

완전제어형 식물공장시스템에서 LED 광질에 대한 잎상추의 생육

차미경¹ · 조주현² · 조영열^{3*}

¹제주대학교 식물자원환경전공, ²주식회사 휴림중앙연구소, ³제주대학교 원예환경전공 및 아열대농업생명과학연구소

Growth of Leaf Lettuce as Affected by Light Quality of LED in Closed-Type Plant Factory System

Mi-Kyung Cha¹, Ju-Hyun Cho², and Young-Yeol Cho^{3*}

¹Major in Plant Resources and Environment, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

²Hurum Central Research Institute, Ochang 363-880, Korea

³Major in Horticultural Science and Research Institute for Subtropical Agriculture and Animal Biotechnology, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Abstract. The objective of this study was to know the growth response and light use efficiency of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) ‘Yorum Cheongchukmyeon’ (green leaf lettuce) and ‘Hongyom Jeokchukmyeon’ (red leaf lettuce) under different RGB (Red:Green:Blue) ratio in a closed-type plant factory system. The plants were hydroponically cultured with a 12-h photoperiod at 20~25°C, 60~70% RH and 600~900 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1} \text{CO}_2$. The light treatments were combined in three colors LEDs (red, blue, and white) and RGB ratios (1 : 4 : 5, 5 : 0 : 5, 5 : 2 : 3, 7 : 0 : 3, 7 : 1 : 2, and 8 : 1 : 1), however, as the light intensities of treatments were different. Growth characteristic response in both lettuces were significantly as affected by interaction between cultivar and light quality, when they were grown under different light quality conditions. Plant heights of green and red leaf lettuce were the lowest in 1 : 4 : 5 and 8 : 1 : 1, respectively. The highest length and number of leaf were showed 8 : 1 : 1 and 7 : 0 : 3 for the green and 5 : 2 : 3 and 8 : 1 : 1 for the red, respectively. Shoot dry weights of green and red leaf lettuce were the heaviest in 7 : 0 : 3 and 8 : 1 : 1, respectively. Leaf width and leaf shape index were significant about cultivar and light quality. Leaf widths of green and red leaf lettuce were the largest in 8 : 1 : 1 and 5 : 2 : 3, respectively. Leaf shape index of green and red leaf lettuce were the largest in 1 : 4 : 5 and 1 : 4 : 5, respectively. Shoot fresh weight and light use efficiency were significant about cultivar and light quality. Shoot fresh weights of green and red leaf lettuce were the heaviest in 7 : 0 : 3 and 8 : 1 : 1, respectively. Light use efficiencies of green and red leaf lettuce were the highest in 7 : 0 : 3 and 5 : 0 : 5, respectively. These results suggested that the ratio of RGB was 5~7 : 0~2 : 1~3 to cultivate leaf lettuce in a plant factory system.

Additional key words : blue light, green light, light use efficiency, red light, RGB ratio

서 론

식물공장은 광, 온도, 습도 및 이산화탄소 농도와 같은 환경조건을 인공적으로 제어하여 작물을 연중 계획적으로 생산하는 시스템을 말한다. 식물공장에는 인공광만으로 작물을 재배하는 완전제어형 식물공장과 광이 부족한 경우 인공광을 보광하는 인공광 병용형 식물공장으로 구분된다. 완전제어형 식물공장에서 주로 이용되는 광원은 형광등과 발광다이오드(light emitting diode, LED)

가 있으며, 인공광 병용형 식물공장에서 주로 이용되는 광원으로는 고압나트륨등과 메탈할라이드등이 있다. LED는 작은 크기, 내구성, 긴 수명, 낮은 열 방출, 특정한 파장대 조사 등 많은 장점(Lin 등, 2013; Massa 등, 2008; Nozue 등, 2010)이 있어, 완전제어형 식물공장에서 많이 이용하고 있다.

