

밀폐형 식물생산시스템에서 광질과 광주기에 따른 썸바귀의 생육

김혜민^{1*} · 강정화^{1*} · 정병룡^{1,2,3} · 황승재^{1,2,3*}

¹경상대학교 대학원 응용생명과학부(BK21 Plus Program), ²경상대학교 농업생명과학대학 원예학과, ³경상대학교 농업생명과학연구원

Light Quality and Photoperiod Affect Growth of Sowthistle (*Ixeris dentata* Nakai) in a Closed-type Plant Production System

Hye Min Kim^{1*}, Jeong Hwa Kang^{1*}, Byoung Ryong Jeong^{1,2,3}, and Seung Jae Hwang^{1,2,3*}

¹Department of Horticulture, Division of Applied Life Science (BK21 Plus Program), Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

²Department of Horticulture, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Abstract

This study was conducted to examine the optimal environmental condition for promoting the growth of sowthistle as affected by light quality and photoperiod in a closed-type plant production system. Seeds were sown in 240-cell plug trays and then germinated for 3 days at a 24-hour photoperiod in a closed-type plant production system with LED lights (R:B:W = 8:1:1). Seedlings were transplanted and grown under 3 types of LED (R:B:W = 8:1:1, R:W = 3:7, or R:B = 8:2) and 4 photoperiods (24/0, 16/8, 8/16, or 4/20 hours) with 230 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ light intensity at a density of 20 cm \times 20 cm. The experimental design was a randomized complete block design. Plants were cultured for 40 days under the condition of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ and $70 \pm 10\%$ relative humidity after transplanting. Plants were fed with a recycling nutrient solution (pH 7.0 and EC 2.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) contained in a deep floating tank. Fresh weight and dry weight of shoot or root, leaf length, and leaf area were the greatest in the photoperiod of 24/0 (light/dark) with RW LED. The highest number of leaves occurred in the photoperiod of 16/8 (light/dark) with RB LED, while the incidence of tip burn was higher in the photoperiod of 24/0 (light/dark) compared to the other treatments. Chlorophyll value was the highest in the 16/8 (light/dark) photoperiod and there was no significant difference by light quality. Chlorophyll fluorescence was the lowest in the photoperiod of 24/0 (light/dark) compared with other treatments. Therefore, in terms of economic feasibility and productivity for *Ixeris dentata* Nakai cultivation in a closed-type plant production system, the results obtained suggest that plants grew the best when kept in a photoperiod of 16/8 (light/dark) and light quality of combined LED RW (3:7).

Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(1):67-76, 2016
<http://dx.doi.org/10.12972/kjhst.20160005>

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

Received: August 4, 2015

Revised: September 20, 2015

Accepted: September 24, 2015

Copyright©2016 Korean Society for Horticultural Science.

[†]These authors contributed equally to this work.

본 연구는 농림축산식품부 첨단기술개발사업(과제번호 310002-03)의 지원에 의해 수행되었음

Additional key words: chlorophyll fluorescence, light emitting diode, tip burn, transplanting, T/R ratio

서 언

식물생산시스템이란 작물을 시설 내에서 광, 온도, 습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경조건을 인공적으로 제어하여 계절이나 장소 등의 외부환경에 관계없이 연속적으로 생산하는 첨단기술이 융합된 시스템이며, 넓은 의미로는 태양광이용형 온실, 좁은 의미로는 밀폐형 인공제어 식물생산 시스템으로 정의할 수 있다(Masamoto, 2007). 식물생산시스템은 노지에서 제어하기 어려운 기상 및 지하부 환경을 작물의 효율적인 생육과 기능성물질의 증진을 위하여 과학적으로 관리하고 생산하는 고부가가치 작물 생산시스템이다(Park et al., 2013). 이러한 특성으로 작물을 생산하기 어려운 환경인 극지나 사막에 설치되어 이용되고 있으며, 식물생산시스템 내부의 환경조절을 위한 인공광 제어(광원, 광질, 일장, 광도 등), 기상환경제어(냉방 및 난방, 이산화탄소 시비, 습도 등), 양액 공급, 재식 간격에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Son, 1997).

최근 식물재배용 인공광원으로 밀폐형 식물생산 시스템에 주로 이용되는 LED(light emitting diode)는 특정 단파장만 이용하거나 여러 파장들을 원하는 비율로 혼합하여 이용 할 수 있으며, 단일 광원으로 청색광(450nm)에서 국화의 초장과 엽면적이 가장 크게 나타났고, 적색광(650nm)에서는 근장이 가장 길었다는 보고가 있다(Im et al., 2013). 상추의 생육에서는 청색광의 비율을 0.1%에서 6%로 증가시켰을 때 엽면적, 세포 크기, 세포 수가 늘어났다는 보고가 있다(Dougher and Bugbee, 2004). 또한, Shin et al.(2012)의 연구에서 형광등에 비하여 적색광과 청색광을 5:2 비율로 조합한 LED에서 'Lollo Rosa' 상추의 생육과 미네랄 흡수 능력이 증진 되었으며, Lee and Kim(2014)의 연구에서는 역시 형광등에서보다 LED 하에서 생육된 상추의 생산량과 안토시아닌 함량이 증진되어 식물 생육과 기능성 물질 함량의 증진을 위한 LED의 효과가 입증되고 있다. 이처럼 작물에 따라 동일한 광질이 미치는 영향이 다양하며, 재배 대상작물의 생육 및 기능성 물질 증진을 위한 적합한 광질을 구명할 필요가 있다. 또한, 광 주기는 식물의 생육과 개화에 깊이 영향을 미치는 요인이며, 감자 소식물체와 칼라디움에서 암기가 길어 질수록 생산량이 증대 되었고 상추에서는 건물중이 크게 감소되었다고 보고되어 있으나(Hayashi et al., 1993; Ishii et al., 1995), 식물 생산시스템 내에서 썸바귀를 이용한 광 주기 효과에 대한 연구는 전무한 실정이다.

