 '롤로로사'는 LED 처리구가 가장 높은 값을 보여 상추의 적색 발현에는 적색과 청색파장이 혼합된 LED 처리구가 보다 유리한 것으로 판단되며, 광강도가 높은 처리구는 경향이 일정하지 않아 광강도 차이는 적색발현에 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다. 재배 3주 후 결

과에서는 광원별로 품종간 차이가 있었으나, 재배 4주 후에는 오히려 차이가 줄어드는 경향이였다.

재배 직전과 재배 후 2, 3, 4주째 광원의 종류에 따른 양액 내 무기성분의 함량변화를 비교하였다(Table 1). 모든 처리에서 pH는 증가하는 경향을 나타내었으며, EC는 2주째에는 증가하였으나, 3주와 4주째에는 미세하게 낮아지는 변화를 보였다. 암모늄태 질소는 초기부터 그 함량이 매우 낮아 재배 후에는 함량변화가 없었으며, 질산태 질소는 2주째에는 다소 증가하였으나, 그 이후는 함량이 감소하는 경향이였다. 광원종류별로는 FL10 처리구에서 함량변화가 많았다. P 함량은 재배 후부터 계속하여 감소하는 경향을 나타내었다. K는 질산태 질소와 유사하게 변화하였으며, 생육이 억제되는 경향을 보인 FL4 처리구에서는 함량의 감소량이 다른 처리구보다 작았다. Ca과 Mg은 2주째에 다소 증가한 후 그 이후에는 뚜렷한 증감의 변화가 나타나지 않았다. 질산태 질소와 K 함량의 변화양상은 EC의 변화와 유사한 결과를 보였는데, 이는 2주에서 4주간의 광원처리별 생체중 증가량의 결과와 비교했을 때 질소와 칼륨 성분의 흡수가 광원처리별 상추의 생체중 증가량의 차이에 영향을 끼친 것으로 판단된다. Cho

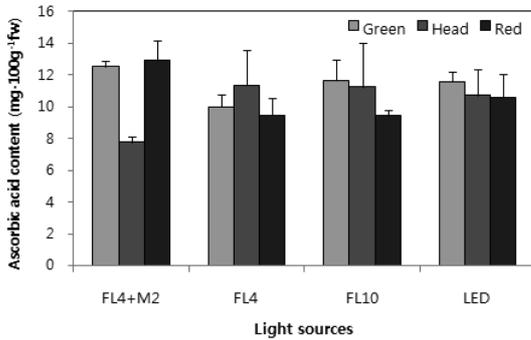


Fig. 9. Ascorbic acid content of different lettuce cultivars grown for 4 weeks after transplanting in the plant factory as affected by different light sources. Green: Cheongchima, Head: Rolorosa, Red: Jeokchukmyeon. Growing temperature was set as 20°C. Vertical bars represent mean ± SD.

등(1998)은 식물공장에서 상추 재배시 배양액내 다량 원소의 변화를 조사한 결과, 칼슘과 마그네슘은 축적되는 경향을 보였으며, 칼륨은 계속해서 감소되는 경향을 보였다고 보고하여 본 실험의 결과와 유사하였다.

품종과 광원을 달리하여 20°C 온도조건에서 4주간 재배된 상추의 비타민C 함량을 분석한 결과(Fig. 9), 청색계통의 ‘청치마상추’는 광강도가 높을수록 함량이 높게 나타났으며, 적색계통의 ‘적측면상추’ 역시 광강도가 가장 높은 FL4 + M2 처리구에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 반면 결구상추인 ‘롤로로사’는 FL4 + M2 처리구에서 가장 낮은 함량을 나타내었으며, 다른 광원처리구간에는 유의차가 없는 것으로 나타났다.

이상의 결과에서 인공광원을 이용한 수경재배 식물공장에서 상추 재배시 20°C 온도조건에서 인공광원의 광강도가 높을수록 식물체 생육이 양호하였으나, 상추의 품종특성에 따라 생육정도에 차이가 있어 식물공장 재배에 적합한 품종선택이 필요하다고 판단하였으며, 향후 온도, 습도, 양액공급 방법 등 보다 다양한 재배 조건에 대한 연구 필요성을 확인하였다.