광질(광파장대)은 식물의 발육과 품질에 중요한 역할을 한다(Lin 등, 2013). 특히 LED는 특정한 광질을 조절하여 생육, 품질, 저장 및 개화 제어에 사용되어 왔다(Nozue 등, 2010). LED는 적색광, 녹색광, 청색광 등 모든 파장대의 광원을 조사할 수 있는 장점을 가지고 있어 광형태형성(photomorphogenesis) 제어에 이용되고 있다(Briggs, 1993). 식물의 광합성에 중요한 에너지원인

*Corresponding author: yycho@jejunu.ac.kr

Received August 20, 2013; Revised September 25, 2013;

Accepted September 27, 2013

적색광과 청색광은 식물 생육에 가장 큰 영향을 준다 (Lin 등, 2013). 청색광은 일장효과, 줄기 성장 억제, 잎 확대 촉진, 유전자 발현 유기 등에 영향을 주며 (Briggs, 1993), 적색광은 신초와 줄기생장 (Shin 등, 2008) 및 광합성에 영향을 준다 (Yorio 등, 2001). 이처럼, 식물공장에서 적색광과 청색광 LED 조합에 따른 식물의 생육과 발육 반응을 알아보려고 많은 연구가 진행되어 왔다 (Kim 등, 2004; Lin 등, 2013; Yorio 등, 2001).

상추는 재배가 쉽고 생육기간이 짧아 식물공장 연구에 많이 이용되는 식물로 알려져 있다. 그리고, 광원으로 활용가치가 큰 LED를 이용하여 상추를 재배하려는 연구들이 많이 진행되고 있다. 그러나, 식물공장에서 상추의 파장별 LED 비율에 대한 품종별 생육 반응과 광사용효율에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 완전제어형 식물공장에서 LED 광질(적색광과 녹색광 및 청색광 비율)에 따른 잎상추의 생육 반응과 광사용효율을 알아보려고 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 제주대학교내 완전제어형 식물공장(770 × 500 × 300cm, L × W × H)에서 2011년 12월 19일부터 2012년 2월 8일까지 수행되었다. 본 실험에 사용된 공시 작물로는 여름 청측면상추(Aram seed Co., Korea)와 홍염 적측면상추(Aram seed Co., Korea)를 사용하였다. 청측면과 적측면상추는 2011년 12월 19일에 우레탄 스폰지(2.5 × 2.5 × 2.5cm)에 파종하였다.

인공광원은 120 × 5.5 × 3.2cm(L × W × H) 크기의 LED 광원(FC Poibe, Korea)을 사용하였으며, 베드 바닥면으로부터 30cm 위에 설치하였다. 적색광과 백색광 및 청색광으로 광질만을 조절하였으며, 광도는 조절하지 않았다. 백색광 LED는 적색광, 녹색광 및 청색광이 혼합된 혼합광이었다. 광주기는 12시간 일장주기로 하였다. 처리는 3가지 LED로 조합된 광원의 전류량(A) 크기를 조명으로부터 30cm 밑에서 분광광도계(PS-200, Apogee Instruments Inc., USA)를 이용하여 RGB비율로 나타냈다. RGB의 비율은 1:4:5, 5:0:5, 5:2:3, 7:0:3, 7:1:2와 8:1:1였다(Table 1). 수경재배시스템은 3층으로 구성된 박막수경(NFT)시스템(240 × 60 × 200cm, L × W × H)을 길이방향으로 2구역으로 나누었다. 비료염은 Ca(NO₃)₂ · 4H₂O 944g, KNO₃ 808g, NH₄H₂PO₄ 153g, MgSO₄ · 7H₂O 492g, Fe-EDTA 23g, CuSO₄ · 5H₂O 0.08g, H₃BO₃ 2.86g, MnSO₄ · 5H₂O 2.11g, ZnSO₄ · 7H₂O 0.23g, Na₂MoO₄ · 2H₂O 0.025g으로 조성하였다. 배양액통 용량은 110L였으며, 배양액량은 90L로 하였다. 배양액 공급은 본엽이 나왔을 때부터 시작하였다. 배양액의 pH는

Table 1. RGB ratio and spectrum wavelength ratio of LED.

RGB ratio ²	Spectrum wavelength ratio (%)		
	Blue (400~500 nm)	Green (500~600 nm)	Red (600~700 nm)
1 : 4 : 5	51.4	38.9	9.7
5 : 0 : 5	49.6	0	50.4
5 : 2 : 3	29.9	16.6	53.5
7 : 0 : 3	32.8	0	67.2
7 : 1 : 2	18.8	13.9	67.3
8 : 1 : 1	4.1	16.2	79.7

²RGB ratio is the ratio of Red : Green : Blue.

5.5~6.5로 설정하였으며, EC는 2.0dS · m⁻¹로 설정하였다. 배양액의 pH와 EC는 1~2일 간격으로 측정하여 설정수준으로 보정하였다. 배양액 공급주기는 10분마다 공급하였으며, 배양액은 실험이 끝날 때까지 교환하지 않았다.