초기 식물생산 시스템에서는 열채류 위주로 생산 및 연구가 진행되었으나 식물생산시스템의 평균 건설비가 플라스틱하우스의 배 이상으로 초기투자비용이 높아 이를 상쇄할 수 있는 고부가가치 작물인 특용작물이나 약용작물로 초점이 맞추어 지고 있으며, 시급히 재배 기술 개발 및 재배 표준화를 위한 매뉴얼 개발이 필요한 시점이다. 약용작물 중 썸바귀(*Ixeris dentata* Nakai)는 국화과의 여러해살이 식물로 잎과 뿌리를 모두 약재로 사용한다. 썸바귀는 1962년 미국에서 개최되었던 'space biology symposium'에서 Controlled Ecological Life Support System(CELSS)에 적용을 위한 수확량, 영양, 수확 지수, 농업적인 요구 등을 만족한 약 70여 가지의 작물 중 하나로 고유의 독특한 맛과 향기를 지니고 있으며, 무기물과 각종 비타민, 약리적인 성분을 함유하고 있고, 암, 노화, 성인병 예방에 효과가 있다고 알려져 있다(Qin et al., 2008; Seo, 2011). 따라서 본 연구는 밀폐형 식물생산시스템 내에서 광질과 광주기에 따른 썸바귀의 생육 증진을 위한 적정 환경 조건을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험재료

밀폐형 식물생산시스템 내에서 썸바귀(*Ixeris dentata* Nakai)(Aram Seed Co. Ltd., Korea)의 적정 광질과 광주기를 구명하고자 썸바귀 종자를 240구 육묘용 펠릿형 압면 플러그 트레이(길이 60cm×폭 41cm×높이 5cm, UR Co. Ltd., Anseong, Korea)에 파종하여 3일간 발아 후 광도 230 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 광주기 24/0(명기/암기), LED(red:blue:white = 8:1:1, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea) 하에서 정식 전까지 육묘하였다. 밀폐형 식물생산시스템은 온도, 광주기, CO₂ 농도, 각 단별 광원제어

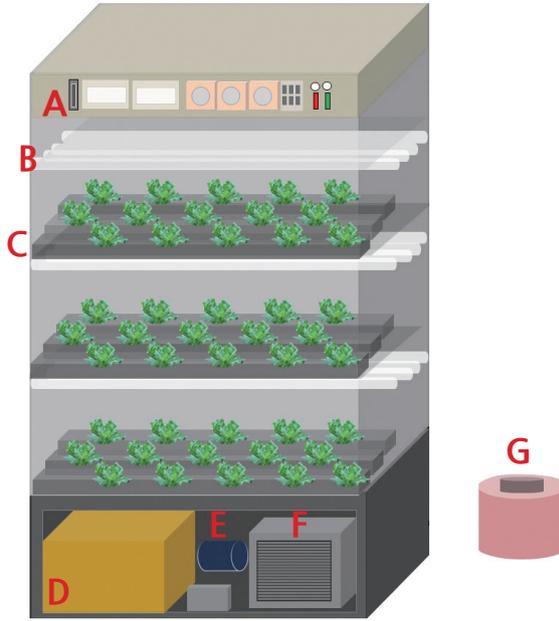


Fig. 1. Schematic diagram of closed-type plant production system using recirculation ebb and flow hydroponic system. (A) environment control system, (B) artificial light (RBW, RB, and RW LED) sources, (C) recirculating ebb and flow hydroponic system, (D) nutrient solution tank, (E) pump, (F) heating and cooling system, and (G) slidacs for light intensity control.

등을 위한 환경제어 시스템, 인공광원, 재순환 양액 시스템, 양액 탱크, 펌프, 냉난방 시스템, CO₂ 공급기, 전압조정장치로 구성되어 있다(Fig. 1).

광질과 광주기 처리

파종 후 42일째에 평균 초장 9.3cm, 평균 생체중은 7.5g의 균일한 쌈바귀 묘를 선발하여 20cm×20cm의 재식밀도로 3종류의 광질과 4종류의 광주기 혼합 처리로 설정된 밀폐형 식물생산시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea)에 난괴법으로 18개체씩 정식하였다. 광질의 선발은 상추와 쌈바귀를 대상으로 수행된 선행연구들에서 주로 작물의 생육이 형광등에서

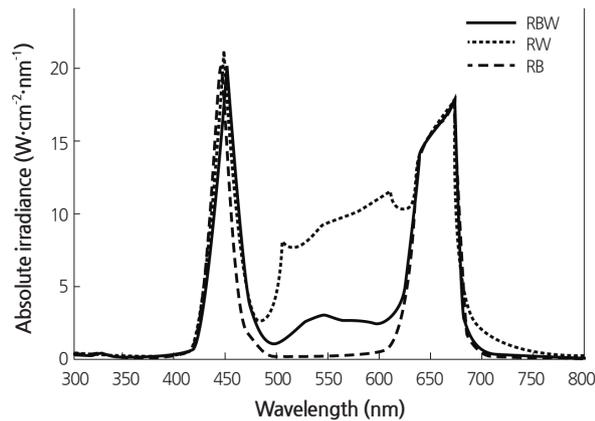


Fig. 2. Spectral distribution of the light qualities of RBW, RW, and RB LED used in a closed-type plant production system. RBW, red:blue:white = 8:1:1; RW, red:white = 3:7; and RB, red:blue = 8:2.

