

완전제어형 식물공장에서 광원, 광질에 따른 엽채류 6종의 생육반응

김상범 · 이경미 · 김해란¹ · 유영한*

국립공주대학교 생물학과, ¹국립산림과학원 아열대연구소

Effects of Light Sources, Light Quality on the Growth Response of Leafy Vegetables in Closed-type Plant Factory System. Kim, Sang Bum, Kyung Mi Lee, Hae Ran Kim¹ and Young Han You* (Department of Life Science, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea; ¹Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, KFRI)

Abstract This study was conducted to evaluate the growth response of economical six leafy vegetables that are crown daisy, pak-choi and four kinds of lettuce (Red leaf lettuce, Green leaf lettuce, Head lettuce, Romaine lettuce) by light treatment of LED in plant factory. The light treatments were composed of red, blue, red+far-red, red+blue, red+blue+white LEDs, irradiation time ratio of the red and blue LED per minute (1 : 1, 2 : 1, 5 : 1, 10 : 1), and duty ratio of mixed light (100%, 99%, 97%). The following results were obtained in different LED light sources treatments: Shoot biomass and S/R ratio of romaine lettuce were the highest under mixed red+blue LEDs. S/R ratio of head lettuce was higher under mixed red+blue+white LEDs than red+blue LEDs. The others showed no difference in LED light treatment. Shoot biomass, total biomass and S/R ratio of green lettuce, head lettuce and pak-choi were highest in the higher red ratio (5 : 1) on irradiation time of red : blue LED ratios. By the different duty ratio (red+blue and red+blue+white LEDs), Under the mixed light of red+blue, shoot and root biomass of crown daisy and romaine lettuce were high in duty ratio of 100% and 99%, and S/R ratio was highest in all the 6 kinds in duty ratio of 97%. All the 6 kinds showed a fine growth state in low duty ratio (97%). Green lettuce, romaine lettuce and pak-choi showed relatively high shoot biomass and total biomass in low duty ratio of 97% under the mixed light of red+blue+white. S/R ratio of romaine lettuce and head lettuce were highest in the duty ratio of 97% with red+blue+white LEDs. Thus, we can cultivate stably without reference to external factors, if we use appropriate light sources and light quality in closed-type plant factory.

Key words : closed-type plant factory, duty ratio, shoot biomass, S/R ratio, total biomass

서 언

최근 잦은 이상기후로 인해 국지성 집중호우 및 가뭄,

폭설 등과 같은 여러 가지 기상이변이 발생하고, 이에 따라서 인간의 식량생산에 대한 피해가 점점 심각해지고 있는 실정이다. 이러한 변화로 인해 외부 환경요인에 관계없이 작물을 생산할 수 있는 식물공장이 최근 큰 관심을 받고, 연구되고 있는 추세이다 (Kim *et al.*, 2011).

식물공장은 시설내의 작물을 고도의 환경제어 및 작업의 자동화를 통하여 공장생산과 동일하게 작물을 계

Manuscript received 20 January 2014, revised 9 March 2014, revision accepted 18 March 2014
* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8508, Fax: +82-41-850-0957, E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

획 생산할 수 있는 시스템으로, 작물의 연속생산, 작물의 고속생산, 작물의 대량생산, 작물의 계획생산 등의 특징을 가지고 있다 (Son, 1997). 식물공장은 컴퓨터로 통합된 시스템으로서 (Hashimoto, 1991), 채소나 묘를 중심으로 시설 내에서 광, 온·습도, CO₂ 농도 그리고 배양액 등의 환경요인을 컴퓨터를 통해 인위적으로 제어하는 시설이다.

그 중 완전제어형은 외부와 완전히 단절된 형태로서 인공광원 하에서 수경재배를 하는 형태이며, 병해충 발생이 적어 농약 사용이 적고, 자동화 생산을 목적으로 하는 형태이다 (Lee, 2010). 특히, 이러한 식물공장은 고품질의 농작물을 생산하기 위해 경제성 및 생산성을 확보 할 수 있는 적절한 재배 시스템이 필요하다.

LED는 식물공장에서 식물 재배 시 필요한 여러 가지 장점을 가지고 있다. 첫째, 자연광의 경우에는 다양한 광원을 포함하고 있지만, LED 광원은 단색광이므로 식물을 재배 할 때 필요한 파장을 선택하여 식물을 재배 할 수 있다. 둘째, 메탈할라이드, 고압나트륨 등과 같은 고압 방전등에 비해 LED는 발열이 적어 재배기간 동안 식물의 열 피해가 적다 (Lee, 2010). 셋째, LED에는 수은을 사용하지 않아 환경 친화적이고, 긴 수명 (10,000 ~ 50,000시간)으로 유지비용을 낮출 수 있으며 전력절감효율이 높다 (Hwang *et al.*, 2004; Yoon, 2012).

식물공장의 재배 환경 중 광원을 이용한 연구는 컨테이너 식물공장의 개발과 이를 이용한 광원별 엽채류 생장특성 (Um *et al.*, 2010), 인공광원의 종류가 반결구상추의 생육 및 품질에 미치는 영향 (Lee, 2013) 등 식물공장에 관한 연구가 진행 되고 있다.