광도는 광 센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였으며, 온도와 상대습도는 각각 온도와 습도센서(HMP45AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 측정하였다. 이산화탄소 농도는 이산화탄소 센서(GMP222, Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 측정하였다. 환경제어는 제어기(SDM-CD16AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 온도, 상대습도와 이산화탄소 농도를 ON/OFF 제어하였다. 설정 온도는 에어컨(HP-N239L, 삼성전자, 한국)과 히터기(HV-7800, (주)한빛시스템, 한국)를 이용하여 20~25°C, 설정 상대습도는 가습기(NH-5, 화전엔지니어링, 한국)와 제습기(SG-M220S-4, (주)신안그린테크, 한국)를 이용하여 제어하였다. 설정 이산화탄소는 지하공기를 이용하여 (Kim 등, 2007) 600~900μmol · mol⁻¹로 설정하였다. 일 정기간 동안(2012년 1월 19일부터 2월 3일까지) 식물공장의 환경변화를 살펴보면, 온도(최소값~최대값) 변화는 17.2~26.8°C(평균 23.1°C), 상대습도(최소값~최대값) 변화는 62.2~73.1%(평균 67.2%)(Fig. 2A), 이산화탄소 농도(최소값~최대값) 변화는 666~894μmol · mol⁻¹(평균 731μmol · mol⁻¹ 범위)로 유지되었다(Fig. 2B). 공기 유동은 공기순환팬(SGA-120, (주)신안그린테크, 한국)을 이용하여 순환시켰다. 센서위치는 바닥면으로부터 1.5m에 설치하였으며, 식물공장 3곳에서 측정한 평균값을 이용하여 설정값에 맞게 관리하였다. 광도, 온도, 상대습도와 이산화탄소 농도 자료는 데이터수집장치(CR-1000, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 매 10분마다 평균하여 1시간마다 수집하였다.

청측면과 적측면상추는 본엽이 4매 나온 2012년 1월 6일 수경재배 베드에 정식하였으며, 2월 8일(정식 후 33일)에 생육 조사하였다. 생육 조사 항목은 정식 전에는

엽수, 지상부 생체중과 건물중을 조사하였고, 정식 후에는 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 지상부 생체중과 건물중을 조사하였다. 엽형지수는 엽장과 엽폭 비율로 나타냈다. 광사용효율(light use efficiency)은 단위면적당 건물중을 적산일사량으로 나누어 계산하였다. 광원 변환값은 광원이 LED일 경우, $1W = 5.5\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$, $1W \cdot \text{m}^{-2} = 0.86\text{kcal} \cdot$

$\text{m}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$ 와 $1\text{cal} \cdot \text{m}^{-2} = 4.184\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 사용하였다.

실험구 배치는 완전임의배치법을 사용하였으며, SAS (Statistical Analysis System, Ver9.1, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정으로 유의성을 검정하였으며, 그래프는 SigmaPlot(Systat software Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 작성하였다.