Table 1. Light intensity of each wavelength at different light quality combinations.

Wavelength (nm)	Light intensity ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ^a		
	RBW	RW	RB
400-500	72.93	56.03	84.41
500-600	35.21	76.17	4.23
600-700	116.31	91.25	136.35

^aThe light qualities used were RBW LED (red:blue:white = 8:1:1), RW LED (red:white = 3:7), and RB LED (red:blue = 8:2).

보다 LED에서 우수하게 나타나, 적색, 청색, 백색 LED를 조합하여 RBW LED(red:blue:white = 8:1:1, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea), RW LED(red:white = 3:7, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea), RB LED(red:blue = 8:2, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea)의 3종류 광질을 이용하여 실험에 사용하였으며, 5W LED chip을 이용하여 제작하였다(Fig. 2). 각 처리 별 파장의 광도는 Table 1에 나타내었다. 씬바귀는 잎과 뿌리를 모두 약재로 사용하는 작물로써 광질과 일장에 따른 지상부 생육뿐만 아니라 지하부 주근의 생육과 발달을 확인하기 위한 극단적인 광주기 처리로 암기가 없는 24/0(명기/암기) 광주기부터, 명기가 짧은 4/20(명기/암기) 광주기까지 24/0, 16/8, 8/16, 4/20(명기/암기)로 총 4가지 광주기로 처리하였다.

재배환경

밀폐형 식물생산시스템 내부의 재배환경은 온도 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $70 \pm 10\%$ 로 설정하였으며, 광도는 정식시 씬바귀 묘의 상부에서 $230\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이 되도록 조절하여 총 40일간 재배하였다. 광파장은 정식 직후 식물체 위치를 기준으로 휴대형 분광 복사계(RPS-900R, International Light Technologies Inc., Peabody, MA, USA)를 이용하여 측정하였으며, 광도는 광도계(HD2101.1, Delta OHM Co. Ltd., Padova, Italy)를 이용하여 측정하였다. 재배기간 동안에는 Sonneveld 양액(Sonneveld and Straver, 1994)을 이용한 담액식 재순환 방식으로 수경재배하였다. 양액의 pH는 7.0, EC는 $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 공급해 주었다.

생육조사

광질과 광주기에 따른 씬바귀의 생육은 최대근장, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중, T/R율(지상부의 건물중/지하부의 건물중), 엽장, 엽폭, 엽면적(LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA), 엽수, 잎끝마름 발생률을 조사하였다. 잎끝마름 발생률은 최종 생육 조사시 육안으로 관찰 가능한 크기(직경 5mm 이상)의 잎끝마름이 발생한 잎의 수를 각 처리구별 총 잎 수에 대한 백분율로 계산하였다.

씬바귀의 생육 단계별 엽록소 값과 엽록소형광반응을 측정하기 위하여 정식 후 5일, 15일, 20일, 25일째에 처리당 9개체씩을 선발하여 생장점에서 2번째 잎을 기준으로 엽록소 값(SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)을 측정하였다. 엽록소 형광분석은 정식 후 5일, 15일, 20일, 25일째에 처리당 3개체를 선발하여 엽록소 값 측정과 동일 잎에 대하여 30분 동안 암적응 후 엽록소형광분석기(PAM-2100, Heinz Walz GmbH Co. Ltd., Effeltrich, Germany)로 Fv/Fm 값을 구하였다. 최소 형광 값(Fo)은 0.6kHz의 측정 광을 광섬유를 이용하여 $0.1\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 보다 낮은 PPFd로 LED를 조사하여 측정하였으며, 최대 형광 값(Fm)은 20kHz로 $7,000\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 포화 광을 0.8초 동안 조사하여 측정하였다. Fv/Fm 값은 $Fv/Fm = (Fm - Fo)/Fm$ 공식으로 산출되었다(Genty et al., 1989).

통계분석

통계는 처리당 18개체의 평균값으로 SAS(Statistical Analysis System, V. 9.1, Cary, NC, USA)프로그램을 이용하여 $p \leq 0.05$ 수준의 Duncan 다중검정으로 유의성을 검정하였으며, 그래프는 Sigma Plot(10.0, System software, Inc., Chicago, IL,

USA) 프로그램을 사용하여 작성하였다.