식물의 생육 및 생리적 반응은 적색광과 청색광의 조사기간에 따라 다르게 나타난다. 적색광과 청색광의 혼합광(R57 : B43)하에서 생육한 적상추가 적색 단일광하에서 생육한 적상추보다 생육은 억제된 반면, 안토시아닌 함량은 크게 증가되었다 (Lee *et al.*, 2010). 이처럼 LED 광원을 이용하여 작물에 따라 적색광과 청색광을 적절히 혼합하여 사용하여 재배하는 것이 중요하다 (Park *et al.*, 2011).

Duty 비란 주기를 가지는 펄스(Pulse)에서 쓰이는 용어이다. 일반적으로 duty 비라고 하면 on duty ratio를 가리키는 경우가 대부분인데, 이는 한 주기에 대해서 펄스가 on 상태인 시간의 비율을 뜻한다. 따라서 duty 비를 낮추게 되면 off 상태가 길어지므로 전력 소비량을 감소시킬 수 있다.

우리나라의 식물공장 연구를 보면 광원에 따른 조사는 많이 이루어져 있지만 조사기간 비율과 duty 비에

관한 연구는 아직 많이 진행되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 채소작물인 엽채류 6종을 대상으로 LED 광원 (적색+청색 혼합광, 적색+청색+백색 혼합광, 적색+적외선 혼합광, 적색, 청색), 적색광과 청색광의 조사기간 비율 그리고 duty 비에 따른 생육반응을 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상 작물

최근 웰빙에 관심이 많아 지면서 엽채류에 대한 관심도 증가하고 있다. 이러한 엽채류 중에서 만추대 열풍적 치마상추 (red leaf lettuce, *Lactuca sativa* var. *crispa* cv. jeokchima), 만추대 청치마상추 (green leaf lettuce, *Lactuca sativa* var. *crispa* cv. cheongchima), 그린 로메인상추 (romaine lettuce, *Lactuca sativa* var. *Longifolia*), 그린 골 양상추 (Head lettuce, *Lactuca sativa* var. *capitata*), 개량사또 쑥갓 (Crown daisy, *Chrysanthemum coronarium* L. var. *spatiosum*), 영진 청경채 (Pak-choi, *Brassica Campestris* var. *Chinensis*)를 대상으로 식물공장에서 연구하였다.

2. 재배 및 관리

엽채류 6종의 종자를 2011년 7월에 육묘용 플러그 트레이 (32구)에 원예용 상토를 충전하여 한 구에 3개씩 파종하였다. 11일 후에 동일한 플러그 트레이 (32구)의 한 구에 한 개씩 정식하여 총 9개의 광조건에서 1개월 동안 재배하였다. 트레이는 광조건 당 2개씩 배치하였으며, 엽채류 6종은 모두 각각 15개씩씩 실험하였다.

식물공장은 582 (W) × 334 (L) × 260 cm (H)인 컨테이너 안에 360 (W) × 60 (L) × 230 cm (H) 크기의 식물공장을 양쪽 벽면에 설치하였다. 식물공장은 천정 높이에 맞게 3층 구조로 되어있고, 2층과 3층에 재배상을 설치하였다. 재배상의 넓이는 120 (W) × 52 (L) cm이고, 개수는 한쪽에 각각 6개씩하여 총 12개로 이루어져 있다. 식물공장의 내부 공기 및 내부에서 외부로의 공기순환을 시키기 위해 식물공장의 양쪽 끝에 환풍기를 설치하였다. 또한 내부 온도와 습도를 조절하기 위해서 냉·온풍기 (SS-2000, Zero engineering, Korea)와 가습기 (Fox-1H, Parus Co, Cheonan-si, Korea)를 설치하였고 이를 이용하여 평균 24~25°C, 75~85%로 유지하였다. 그리고 식물공장의 온도, 습도, 광조건은 LCSEMS (PARUS Co.,

Cheonan-si, Korea)을 이용하여 실험기간 내에 24시간 동안 10분 간격으로 측정하였다. 수분은 2~3일 간격으로 공급하였으며, 질소비료는 50 g을 500배 희석하여 일 주일에 1회 공급하였다.

광량은 Quantum sensor (LI-190, Li-Cor, Lincoln, USA)를 이용하여 광량을 식물체 간 거리인 30 cm에서 측정 하여 모든 처리구에서 평균 $110 \pm 15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 맞췄다.

3. 광원의 종류

광원의 종류는 Parus (Cafe Farm System)의 LED시스템을 이용하여 적색+청색 혼합광, 적색+청색+백색 혼합광, 적색+적외선 혼합광, 적색, 청색으로 구성하였다.

각 광원의 종류를 구성하는 LED Light Panel의 크기는 모두 1200 (W) × 520 mm (L) 크기에 LED조명이 4줄로 나열되어 있으며, LED조명 한 줄 안에 18개의 LED 소자로 이루어져 있다. 혼합광의 소자 비율은 적색+청색+백색 혼합광이 적: (청+백)=11: (4+3), 적색+청색 혼합광이 적: 청=11: 7이다. LED소자의 규격은 1 cm로 모두 동일하고 소비 전력은 200 Watt이다. 각 광원별 최적 스펙트럼은 적색광이 630~660 nm, 청색광이 440 nm, 백색광이 450~540 nm 그리고 적외선이 730 nm에서 최대 피크를 보였다.