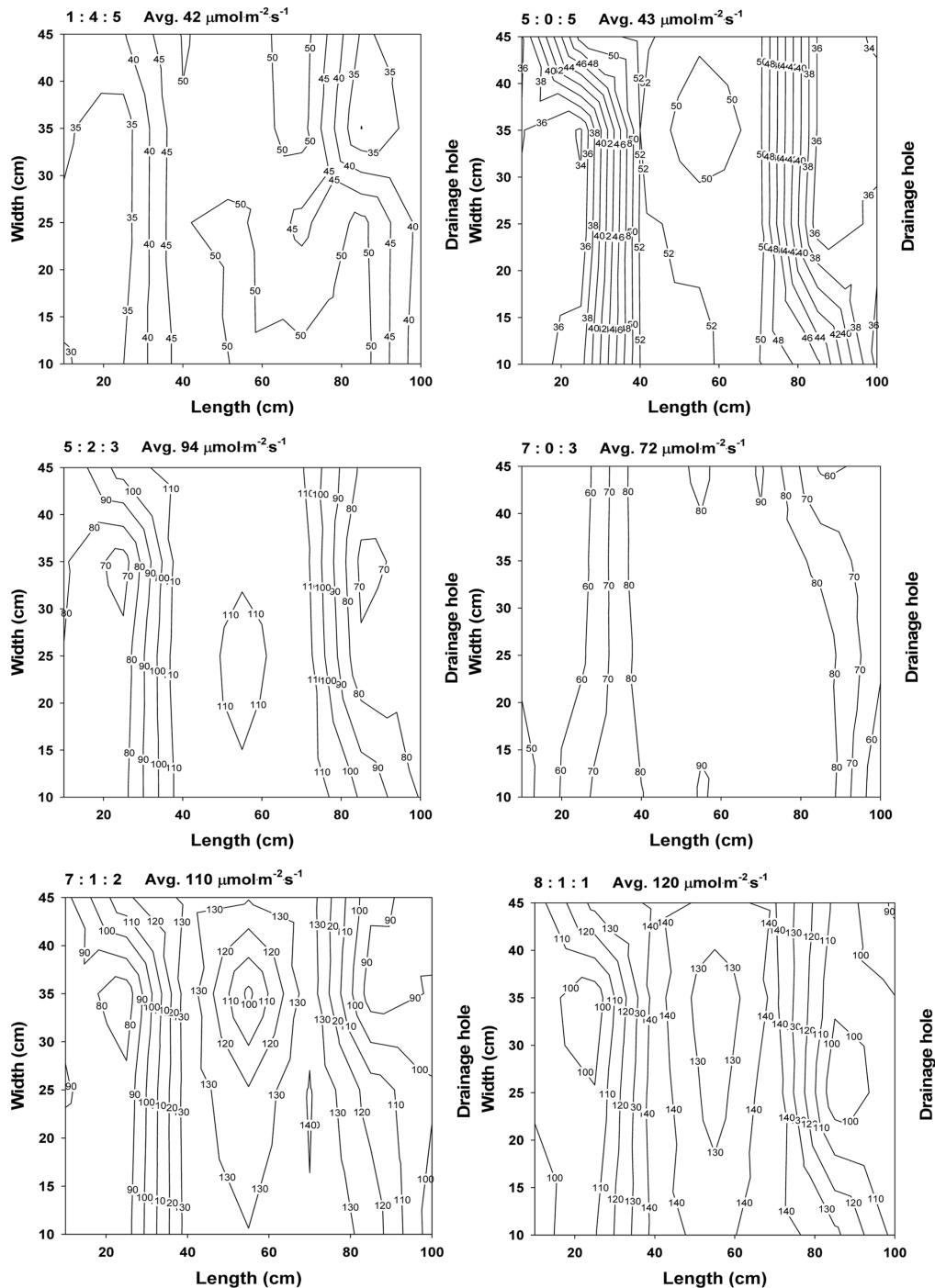


Fig. 1. Distribution of light intensity under different RGB ratio.

결과 및 고찰

Red(R) : Green(G) : Blue(B) 비율 1 : 4 : 5, 5 : 0 : 5, 5 : 2 : 3, 7 : 0 : 3, 7 : 1 : 2와 8 : 1 : 1의 광도(최대값과 최소값 및 평균)는 각각 29.2~52.9(평균 42.4 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 33.6~52.6(평균 43.1 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 65~120(평균 94.2 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 45.3~91.1(평균 72.3 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 87.9~147.2(평균 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)과 73.6~140.8(평균 110 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)이었다(Fig. 1). 적색광(600~700nm)과 녹색광(500~600nm)의 비율이 높을수록 광량은 높아지는 경향이였다.

광질에 따른 상추 품종별 초장, 엽장, 엽폭 및 엽형지수에 대한 결과는 Table 2와 같다. 광질에 따른 상추 품종별 초장은 광질과 품종*광질간의 상호작용보다는 품종 차이에 의해 유의적인 차이를 보였다. 청측면상추보다 적측면상추의 초장이 컸으며, 적측면상추의 경우 적색광 대비 청색광의 비율이 가장 높은 처리구에서 초장이 가장 컸으나, 청측면상추의 경우는 그 반대의 현상을 보였다. 엽장은 품종 차이보다는 광질과 품종*광질간의 상호작용에 의해 유의적인 차이를 보였다. 적색광 대비 청색광의 비율이 높은 처리구에서 엽장이 가장 짧았다. 엽폭과 엽형지수는 품종*광질간의 상호작용보다는 품종과 광질에 의해 유의적인 차이를 보였다. 적측면상추보다 청측면상추의 엽폭이 짧았다. 적색광 대비 청색광의 비율이 높은 처리구에서 엽폭이 가장 짧았다. 엽형지수는 적측면상추보다 청측면상추가 높았다. 적색광 대비 청색광의 비율이 높은 처리구에서 엽형지수가 높았다. 엽형지