적 요

남극 등 불량환경 하에서 에너지를 절감하면서 신선 채소를 생산할 수 있는 컨테이너 식물공장을 설계하여 개발하였다. 20피트 컨테이너(L5.9m × W2.4m × H2.4m)에 공간 활용을 최대화하기 위해 3단 수경재배시스템

을 설치하였고, 양액공급은 저면급수 방식으로 하였다. 수경재배에서의 광원종류(광강도)에 따른 3가지 상추 품종의 생육을 비교하였다. 정식 2주 후 광원종류(광강도)에 따른 상추 3품종의 생육결과는 형광등 145μmol·m⁻²·s⁻¹ 처리구에서 지상부 생체중과 엽면적이 양호하였으나, 정식 4주 후에는 형광등 + 메탈할라이드등 150μmol·m⁻²·s⁻¹에서 다른 광원시험구보다 생육이 양호하였다. 상추 품종간에는 ‘청치마상추’의 생체중이나 엽면적이 가장 많았으며, ‘적측면상추’, ‘롤로로사’ 순이었다. 엽록소 농도(SPAD)는 광원종류간에 큰 차이가 없었으며 ‘청치마상추’가 품종 특성에 맞게 다른 상추보다 높은 값을 나타내었다. 이상의 결과에서 인공광원을 이용한 식물공장에서 상추 재배시 광의 강도에 따라서 식물체 생육이 차이가 있었고, 상추의 품종에 따라 생육정도에 차이가 있었으며 이는 저광도의 식물공장 내에서 알맞은 품종을 선택하여야 할 것으로 판단되었다.

주제어 : 상추, 순환식 수경재배, 식물공장, 인공광원

인 용 문 헌

1. Chang, Y.S., H.G. Song, and D.E. Kim. 2005. Development of a chain conveyor type row-spacing system for plant factory. *J. Bio-Env. Con.* 14(1):7-14.
2. Cho, Y.R., D.W. Hahn, and Y.B. Lee. 1998. Effect of artificial light sources on the growth of crisphead lettuce in plant factory. *J. Bio-Env. Con.* 7(1):35-42.
3. Choi, K.Y. and Y.B. Lee. 2001. Effect of electrical conductivity of nutrient solution on tipburn incidence of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a plant factory using an artificial source. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:53-56.
4. Choi, K.Y. and Y.B. Lee. 2003. Effect of air temperature on tipburn incidence of butterhead and leaf lettuce in a plant factory. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44(6): 805-808.
5. Kim, D.E., Y.S. Chang, J.G. Kim, H.H. Kim, D.H. Lee, and J.T. Chang. 2006. Environmental control of plant production factory using programmable logic controller and computer. *J. Bio-Env. Con.* 15(1):1-7.
6. Kim, J.H. and S.D. Jang. 2009. Industrialization condition and possibility of plant factory. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy.* 36:918-948.
7. Lee, H.J., Y.B. Lee, and J.H. Bae. 2004. Effect of root zone temperature on the growth and quality of single-stemmed rose in cutted rose production factory. *J. Bio-Env. Con.* 13(4):266-270.

8. Masamoto, T. 2010. Present status of completely-controlled plant factories. J. SHITA 22(1):2-7.
9. Matsumoto, K., Y. Tada, H. Shimizu, and S. Shibusawa. 2009. Effect of water supply levels on growth and antioxidative activity of *Raphanus sativus* L. 'Kai-waredaikon (Japanese radish sprout)'. J. SHITA 21(2): 79-85.
10. Matsumoto, T., H. Itoh, Y. Shirai, N. Shiraishi, and Y. Uno. 2010. Effects of light quality on growth and nitrate concentration in lettuce. J. SHITA 22(3):140-147.
11. Nishimura, T., S.M.A. Zobayed, T. Kozai, and E. Goto. 2006. Effect of light quality of blue and red fluorescent lamps on growth of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.). J. SHITA 18(3):225-229.
12. Nozue, H., A. Shimada, Y. Taniguchi, and M. Nozue. 2010. Improving the productivity of plants using an LED light equipped with a control module. J. SHITA 22(2):81-87.
13. Park, M.H. and Y.B. Lee. 1999a. Effects of CO₂ concentration, light intensity and nutrient level on the growth of leaf lettuce in a plant factory. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40(4):431-435.
14. Park, M.H. and Y.B. Lee. 1999b. Effects of light intensity and nutrient level on growth and quality of leaf lettuce in a plant factory. J. Bio-Env. Con. 8(2):108-114.
15. Son, J.E., J.S. Park, and H.Y. Park. 1999. Analysis of carbon dioxide changes in urban-type plant factory system. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:205-208.
16. Technical Information Institute Co. LTD. 2009. A plant factory business strategy and the latest cultivation technology. TIIC, Tokyo, Japan.