4. 청색광과 적색광의 조사시간 비율 (R:B)과 duty 비

본 연구에서 식물공장 광 처리조건은 Table 1과 같다. 본 연구에서는 식물의 광형태형성반응(Photomorphogenesis response)에 중요한 적색광과 청색광의 조사시간 비율은 60초 동안에 적색광이 켜져있는 시간: 청색광이 켜져 있는 시간을 1:1 (R60: B60), 2:1 (R60: B30), 5:1 (R60: B12), 10:1 (R60: B6)로 정하여 생육반응을 알아 보았다.

Duty 비 (Duty ratio)는 주기를 가지는 펄스(Pulse)에서 쓰이는 용어로 전류가 흐르는 전체 시간에 대한 전류가 흐른 시간의 비를 말한다. 즉, 한 주기 동안 펄스가 On 상태인 시간의 비율을 말하는 것이다 (Jao and Fang, 2004). 예를 들어 duty 비가 100%일 때 전기사용료가 10만원이 나왔다면, duty 비가 90%일 때 전기사용료는 9만원이 나오게 된다. 따라서 식물공장에서 duty ratio에 따라서 경제적인 생산을 할 수 있다. 이러한 이론을 바탕으로 하여, 본 연구에서는 duty 비를 97, 99, 100%로 정하여 적색+청색 혼합광과 적색+청색+백색 혼합광에서 처리하였다.

Table 1. Twelve light treatments with LED source, the irradiation time of ratio supplying red (R), blue (B), white (W), far-red (fR) LED.

Gradients	LED source (ratio)	Duty ratio (%)
T1	R(1)+B(1)	100
T2	R(1)+B(1)	99
T3	R(1)+B(1)	97
T4	R(1): B(2)	100
T5	R(5)+B(1)	100
T6	R(10)+B(1)	100
T7	R(1)+B(1)+W(1)	100
T8	R(1)+B(1)+W(1)	99
T9	R(1)+B(1)+W(1)	97
T10	B(-)	100
T11	R(-)	100
T12	R(1)+fR(1)	100

5. 생육 반응 측정

엽채류 6종 모두 2011년 8월에 수확하여 각 개체를 흐르는 물에 씻었다. 이후 지상부와 지하부로 나눠 65 °C에 48시간 건조시킨 후 각각 건중량을 측정하였고, 이를 통해 S/R ratio (Shoot/Root ratio)와 한 개체의 총 건중량을 계산하였다.

6. 통계분석

처리구별 차이의 유의성은 Statistica 8 통계패키지 (Statsoft Co. 2008)를 이용하여 포스트-훅 검정법으로 피셔 최소 유의차 범의를 계산하였다 (Noh and Jeong, 2002).

결과 및 고찰

1. 광원의 종류에 따른 생육반응

식용으로써 엽채류의 가장 중요한 지상부 건중량은 로메인상추가 적색+청색+백색 혼합광 (R+B+W)보다 적색+청색 혼합광 (R+B) 조건에서 높았고, 나머지 종에서는 처리구 간 차이가 없었다 (Fig. 1a).

지하부 건중량은 양상추가 적색+청색+백색 혼합광에서 높았고, 다른 종의 지하부 건중량에서는 통계적으로 차이가 없었다 (Fig. 1b).

총 건중량은 엽채류 6종 모두 광원 종류에 따라서 통계적으로 차이가 없었다 (Fig. 1c). 그리고 지상부와 지하부의 상대적인 건중량을 비교한 값인 S/R 비는 로메인상추가 적색+청색 혼합광, 쑥갓이 적색+청색+백색