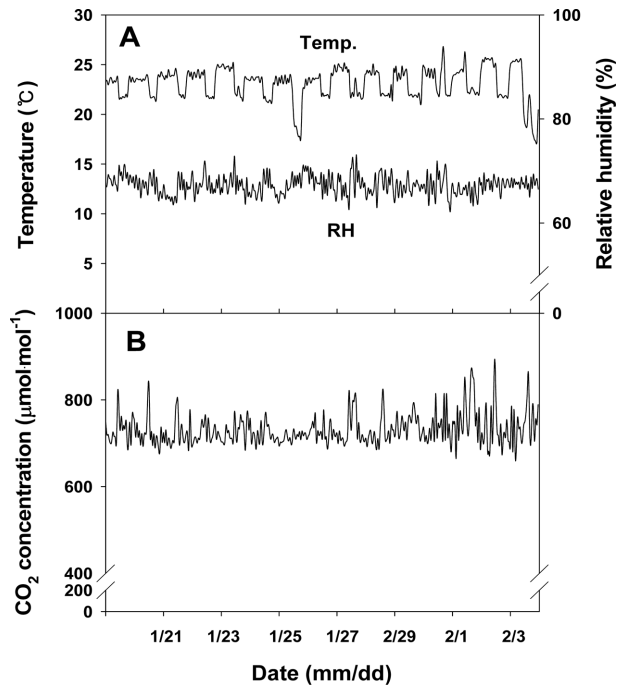


Fig. 2. Changes of temperature and relative humidity (RH) (A) and CO₂ concentration (B) during an experimental period (Jan. 19, 2012~Feb. 5, 2012).

수는 광량이 낮을수록 잎이 좁아지는 형태를 보였다. 청측면과 적측면 상추의 엽색(SPAD 수치)은 통계적인 차이를 보이지 않았다(자료 미제시). 추대 현상은 모든 처리구에서 보이지 않았다.

Table 2. Plant height, leaf length, leaf width, and leaf shape index as affected by light quality of green and red leaf lettuces grown in a closed-type plant factory system.

Cultivar	RGB ratio	Plant height ^z (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf shape index ^y
Green leaf lettuce	1 : 4 : 5	1.2 d ^x	9.5 b	7.0 d	1.4 a
	5 : 0 : 5	2.1 abc	10.0 b	7.5 cd	1.3 ab
	5 : 2 : 3	1.6 bcd	11.3 ab	10.2 ab	1.1 c
	7 : 0 : 3	2.6 a	13.1 a	10.9 a	1.2 abc
	7 : 1 : 2	1.4 cd	10.3 b	8.9 bc	1.2 bc
	8 : 1 : 1	2.4 ab	13.4 a	11.6 a	1.2 bc
Red leaf lettuce	1 : 4 : 5	2.6 a	11.0 b	10.1 b	1.1 a
	5 : 0 : 5	2.4 a	11.0 b	10.6 ab	1.0 abc
	5 : 2 : 3	2.3 a	13.8 a	12.7 a	1.1 ab
	7 : 0 : 3	2.4 a	12.7 ab	11.9 ab	1.1 ab
	7 : 1 : 2	2.1 a	11.9 ab	12.2 ab	1.0 bc
	8 : 1 : 1	2.0 a	11.0 b	11.8 ab	0.9 c
Significance					
Cultivar (A)		*	NS	***	***
RGB ratio (B)		NS	***	***	**
A * B		NS	*	NS	NS

^zDistance from base stem to growing point.

^yLeaf shape index is leaf length/leaf width.

^xMeans separation within columns by Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$).

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $P = 0.05, 0.01, \text{ and } 0.001$, respectively.