결과 및 고찰

휴대형 분광 복사계로 측정된 RBW와 RW 그리고 RB LED의 광질 분포는 청색광과 적색광 영역을 포함한 400–700nm 범위에서 나타났다. 세 광질 모두 청색광을 나타내는 400–500nm 범위에서 가장 높게 나타났으며, 500–600nm 범위에서 가장 낮게 나타났으나 백색광의 비율이 가장 높은 RW는 500–600nm 범위가 다른 광질보다 높게 나타났다(Fig. 2). 백색 LED는 청색 LED chip에 형광물질을 도포하여 백색을 나타내며, 이로 인해 백색 LED가 사용된 처리에서 400–700nm의 범위로 파장이 넓게 나타난 것이라 판단된다.

뿌리의 신장은 광주기에 비해 광질에 더욱 영향을 받았다. RBW 광질 처리에서 대체적으로 긴 경향을 보였으며, 특히 8/16(명기/암기)의 RBW에서 55.5cm로 다른 처리구에 비해서 최대근장이 가장 길었다(Table 2). 이는 Im et al.(2013)의 연구에서 국화의 근장이 적색광에서 가장 길었으며, 다음으로 백색광과 청색광 순으로 나타나 적색광이 국화의 뿌리 신장을 촉진시켰으며, 청색광에서는 뿌리의 신장이 지연된 것으로 나타났다. 본 연구에서도 RBW 광질은 적색광 비율이 50.57%로 높으면서 청색광 비율이 31.71%로 RB LED에서 보다 낮아 국화의 결과에서와 같이 썸바귀의 뿌리 신장에 효과적인 것으로 판단된다(Tables 1 and 2). 또한 썸바귀 뿌리에서의 주근 생육은 광질처리에 영향을 받지 않고 24/0(명기/암기)의 광주기 처리에서만 발생하였는데(data not shown), 향후 보다 세밀한 광질과 광주기의 범위를 적용한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

썸바귀의 생체중과 건물중은 광주기가 길어짐에 따라 증가하는 정의 상관관계를 보였으며, RW 광질에서 증가하는 경향을 보였다(Table 2). 8/16(명기/암기)과 4/20(명기/암기) 처리에서 생체중과 건물중이 가장 낮은 값을 보였으며, 광질에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 24/0(명기/암기)에서 생체중과 건물중이 RW 광질에서 유의적으로 가장 무거웠으며, 16/8(명기/암기)에서는 RBW 광질에 비하여 RW와 RB 광질 처리에서 무거웠다. 다른 처리보다 500–600nm 범위가 높게 나타난 RW 광질에서 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중이 적색광이나 청색광의 범위가 높게 나타난 처리에서 보다 높은 경향을 보였다. Heo et al.(2009)은 다양한 광질을 포함하는 형광등 조건에서 생육된 아게라툼과 살비아 실험묘의 건물중은 청색 단일광 처리조건이 청색과 적색 혼합광 처리조건보다 유의적으로 높았다고 보고하였다. Ohashi-Kaneko et al.(2007)의 보고에서도 잎

Table 2. Effect of light quality and photoperiod on length of the longest root, fresh and dry weights, and T/R ratio of sowthistle grown in a closed-type plant production system.

Photoperiod (light/dark)	Light quality ^z	Length of the longest root (cm)	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		T/R ratio
			Shoot	Root	Shoot	Root	
24/0	RBW	44.8 abc ^y	39.6 b	18.8 ab	3.23 b	1.72 ab	1.84 c
	RW	44.9 abc	53.4 a	23.1 a	4.63 a	1.94 a	2.51 abc
	RB	38.9 bcd	34.1 bc	15.0 b	2.76 bc	1.34 bc	2.10 abc
16/8	RBW	42.1 a-d	24.9 c	14.5 b	2.08 c	1.18 c	1.82 bc
	RW	42.1 a-d	35.8 bc	18.3 ab	2.57 bc	1.56 abc	1.60 c
	RB	41.5 a-d	38.5 bc	18.9 ab	2.31 bc	1.43 bc	1.63 c
8/16	RBW	55.5 a	4.8 d	1.9 c	0.31 d	0.17 d	1.90 bc
	RW	52.4 ab	5.3 d	1.8 c	0.43 d	0.18 d	2.17 bc
	RB	44.3 abc	5.7 d	2.7 c	0.34 d	0.15 d	2.12 bc
4/20	RBW	38.9 cd	2.0 d	0.4 c	0.14 d	0.05 d	3.13 a
	RW	29.6 d	2.3 d	0.7 c	0.15 d	0.06 d	2.90 ab
	RB	12.6 e	1.2 d	0.2 c	0.07 d	0.03 d	2.19 bc

^zThe light qualities used were RBW LED (red:blue:white = 8:1:1), RW LED (red:white = 3:7), and RB LED (red:blue = 8:2).

^yMean differences within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

Table 3. Effect of light quality and photoperiod on leaf length, leaf width, leaf area, number of leaves, and incidence of tip burn of sowthistle grown in a closed-type plant production system.