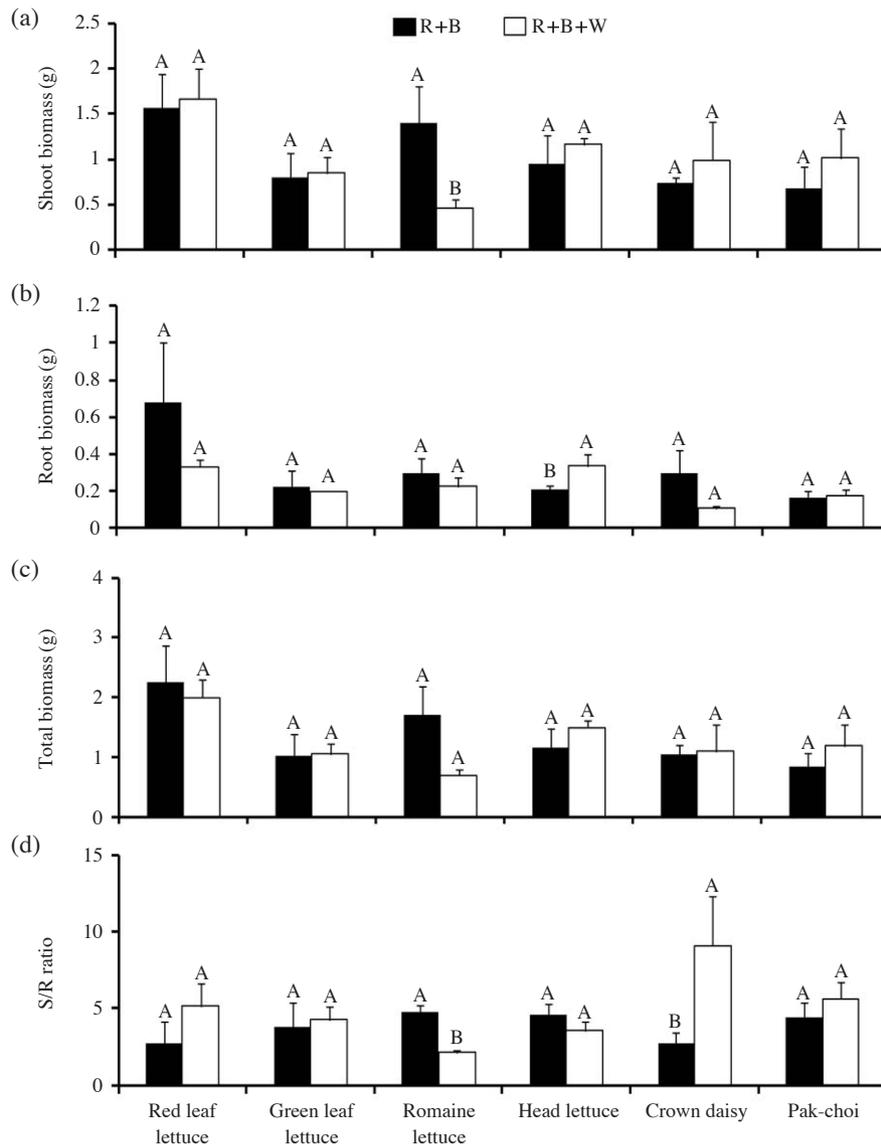


Fig. 1. Shoot biomass (a), root biomass (b), total biomass (c) and S/R ratio (d) of six species of red led lettuce, green leaf lettuce, romaine lettuce, head lettuce, crown daisy, pak-choi under the different LED light quality treatments. The different letters on the bars refer to significantly differences between lighting treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

혼합광에서 높았고, 나머지 종에서는 처리구 간 차이가 없었다(Fig. 1d).

S/R 비의 의미는 지상부와 지하부 생장의 무게 비율로, 지하부 내 수분이 많거나 광 부족 등의 경우에는 지하부 생육이 나빠져 값이 커지게 되며, 지상부와 지하부의 생육이 균형 있게 발달함으로써 S/R 비가 적정 값을 유지하게 된다(Lee, 2011).

본 결과에 따르면 로메인상추는 적색+청색 혼합광, 썩갠 적색+청색+백색 혼합광에서 지상부와 지하부 생육이 균형 있게 발달한 것으로 보인다.

엽채류는 적색+청색 혼합광에서 생육이 촉진된다고 이미 많은 연구에서 보고되었다. Shin *et al.* (2012)의 연구에서는 ‘롤라로사’ 상추의 생육이 적색+청색 혼합광에서 생육이 우수하였고 무기물 흡수가 많았다고 보고되었다. 하지만 Lee (2010)의 연구에서는 홍화 적측면상추의 생육이 적색+청색 혼합광보다 단색의 적색광에서 높았다.

이러한 결과를 보았을 때, 식물공장에서 광원을 이용한 재배에는 각각의 작물이 어느 광에서 생육반응이 좋은지에 대한 연구가 필요할 것이다.