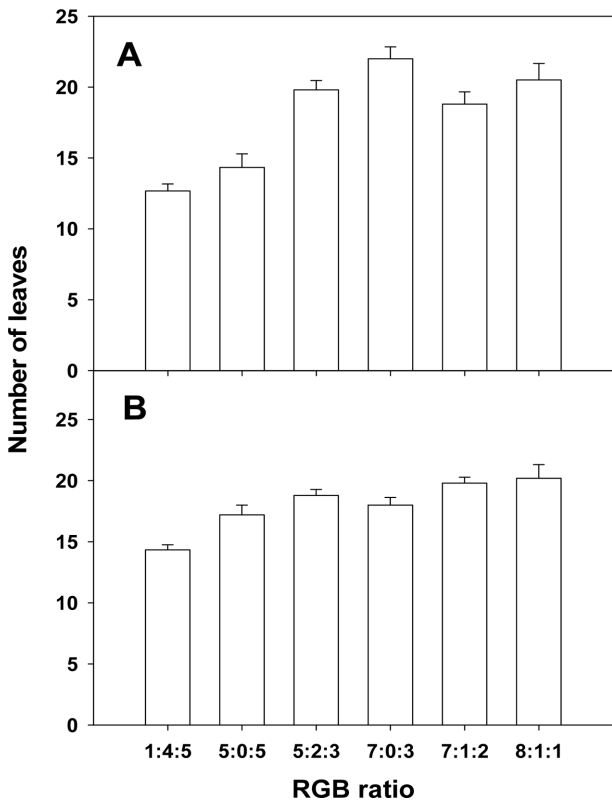


Fig. 3. Number of leaves as affected by light quality of green (A) and red (B) leaf lettuces grown in a closed-type plant factory system.

광질에 따른 상추 품종별 엽수에 대한 결과는 품종 차이보다는 광질 차이로 유의적인 차이를 보였다(Fig. 3). 엽수는 적색광이 청색광 비율보다 많으면 엽수가 많았다.

광질에 따른 상추 품종별 지상부 생체중과 건물중에 대한 결과는 지상부 생체중은 품종과 광질 차이로 유의적인 차이를 보였다(Fig. 4). 청측면과 적측면상추의 경우, 적색광과 녹색광 및 청색광 비율이 각각 7:0:3와 8:1:1인 처리구에서 가장 높은 지상부 생체중을 보였다. 지상부 건물중은 품종 차이보다는 광질간에 유의적인 차이를 보였다. 청측면과 적측면상추의 경우, 적색광과 녹색광 및 청색광 비율이 각각 7:0:3와 8:1:1인 처리구에서 가장 높은 지상부 건물중을 보였다. 지상부 생체중과 건물중은 광량 차이보다는 청색광에 비해 높은 적색광 비율이 광합성을 촉진하는 것으로 생각한다. 광합성을 위한 적색광과 청색광보다 백색광(녹색광)이 식물 균락에 더 잘 조사되기 때문에 백색광이 혼합된 처리구에서 식물 생육이 증가되었다는 보고가 있다(Kim 등, 2004; Lin 등, 2013). 그러나, 본 연구에서는 청측면상추의 경우 Kim 등(2004)과는 다른 결과를 보인 반면에 적측면상추의 경우는 같은 결과를 보여, 품종간에 차이가 있다는 결과를 얻었다. 또한 광도가 낮은 처리구

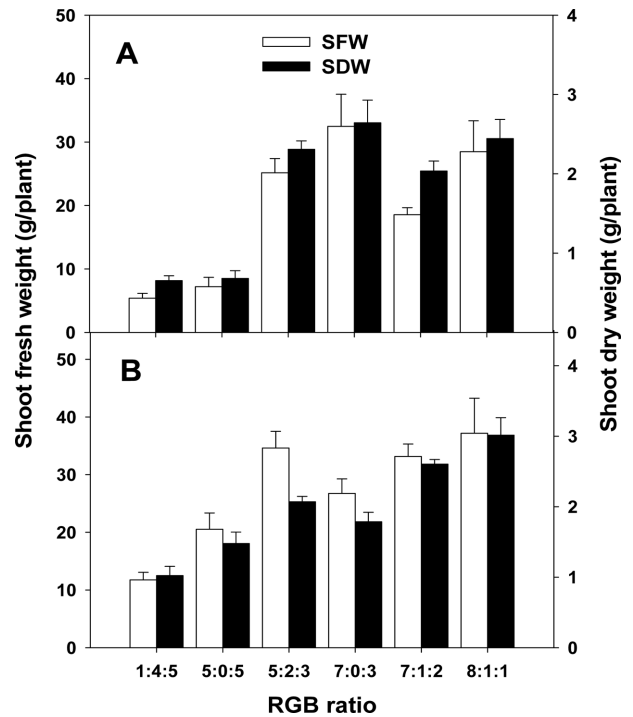


Fig. 4. Shoot fresh and dry weights as affected by light quality of green (A) and red (B) leaf lettuces grown in a closed-type plant factory system.