Photoperiod (light/dark)	Light quality ²	Leaf			No. of leaves	Tip burn (%)
		Length (cm)	Width (cm)	Area (cm ² /plant)		
24/0	RBW	28.2 ab ^y	7.8 a	947.2 ab	16 ab	44.2
	RW	30.8 a	8.4 a	1,168.1 a	17 ab	49.2
	RB	30.9 a	7.7 a	732.4 b	14 b	31.1
16/8	RBW	25.2 bc	7.4 a	722.7 b	14 b	20.1
	RW	25.1 bc	8.1 a	702.6 b	17 b	24.1
	RB	23.2 c	7.2 a	999.2 ab	20 a	0.0
8/16	RBW	14.6 d	4.8 bc	166.7 c	9 c	11.1
	RW	14.0 de	5.2 b	172.6 c	9 c	17.1
	RB	15.7 d	5.3 b	165.3 c	8 c	13.1
4/20	RBW	9.0 f	3.7 cd	78.3 c	8 c	16.1
	RW	9.5 ef	3.9 cd	95.1 c	8 c	0.0
	RB	6.7 f	2.9 d	40.4 c	5 c	11.1

²The light qualities used were RBW LED (red:blue:white = 8:1:1), RW LED (red:white = 3:7), and RB LED (red:blue = 8:2).

^yMean differences within columns by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$

상추 역시 다양한 광 분포를 포함하는 형광등에서 건물중이 유의적으로 높게 나타났다. 본 연구에서 RW 광질의 광파장 분포가 RBW와 RB 광질 처리구의 400–500nm와 600–700nm 범위와 유사하게 나타났으나, 녹색과 황색광을 타나내는 500–600nm의 범위에서는 광파장의 분포가 더 높게 나타났다. 이러한 결과로 썸바귀가 넓은 범위의 광질을 수용하여 광합성 효율이 증가되면서 많은 동화산물을 축적할 수 있었을 것이라 판단된다.

T/R율은 지상부의 건물중과 지하부의 건물중의 비를 나타낸 값이다(Table 2). T/R율은 4/20(명기/암기) 광주기의 RBW 광질에서 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 4/20(명기/암기) 광주기의 RW 광질에서 높았다. 연약한 뿌리는 지상부에 충분한 양의 물과 양분을 공급하지 못한다(Johkan et al., 2010). 그러므로 명기가 4시간 이하일 때 RB 광질을 제외한 처리구에서 다른 처리구에 비하여 뿌리가 연약하게 발달하여 지상부의 생육이 저해되고 그 결과 지상부와 지하부의 불균형이 나타났다고 판단된다.

엽장, 엽폭, 엽면적 그리고 엽수는 명기가 길수록 값이 높게 나타났다(Table 3). 엽장과 엽폭은 광질에 따른 뚜렷한 경향성은 보이지 않았다. 엽면적은 24/0(명기/암기) 광주기의 RW 광질 처리에서 가장 높게 나타났다. 엽수는 16/8(명기/암기) 광주기의 RB 광질 처리에서 20매로 가장 많았으며, 명기가 짧아질수록 식물체의 엽수가 적게 나타났다. 이는 Chatterton and Silvius(1979)의 결과와 같이 콩에서 광이 조사되는 시간이 길면 광조사 시간이 짧을 때 보다 총 전분함량이 증가되고 이와 함께 가용성 당 함량도 증가하여 엽면적과 엽수가 증가한다는 결과와 일치하였다. 또한 Heo et al.(2009)의 보고에서 아케라텀, 아프리카매리 골드, 살비아 실생묘의 엽면적은 청색 광을 조사하였을 때 유의적으로 감소하였다. Ohashi-Kaneko et al.(2007)의 결과에서도 청색광을 조사한 잎상추의 엽면적이 유의적으로 작게 나타났다. 이는 본 연구결과에서 24/0(명기/암기)에서 청색광의 비율이 가장 높은 RB 광질에서 엽면적이 가장 적고 청색광의 비율이 적은 RW 광질에서 엽면적이 유의적으로 증가한 결과와 일치하였다. 또한 광주기를 16시간 이하로 조사하였을 때 썸바귀의 엽면적에서 유의적인 차이가 없는 것으로 보아 광조사 시간이 24/0(명기/암기)보다 짧아 청색광이 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.

잎끝마름 발생률 역시 명기가 길어질수록 증가하는 경향을 보였으며, 24/0(명기/암기) 광주기 처리에서 31.1–49.2%로 높게 나타났다. 명기가 길면 누적 광량의 증가로 썸바귀의 양적인 생육은 우수하였으나, 잎끝마름 발생률이 증가하여 상품성이 낮아졌다. 이것은 Goto and Takakura(2003)의 보고와 같이 명기의 지속으로 인하여 식물의 팽압이 빠르게 증가하고 이로 인해

칼슘부족으로 약화된 세포벽 조직 붕괴의 결과로 잎끝마름이 발생하였으며, 이러한 이유로 본 연구의 24/0(명기/암기)에서 높은 잎끝마름 발생률이 나타난 것으로 판단된다. Collier and Tibbitts(1982)의 연구에서 암기 동안의 근압이 잎의 칼슘함량을 증가시켜 잎끝마름 발생을 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 그러므로 24/0(명기/암기)에서 잎끝마름 발생률이 가장 높았던 것은 암기가 없었기 때문이며, 식물체의 건강한 생육을 위해 암기가 중요한 요인이라고 판단된다.