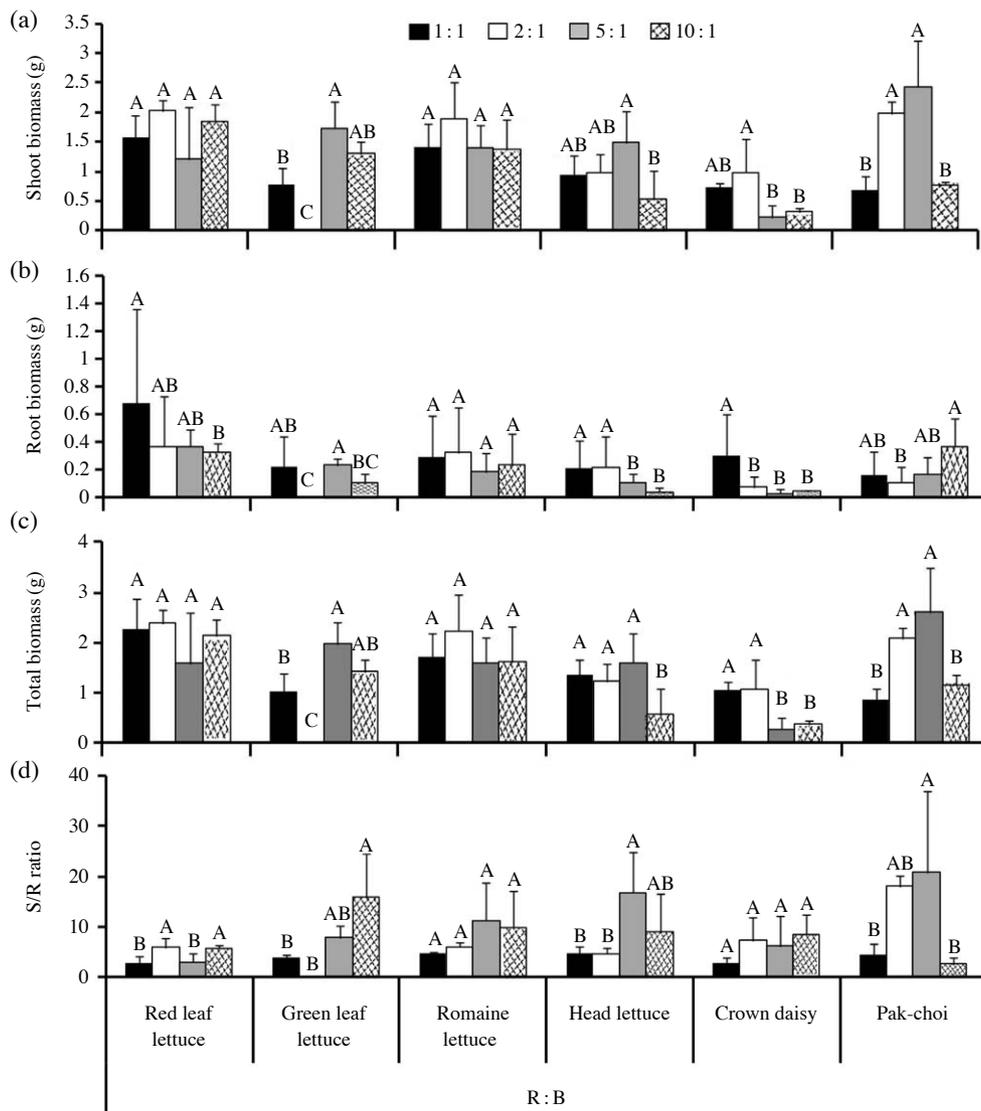


Fig. 2. Shoot biomass (a), root biomass (b), total biomass (c) and S/R ratio (d) of six species of red led lettuce, green leaf lettuce, romaine lettuce, head lettuce, crown daisy, pak-choi under the irradiation time ratio of red : blue LEDs. The different letters on the bars refer to significantly differences between light treatments (Fisher's least significant difference, P < 0.05).

2. 적색과 청색의 비율에 따른 생육반응

식용으로써 엽채류의 가장 중요한 지상부 건중량은 열풍적치마상추와 로메인상추에서 통계적으로 차이가 없었지만, 청치마상추와 양상추는 5:1, 쪽갓은 2:1, 청경채는 2:1과 5:1인 조건에서 가장 높았다(Fig. 2a).

지하부 건중량은 로메인상추가 통계적으로 차이가 없었지만, 열풍적치마상추는 1:1, 청치마상추는 5:1, 양상추는 2:1과 1:1 조건 그리고 청경채는 10:1 조건에서 가장 높았다(Fig. 2b).

총 건중량은 열풍적치마상추, 로메인상추에서 통계적

으로 차이가 없었지만, 청치마상추는 5:1, 양상추는 1:1, 2:1, 5:1 조건, 쪽갓은 1:1, 2:1 조건 그리고 청경채는 2:1과 5:1 조건에서 가장 높았다(Fig. 2c).

지상부와 지하부의 상대적인 건중량을 비교한 값인 S/R 비는 로메인상추와 쪽갓에서 통계적으로 차이가 없었지만, 열풍적치마상추는 2:1, 10:1인 조건, 청치마상추는 10:1 조건, 양상추는 5:1인 조건, 청경채는 5:1인 조건에서 가장 높았다(Fig. 2d).

실험에서 사용한 엽채류 6종은 열풍적치마상추와 로메인상추를 제외하고 청색광과 적색광의 비율이 같은 조건보다 비교적 적색광의 비율이 비교적 높은 조건에