(1:4:5와 5:0:5)을 제외하고 청측면상추의 건물중은 광도간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 적측면상추의 건물중은 광도가 높은 쪽(평균 광도 110과 120 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)에서 유의적인 차이를 보였다. 따라서, 잎상추의 생육에는 광도와 광질이 영향을 주는 것으로 생각한다. Park 등(2012)는 선홍 적측면상추의 경우, 같은 광도 ($140 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)하에서는 적색광이 높은 처리구(RGB 비율 8:1:1)에서 생육이 좋았다고 보고하였다. 특히 Kim 등(2004)은 적색광과 청색광에 24%의 녹색광(500~600nm)을 추가하면 생육이 촉진되었다고 보고하였으며, Yorio 등(2001)은 정상적인 발육을 위해서는 최소 20~30 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 청색광이 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 청측면상추에서 생육이 좋은 처리구의 적색광 대비 청색광과 청색광 비율은 각각 0%와 33%(약 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)였으며, 적측면상추의 경우, 각각 16%(약 33 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)와 4%(약 4.4 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)였다. 추후 각 파장 비율에 따른 식물의 생육 반응에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

광질에 따른 상추 품종별 광사용효율(light use efficiency, LUE)은 품종과 광질에 의해 유의적인 차이를 보였다(Fig. 5). 그러나 RGB 비율 1:4:5와 5:0:5 처리구에서 청측면상추는 생육이 매우 낮았지만, 적측면상추는 그렇지 않았다. 적측면상추가 청측면상추에 비해 광사용

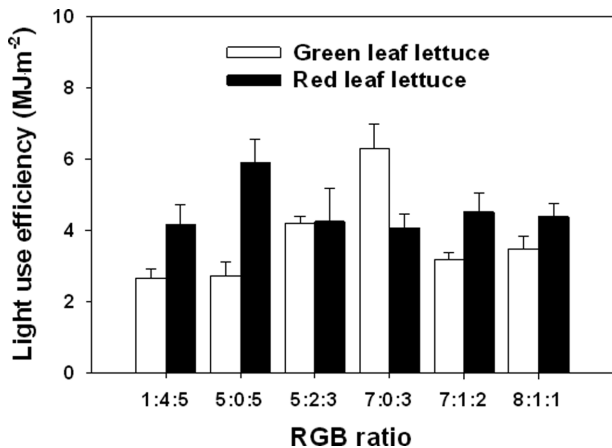


Fig. 5. Light use efficiency as affected by light quality of green and red leaf lettuces grown in a closed-type plant factory system.

효율이 23% 더 높았다. 청측면과 적측면상추의 가장 높은 광사용효율은 각각 7:0:3과 5:0:5 비율이었다. 그러나 RGB 비율 5:0:5의 적측면상추 생육은 매우 저조하였기 때문에, 광사용효율은 생육적인 측면을 고려해야 한다. 또한 청색광이 적색광에 비해 높은 처리구는 생육량이 매우 낮았다. RGB 비율 1:4:5, 5:0:5, 5:2:3, 7:0:3, 7:1:2와 8:1:1의 광사용효율은 청측면상추는 2.7, 2.7, 4.2, 6.3, 3.2와 3.5g·MJ⁻¹였으며, 적측면상추는 4.2, 5.9, 4.2, 4.1, 4.5와 4.4g·MJ⁻¹였다. 국화과의 광사용효율은 상추 2.43g·MJ⁻¹(Tei 등, 1996), 반결구상추 2.71g·MJ⁻¹(Beccafichi 등, 2003), 치커리 1.9~2.6g·MJ⁻¹(Monti 등, 2005)로 알려져 있다. 본 연구에서 상추의 광사용효율은 다른 상추의 광사용효율보다 높은 값을 보였는데, 그 이유는 상추가 최적의 환경조건을 갖춘 식물생산시스템에서 재배한 결과라 생각한다.

식물공장에서 상추의 생육적인 측면과 광사용효율 등을 고려하여 적합한 LED 비율로 재배해야 할 것이다. 식물공장에서 LED는 특정한 광질로 식물을 재배할 수 있는 장점이 있지만, 식물 종류와 품종에 따라 광질을 달리해야 하는 단점도 가지고 있다. 식물공장에서 한 품목으로 특정한 식물 또는 품종 재배에 적합한 LED를 개발하거나 다 품목으로 식물들에 적합한 범용 LED에 대한 연구들이 많이 이루어져야 할 것으로 본다.

본 연구 결과, 완전제어형 식물공장 시스템에서 잎상추 재배를 위한 적색광과 녹색광 및 청색광 비율은 생육과 광사용효율 측면에서 5~7:0~2:1~3 비율이 적합하였다.