밀폐형 식물 생산시스템 내에서 광질과 광주기 처리에 따른 썸바귀의 엽록소 값의 변화는 광주기에 따라 뚜렷한 차이를 보였다(Fig. 3). 썸바귀의 엽록소 값은 생육 후반으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 16/8(명기/암기) 광주기 처리구에서 가

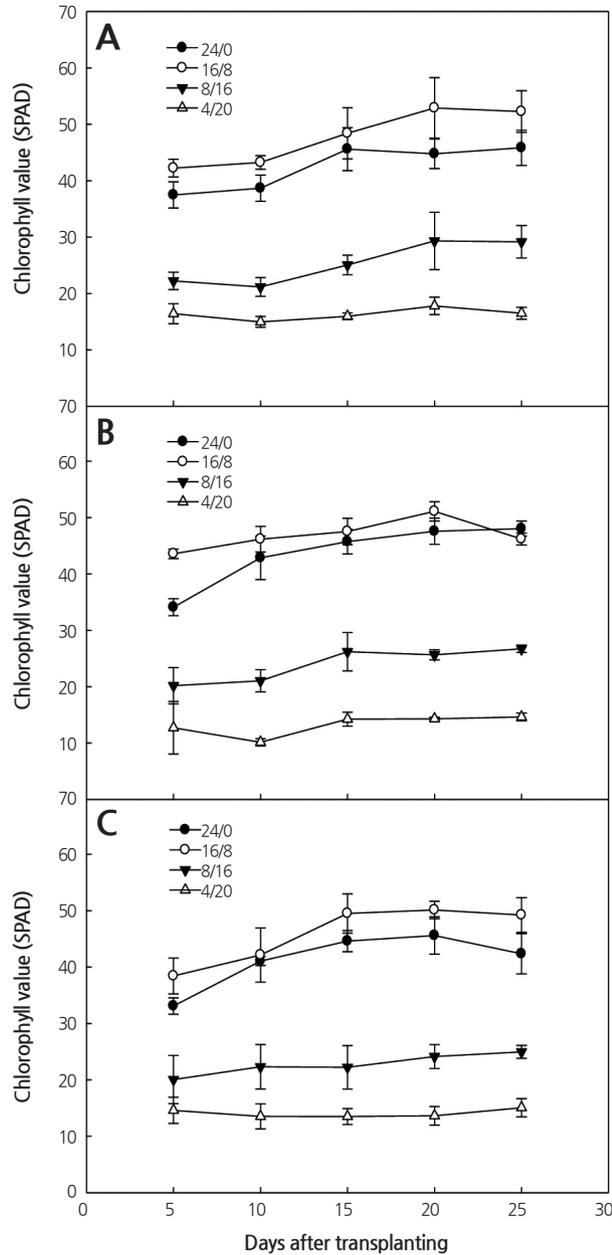


Fig. 3. Changes in chlorophyll value (SPAD) as affected by light quality and photoperiod of sowthistle grown in a closed-type plant production system. (A) RBW (red:blue:white = 8:1:1), (B) RW (red:white = 3:7), and (C) RB (red:blue = 8:2). Vertical bars represent the standard error (n = 9).

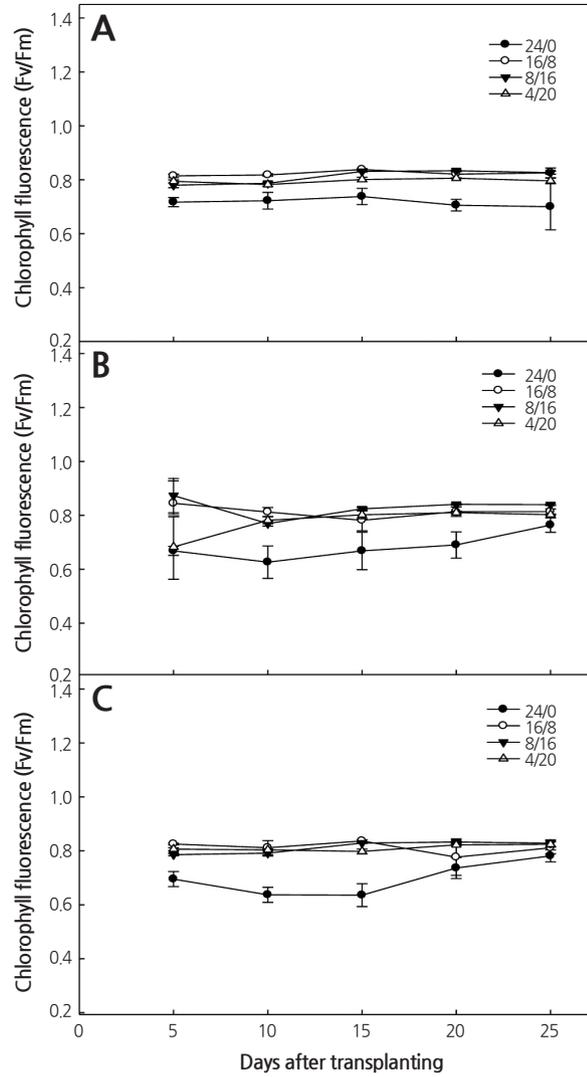


Fig. 4. Changes in chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) as affected by light quality and photoperiod of sowthistle grown in a closed-type plant production system. (A) RBW (red:blue:white = 8:1:1), (B) RW (red:white = 3:7), and (C) RB (red:blue = 8:2). Vertical bars represent the standard error (n = 3).

장 높은 엽록소 값을 나타냈고, 광질 처리에서는 유의적인 차이는 없었다. 본 결과는 썸바귀 재배시 엽록소 값을 증가시키기 위해서는 16/8(명기/암기) 광주기가 적절하며, 8시간 이하의 명기에서는 엽록소 값이 현저히 떨어진다는 것을 보여준다.