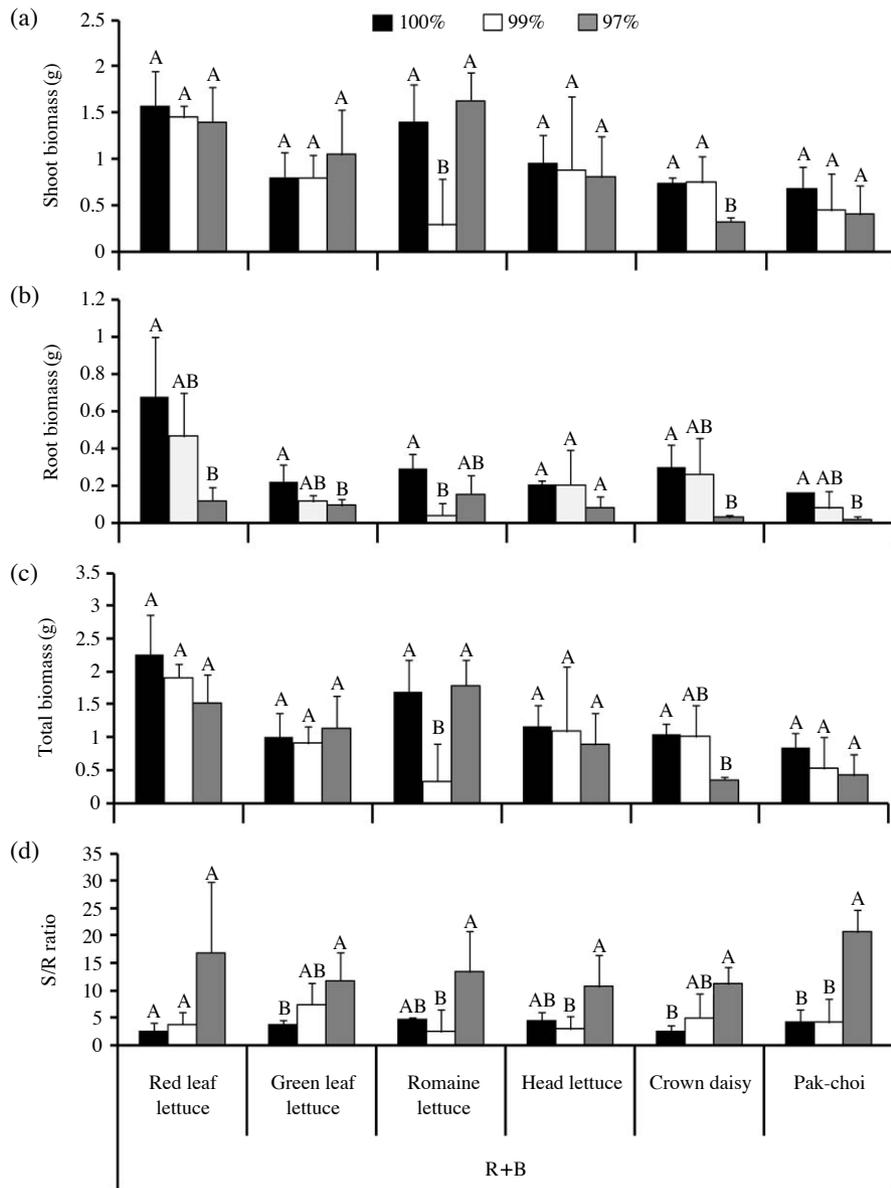


Fig. 3. Shoot (a), root biomass (b), total biomass (c) and S/R ratio (d) of six species of red led lettuce, green leaf lettuce, romaine lettuce, head lettuce, crown daisy, pak-choi under the different duty ratio with red+blue LEDs. The different letters on the bars refer to significantly differences between light treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

서 양호한 생육 반응을 보였다. 특히, 청치마상추는 적색의 비율이 높은 10:1 조건에서 S/R 비가 가장 높았다.

그리고 본 실험결과와 유사하게, Matsumoto *et al.* (2010)은 적색광의 조사시간/청색광의 조사시간 (R/B) 비율에 따른 상추의 지상부 건중량을 측정된 결과, 적색광의 비율이 높은 5, 10, 20인 조건에서 적색광의 비율이 낮은 광조건보다 지상부 건중량이 더 높게 나온 연구결과가 있었다. 반면, 혼합광에서 상추를 재배한 연구에서는 상추를 혼합광(적색+청색광, 적색+적외선광)에

서 재배한 결과, 청색광의 비율이 증가할수록 생체중이 증가하였으며, 백색광보다 양호한 결과를 보였다.

3. Duty 비에 따른 생육반응

적색+청색 혼합광 (R+B)에서 엽채류 6종의 duty 비에 따른 생육 반응에 대한 결과는 다음과 같다.