적 요

본 연구는 완전제어형 식물 생산 시스템에서 적색광,

녹색광 및 청색광 비율에 따른 상추의 생육 반응과 광사용효율을 알아보려 수행되었다. 본 연구에 사용된 상추 품종은 여름청측면상추와 홍염적측면상추였다. 완전제어형 식물공장에서 LED 조명과 12시간 일장으로 박막수경 재배하였다. 재배 온도, 상대습도와 이산화탄소는 각각 20~25°C, 60~70%와 600~900μmol·mol⁻¹로 조절하였다. 광 처리는 세가지 LED(적색, 청색과 백색)로 청색광과 녹색광 및 적색광 비율은 1:4:5, 5:0:5, 5:2:3, 7:0:3, 7:1:2와 8:1:1로 처리하였으며, 다만 광량은 처리구마다 달랐다. 다른 광질 하에서 생육할 때, 두 품종의 상추의 생육 특성은 품종과 광질에 의해 유의적인 영향을 받았다. 청측면과 적측면상추의 초장은 각각 1:4:5과 8:1:1에서 가장 낮았다. 가장 큰 엽장과 엽수는 청측면상추에서 각각 8:1:1과 7:0:3이었으며, 적측면상추는 각각 5:2:3과 8:1:1이었다. 엽폭과 엽형지수는 품종과 광질에 따라 유의적인 차이를 보였다. 청측면과 적측면상추의 엽폭은 각각 8:1:1과 5:2:3에서 가장 길었다. 청측면과 적측면상추의 엽형지수는 1:4:5과 1:4:5에서 가장 높았다. 지상부 생체중과 광사용효율은 품종과 광질에 의해 유의적인 차이를 보였다. 청측면과 적측면상추의 지상부 생체중은 각각 7:0:3과 8:1:1에서 가장 무거웠다. 청측면과 적측면상추의 광사용효율은 각각 7:0:3과 5:0:5에서 가장 높았다. 결론적으로, 완전제어형 식물 생산 시스템에서 상추 재배를 위한 적색광과 녹색광 및 청색광 비율은 5~7:0~2:1~3 비율이 적합하였다.

추가 주제어 : 광사용효율, 녹색광, 적색광, 청색광, 청색광 : 녹색광 : 적색광 비율

사 사

본 연구는 산업통상자원부 광역경제권 연계협력사업(R0000455)으로 지원된 연구임.

Literature Cited

- Beccafichi, C., P. Benincasa, M. Guiducci, and F. Tei. 2003. Effect of crop density on growth and light interception in greenhouse lettuce. *Acta Hort.* 614:507-513.
- Briggs, W.R. 1993. New light on stem growth. *Nature* 366:110-111.
- Kim, H.H., G.D. Goins, R.M. Wheeler, and J.C. Sager. 2004. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience* 39:1617-1622.
- Kim, J.H., M.S. Sung, I.S. So, and H.N. Hyun. 2007. Study on the distribution and utilization of basalt underground air in

- Jeju volcanic island. Kor. J. Hort. Sci. Technol. and J. Bio-Env. Con. 10 (Suppl. II):113 (Abstr.).
- Lin, K.H., M.Y. Huang, W.D. Huang, M.H. Hsu, Z.W. Yang, and C.M. Yang. 2013. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). Sci. Hort. 150:86-91.
- Massa, G.D., H.H. Kim, R.M. Wheeler, and C.A. Mitchell. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. Hort-Science 43:1951-1956.
- 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 22:81-87.
- Monti, A., M. T. Amaducci, G. Pritoni, and G. Venturi. 2005. Growth, fructan yield, and quality of chicory (*Cichorium intybus* L.) as related to photosynthetic capacity, harvest time, and water regime. J. Exp. Bot. 56:1389-1395.
- Park Y.G., J.E. Park, S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2012. Light source and CO₂ concentration affect growth and anthocyanin content of lettuce under controlled environment. Hort. Environ. Biotechnol. 53:460-466.
- SAS institute. 1985. SAS user's guide: Statistics, 5th ed. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- Shin, K.S., H.N. Murthy, J.W. Heo, E.J. Hahn, and K.Y. Paek. 2008. The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. Acta Physiol. Plant 30:339-343.
- Tei, F., A. Scaife, and D.P. Aikman. 1996. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. Ann. Bot. 78:633-643.
- Yorio, N.C., G.D. Goins, H.R. Kagie, R.M. Wheeler, and J.C. Sager. 2001. Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. HortScience 36:380-383.