엽록소 형광분석은 식물의 생리상태를 비파괴적으로 분석할 수 있는 방법으로 여러 가지 환경 스트레스가 식물의 광합성 조직에 미치는 영향을 빠르고 쉽게 분석할 수 있고, 식물의 생리적 반응이나 내성등과 관련한 광합성 기구구조 및 기능의 변화를 정량적으로 제시할 수 있으며, 수치가 높을수록 효율적인 광합성을 하여 식물체내에 당을 쉽게 전달한다고 보고되었다 (Calatayud et al., 2006). 식물이 극심한 스트레스를 받으면 PS II의 활성이 감소되어 광저해(Photoinhibition)로 인해 Fv/Fm 값이 감소한다(Demmig and Björkman, 1987; Long et al., 1994; Schreiber and Bilger, 1993). 건강한 식물체에서는 Fv/Fm 값이 0.83 정도의 값을 나타낸다고 보고되어 있다(Choi et al., 2004). Fig. 4에서 나타낸 엽록소 형광 값(Fv/Fm)은 24/0(명기/암기) 광주기 처리가 모든 광질 처리에서 유의적으로 낮게 나타났고, 24/0(명기/암기)처리를 제외한 광주기 처리에서는 유의적인 차이가 없었으며, 광질에 따른 차이는 없었다. 결과적으로 모든 광질 처리에서 명기를 24시간으로 처리하였을 때 정식 후 25일 동안 지속적으로 0.8 이하의 값을 보여 썸바귀가 스트레스를 받았다고 판단되며, 이는 잎끝마름 발생의 결과와 같이 암기가 없어

식물의 조직이 붕괴되어 씬바귀의 잎끝이 마르는 등의 생리장해 현상을 나타낸 것으로 보인다.

4종류의 광주기와 3종류의 광질 처리에서 씬바귀의 생육은 광질에 비하여 광주기에 따른 효과가 더 컸다. 일중 명기의 길이가 길어짐에 따라 생육이 증가하는 경향을 보였으나, 잎끝마름의 발생이 증가하고 엽록소 형광 값이 낮게 나타나 스트레스 지수가 높았으며, 특히 16/8(명기/암기) 광주기 보다 24/0(명기/암기) 광주기에서 엽록소 함량이 낮게 나타난 결과를 보였다. Sicora et al.(2003)은 식물이 광에 노출되는 시간이 증가할수록 광합성에 더욱 영향을 준다고 밝혀 본 연구에서 씬바귀는 명기가 길수록 광합성 시간이 길어져 생육 증진을 위한 동화산물의 합성이 늘어났다고 판단되어, 광주기가 씬바귀의 생육 조절에 배제할 수 없는 요인이라는 것을 알 수 있었다. 또한, 뿌리신장은 적색광의 영향을 받았으며, 씬바귀 뿌리에서 주근의 발달을 위해서 세밀한 광질과 광주기의 범위를 적용한 추가적인 연구가 필요하다. 생체중과 건물중은 RW 광질 처리에서 높게 나타났고, 엽면적과 엽수는 청색광에 의해서 저해되었다.

결과적으로 씬바귀 재배를 위한 밀폐형 식물공장 시스템내의 광질과 광주기에 대한 연구에서 명기가 가장 긴 24/0(명기/암기)에서 생육이 유의적으로 우수한 경향을 보였으나 잎끝마름 발생률이 높고 엽록소형광 값이 낮게 나타났으며, 전기사용량을 고려한 경제적인 측면에서 16/8(명기/암기)의 광주기 처리와 생육이 비교적 우수하였던 RW 광질을 사용한다면 씬바귀의 생산량을 높일 수 있을 것이라 판단된다. 향후 광주기와 광질에 따른 씬바귀의 주근 발생에 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

초 록

본 연구는 밀폐형 식물생산시스템 내에서 광질과 광주기에 따른 씬바귀(*Ixeris dentata* Nakai)의 생육 증진을 위한 적정 생육환경 조건을 구명하고자 수행되었다. 씬바귀 종자는 240구 플러그 트레이에 파종하였고, 밀폐형 식물생산시스템에서 LED(R:B:W = 8:1:1)하에서 24시간 광주기로 3일간 발아 하였다. 묘는 $230\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 광도의 3종류의 광질(R:B:W = 8:1:1, R:W = 3:7, R:B = 8:2)과 4종류의 광주기[24/0, 16/8, 8/16, 4/20 (명기/암기)]하에서 20cm×20cm의 재식밀도로 난괴법으로 배치 하였다. 씬바귀는 정식 후 온도 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $70 \pm 10\%$ 조건에서 40일 동안 재배 되었다. 관수는 담액식양액 재순환 방식을 이용하였다(pH 7.0, EC $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$). 24/0(명기/암기)의 광주기 처리와 RW 광질 처리에서 지상부와 지하부의 생체중과 건물중, 엽장, 엽면적은 가장 우수했다. 16/8(명기/암기)의 광주기 처리와 RB 광질에서 엽수는 가장 많았으며, 잎 끝마름 발생률은 24/0(명기/암기)의 광주기 처리에서 다른 처리보다 높게 나타났다. 엽록소 값은 16/8(명기/암기) 광주기 처리에서 가장 높았으며 광질에 따른 차이는 없었다. 엽록소형광은 24/0(명기/암기) 광주기 처리에서 다른 처리구에 비해 현저히 낮은 값을 보였다. 결과적으로, 밀폐형 식물공장 시스템 안에서 씬바귀 재배의 경제적인 실현가능성과 생산적인 측면에서 16/8(명기/암기) 광주기 처리, RW의 광질에서 씬바귀를 재배하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