식용으로써 엽채류의 가장 중요한 지상부 건중량의 경우, 속갓은 duty 비가 100%와 99%인 조건에서 가장

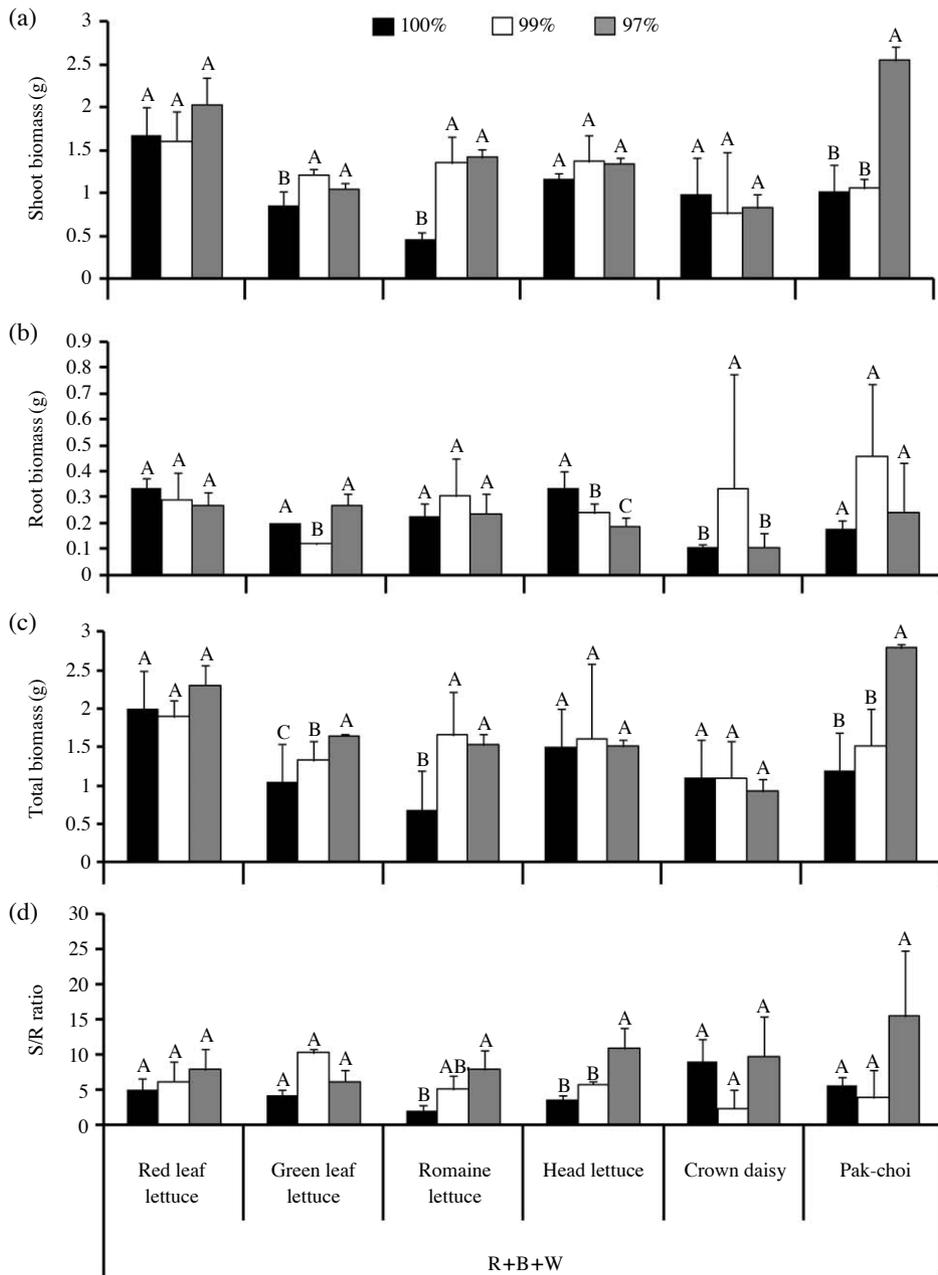


Fig. 4. Shoot (a), root biomass (b), total biomass (c) and S/R ratio (d) of six species of red leaf lettuce, green leaf lettuce, romaine lettuce, head lettuce, crown daisy, pak-choi under the duty ratio of mixed light with red+blue+white LEDs. The different letters on the bars refer to significant differences between light treatments (Fisher's least significant difference, $P < 0.05$).

높았고, 로메인 상추는 duty 비가 100%와 97%인 조건에서 가장 높았으며, 나머지 종에서는 차이가 없었다 (Fig. 3a). 지하부 건중량은 양상추를 제외한 5종에서 duty 비가 100%인 조건에서 높았다. 양상추는 모든 조건에서 통계적으로 차이가 없었다 (Fig. 3b). 총 건중량은 로메인상추는 duty 비가 100%와 97%인 조건에서 가장 높았고, 쪽갓에서 duty 비가 100%인 조건에서 가

장 높았다. 그리고 나머지 종에서는 통계적으로 차이가 없었다 (Fig. 3c). 지상부와 지하부의 상대적인 건중량을 비교한 값인 S/R 비는 열풍적치마상추가 통계적으로 차이가 없었으며, 이를 제외한 나머지 5종에서는 duty 비가 97%인 조건에서 가장 높았다 (Fig. 3d).

적색+청색+백색 혼합광 (R+B+W)에서 엽채류 6종의 duty 비에 따른 생육반응에 대한 결과는 다음과 같

다.

지상부 건중량의 경우, 청경채는 duty 비가 97%인 조건, 청치마상추와 그린골 로메인상추에서는 duty 비가 99, 97%인 조건에서 가장 높았고, 나머지 종에서는 통계적으로 차이가 없었다(Fig. 4a). 지하부 건중량은 썩갯이 duty 비가 99%, 그린골 양상추가 100%, 청치마상추가 100, 97%인 조건에서 가장 높았고, 나머지 종에서는 통계적으로 차이가 없었다(Fig. 4b). 총 건중량은 청치마상추와 청경채에서 duty 비가 97%인 조건에서 가장 높았고, 로메인상추는 duty 비가 99, 97%인 조건에서 가장 높았으며 나머지 종에서는 통계적으로 차이가 없었다(Fig. 4c). 지상부와 지하부의 상대적인 생장량을 비교한 값인 S/R 비는 로메인상추와 양상추에서 duty 비가 97%인 조건에서 가장 높았고, 나머지 종에서는 통계적으로 차이가 없었다(Fig. 4d).

적색+청색 혼합광에서 duty 비에 따른 엽채류 6종의 생육반응을 보았을 때, 엽채류에서 가장 중요한 지상부 생물량은 썩갯을 제외한 나머지 5종이 100%와 비교했을 때 97%에서도 양호한 생육을 보였다. S/R는 모든 엽채류 6종이 97%에서 더 높은 결과를 보였다.

그리고 적색+청색+백색 혼합광에서는 열풍적치마상추, 양상추와 썩갯은 통계적으로 차이가 없었으며, 청치마상추, 로메인상추와 청경채는 100%일 때보다 97%에서 더욱 양호한 생육을 보였다. S/R 비 또한 엽채류 6종 모두 97%에서 높은 결과를 보였다.

따라서 적색+청색 혼합광에서 썩갯을 제외한 나머지 5종과 적색+청색+백색 혼합광에서 모든 엽채류 6종은 duty 비를 100%로 하여 재배하는 것보다 97%로 하여 재배하는 것이 3%의 에너지를 절감하므로 경제적인 생산을 할 수 있을 것으로 보인다.

본 실험과 유사실험인 Y. Hashimoto *et al.* (1987)의 duty 비와 CO₂를 컨트롤하는 실험에서는 duty 비 100%와 50%에서 CO₂농도를 조절함에 따라 duty 비 50%의 CO₂ 순 호흡량을 duty 비 100%과 같은 수준으로 끌어 올리는 결과를 보였다. 이로 보았을 때 duty 비를 낮춰 재배를 하면 전기에너지를 절감하여 식물공장의 단점으로 꼽히는 과다 전력을 보완하는데 영향을 줄 것으로 예상된다.