추가주요어: 엽록소형광, 발광다이오드, 잎끝마름, 정식, T/R률

Literature Cited

- Calatayud, A., D. Roca, and P.F. Martinez. 2006. Spatial-temporal variations in rose leaves under water stress conditions studied by chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol. Biochem.* 44:564-573.
- Chatterton, N.J. and J.E. Silvius. 1979. Photosynthate partitioning into starch in soybean leaves I. Effect of photoperiod versus photosynthetic period duration. *Plant Physiol.* 64:749-753.
- Choi, Y.H., J.K. Kwon, J.H. Lee, N.J. Kang, M.W. Cho, and J.S. Kang. 2004. Effect of night and daytime temperatures on growth and yield of paprika 'Fiesta' and 'Jubilee'. *J. Bio-Environ. Control* 13:226-232.
- Collier, G.F. and T.W. Tibbitts. 1982. Tipburn of lettuce. *Hortic. Rev.* 4:49-65.
- Demmig, B and O. Björkman. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171:171-184.

- Dougher, T.A. and B. Bugbee. 2004. Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129:467-472.
- Genty, B., J.M. Briantais, and N.R. Baker. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim. Biophys. Acta* 990:87-92.
- Goto, E. and T. Takakura. 2003. Reduction of lettuce tipburn by shortening day/night cycle. *J. Agric. Meteorol.* 59:219-225.
- Hayashi, M., T. Kokai, M. Tateno, K. Fujiwara, and Y. Kitaya. 1993. Effect of the lighting cycle on the growth and morphology of potato plantlets in vitro under photomixotrophic culture conditions. *Environ. Control Biol.* 31:169-175.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, D.B. Lee, and C.H. Chun. 2009. Light quality affects growth, net photosynthetic rate, and ethylene production of ageratum, African marigold, and salvia seedling. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 27:189-193.
- Im, J.U., Y.C. Yoon, K.W. Soe, K.H. Kim, A.K. Moon, and H.T. Kim. 2013. Effect of LED light wavelength on chrysanthemum growth. *Protected Hortic. Plant Fac.* 1:49-54.
- Ishii, M., T. Ito, T. Maruo, K. Suzuki, and K. Matsuo. 1995. Plant growth and physiological characters of lettuce plant grown under artificial light of different irradiating cycles. *Environ. Control Biol.* 33:143-149.
- Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S. Hashida, and T. Yoshihara. 2010. Blue light emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience* 45:1809-1814.
- Lee, J.S. and Y.H. Kim. 2014. Growth and anthocyanins of lettuce grown under red or blue light-emitting diodes with distinct peak wavelength. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 32:330-339.
- Long, S.P., S. Humphries, and P.G. Ealkowski. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu. Rev. Plant Biol.* 45:633-662.
- Masamoto, T. 2007. *Plant Factory*. Ohmsha and World Science, Chiyoda-ku, Tokyo.
- Ohashi-Kaneko, K., M. Takase, N. Kon, K. Fujiwara, and K. Kurata. 2007. Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environ. Control Biol.* 45:189-198.
- Park, J.E., Y.G. Park, B.R. Jeong, and S.J. Hwang. 2013. Growth of lettuce in closed-type plant production system as affected by light intensity and photoperiod under influence of white LED light. *Protected Hortic. Plant Fac.* 3:228-233.
- Qin, L., S. Guo, W. Ai, and Y. Tang. 2008. Selection of candidate salad vegetables for controlled ecological life support system. *Adv. Space Res.* 41:768-772.
- Schreiber, U. and W. Bilger. 1993. Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the past years in retrospect, p. 151-173. In: H.D. Behnke, U. Lfittge, K. Esser, J.W. Kadereit, and M. Runge (eds.). *Progress in botany/Fortschritte der Botanik*. Springer, Berlin Heidelberg N.Y.
- Seo, J.T. 2011. Review of wild herbs and vegetables industry in Korea. *Food Preservation Processing Ind.* Korean Soc. Food Preservation 10:3-8.
- Shin, Y.S., M.J. Lee, E.S. Lee, J.H. Ahn, J.H. Lim, H.J. Kim, H.W. Park, Y.G. Um, S.D. Park, and J.H. Chai. 2012. Effect of LEDs (Light Emitting Diodes) irradiation on growth and mineral absorption of lettuce (*Lactuca sativa* L. 'Lollo Rosa'). *J. Bio-Environ. Control* 21:180-185.
- Sicora, C., M. Zoltan, and V. Imre. 2003. The interaction of visible and UV-B light during photodamage and repair of photosystem II. *Photosynth. Res.* 75:127-137.
- Son, J.E. 1997. Development of plant factory in Korean agriculture. *Hortic. World* 2:10-11.
- Sonneveld, C. and N. Straver. 1994. *Nutrient solutions for vegetables and flower grow in water on substrates*. 8th ed. Proefstation voor tuinbouw onder glas te Naaldwijk. no. 8, Holland. p. 45.