적 요

식물공장은 외부 환경요인에 관계없이 효율적인 공간 활용을 통해 작물의 생산성 및 경제성을 극대화시켜 생

산할 수 있는 획기적인 기술이다. 본 연구는 엽채류 중 만추대 열풍적치마상추, 만추대 청치마상추, 그린 로메인상추, 그린골 양상추, 개량사또 썩갯과 영진 청경채를 대상으로 식물공장에서 실험하였다. LED 시스템을 이용하여 광원의 종류를 적색, 청색, 적색+청색, 적색+청색+백색, 적색+적외선 혼합광으로 구성하였다. 적색+청색 혼합광에서 적색과 청색의 조사기간 비율은 1:1, 2:1, 5:1, 10:1로 구성하였고, duty 비는 100%, 99%, 97%로 구성하였다. 광원의 종류에 따른 결과 로메인상추에서 지상부 건중량과 S/R 비는 R+B 혼합광에서 가장 높았고, 양상추의 지하부 건중량과 썩갯의 S/R 비는 R+B+W 혼합광에서 높았지만, 나머지 종에서는 차이가 없었다. 적색과 청색의 조사기간 비율에 따른 결과 청치마상추, 양상추와 청경채는 지상부 건중량, 총 건중량, S/R 비가 비교적 적색의 비율이 높은 조건(5:1)에서 가장 높았다. duty 비에 따른 결과 R+B 혼합광에서 썩갯은 100%와 99%, 로메인은 100%와 97%일 때 지상부와 지하부, 총 건중량이 높았다. S/R 비는 엽채류 6종 모두 duty 비가 낮은 97%에서 높게 나와 낮은 duty 비에서도 양호한 생육을 보였다. R+B+W 혼합광에서 청치마상추와 로메인상추 그리고 청경채는 duty 비는 낮은 97%에서도 비교적 높은 지상부 건중량 및 총 건중량을 보였다. 또한, 로메인 상추와 양상추의 S/R 비는 duty 비가 97%인 조건에서 가장 높았다. 따라서 LED 시스템을 이용한 식물공장에서 각 엽채류 별로 적절한 광원과 광질을 이용하면 외부 환경요인에 관계없이 안정적인 재배를 할 수 있을 것이다.

사 사

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구 결과입니다.

REFERENCES

- Hashimoto, Y. 1991. Computer integrated plant growth factory for agriculture and horticulture. Proc. Of IFAC/ISHS Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture. Pergamon Press, Oxford. pp. 105-110.
- Hashimoto, Y., F. Nyunoya and Y. Yi. 1987. System identification of CO₂ uptake in lettuce as effected by the pulsed light

- illumination. *Environment Control in Biology* **25**(4): 173-177.
- Hwang, M.K., C.S. Huh and Y.J. Seo. 2004. Optic Characteristics comparison and analysis of SMD type Y/G/W HB LED. *Journal of the Korean institute of Illuminating and Electrical installation Engineers* **18**(4): 15-21.
- 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.
- 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**: 37. (Abstr.)
- Lee, H.J. 2013. Effects of artificial light sources on the growth and quality of butterhead lettuce. Master Degree Diss. The University of Seoul, Seoul, Korea.
- Lee, J.G., S.S. Oh, S.H. Cha, Y.A. Jang, S.Y. Kim, Y.C. Um and S.R. Cheong. 2010. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin. *Journal of Bio-Environment Control* **19**(4): 351-359.
- Lee, S.M., J.H. Chang, T.G. Nam, D.O. Kim, H. Kang, S.W. Lee and S.H. Eom. 2011. Effects of light emitting diode to seedling growth and phytochemical properties in buckwheat. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **29**: 67.
- Lee, S.W. 2010. Optical science and technology. Plant cultivate used plant factory and LED artificial light. *Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services* **14**(3): 12-19.
- Matsumoto, T., H. Itoh, Y. Shirai, N. Shiraishi and Y. Uno. 2010. Effects of light quality on growth and nitrate concentration in lettuce. *Science and High Technology in Agriculture* **22**(3): 140-147.
- Noh, H.J. and H.Y. Jeong. 2002. Understanding of statistical analysis by STATISTICA. Hyungseul Press, Seoul.
- Park, J.S., J.T. Lim, S.W. Yoon and J.K. Hwangbo. 2011. Effects of red · blue LED light ratio on seedling growth of several horticultural plants. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **29**: 84. (Abstr.)
- Shin, Y.S., M.J. Lee, E.S. Lee, E.S. Lee, J.H. Ahn, J.H. Lim, S.D. Park, J.H. Chai and H.W. Park. 2012. Effect of light emitting diode on growth and mineral absorption of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **30**(S1): 205.
- Son, J.E. 1997. Development of the plant factory in Korea agricultural. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* **2**(1): 10-11.
- Um, Y.C., S.S. Oh, J.G. Lee, S.Y. Kim and Y.A. Jang. 2010. The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetable as affected by different light sources. *Journal of Bio-Environment Control* **19**(4): 333-342.
- Yoon, C.G. 2012. A study on the LED illumination lamp development and application for plant factory. Master's degree thesis. Hongik University, Seoul, Korea. pp. 45.