

과제구분	기본	수행시기		전반기	
		연구분야 (code)	수행기간	연구실	책임자
연구과제 및 세부과제명					
식물공장 상용화 및 연중생산기술 개발		채 소	'19~	농업기술원 원예연구과	정윤경
식물공장 생산 과채류 육묘 활용기술 개발		채 소	'19~'21	농업기술원 원예연구과	정윤경
색인용어	식물공장, 과채류, 묘소질				

## ABSTRACT

In order to increase the utilization of the plant cultivation system developed and installed in a completely enclosed plant factory in the GARES was conducted for 3 years(2019–2021)using this cultivation system to contribute to increasing the usability by developing an LED light source suitable for the production of fruit and vegetable seedlings such as tomatoes, as well as selecting of the intensity of light and stable cultivation technology. As a result of growing domestic tomato varieties 'Daltanyang' and 'Toscana' produced in plant factory for 35 days after sowing by treatment with LED light source, both cultivars were treated with red:blue(1:1), which are important factors for seedling quality, such as growth and stem-hardness was the best.

Tomato varieties 'Tori' and 'Dafnis' produced in plant factory were treated under LED Red:Blue(1:1) light source at 4 levels of light conditions such as  $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . and seeded for 35 days after sowing. Both varieties showed improved leaf area and chlorophyll at light intensity of  $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  or higher. The plant height was short and the seedling characteristics of stem diameter and hardness were the best in the  $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . As a result of investigated the seedling by treating the photoperiod equally between light time and dark time temperature differences for 12h/12h, the higher the DIF, the lower the leaf area index, leaf area ratio, TR rate and chlorophyll fluorescence, but the highest seedling compactness. And a result of seedling for 28 ~ 35 days from harvest in the treatment with a high temperature difference(DIF) of  $22^{\circ}\text{C}/16^{\circ}\text{C}$ (DIF  $\pm 6$ ) or more in the light time, the plant height was short and the leaf area decreased, but the characteristics of stem-diameter, stem-hardness, and fresh weights of seedlings were good.

**Key word** : DIF, LED, Plant factory, Seedling

## 1. 연구목표

우리나라의 육묘산업은 90년대 초부터 유리온실의 보급에 힘입어 시작되었고, 현재는 약 200여개소에서 토마토, 고추, 파프리카, 오이 등의 과채류를 위주로 매년 약5억본 이상이 공급되고 있는 것으로 추정하고 있다(MAFRA, 2019). 특히, 공정육묘장을 활용한 전문화와 분업화로 지속적으로 성장하고 있으며, 노동력 절감, 종자사용량 절감 및 농지 활용도 향상 등을 위해 국내 업체류 및 과채류 농가의 구입묘 이용은 2013년도 2,420억원에서 2022년도에는 4,500억원으로 1.8배 증가될 것으로 예측하고 있다. 2014년 재배농가의 구입묘 이용현황 조사에 의하면 토마토 74%, 수박 72%, 오이 65%, 가지 63%, 고추 56%로 업체류 보다는 과채류 묘 구입비중이 높았다(Park 등, 2014). 우리나라 공정육묘 시설형태는 주로 유리온실과 비닐하우스이다. 이런 시설에서의 육묘는 외부 환경요인의 영향을 크게 받기 때문에 계절, 날씨 및 육묘기술에 따라 생산묘의 품질이 달라진다. 특히, 묘의 수요가 많은 가을재배 경우 고온기인 여름에 육묘를 하기 때문에 냉방 설비가 추가적으로 필요하거나, 고랭지 육묘장을 이용할 수 있지만 고품질의 규격묘 생산에는 한계가 발생하고 있다. 이에, 경기도농업기술원에서는 형광등을 이용하여 연중 균일한 재배환경에서 과채류 육묘와 업체류 까지 생산할 수 있는 밀폐형 식물공장용 재배시스템을 개발하기에 이르렀다(Park et al., 2016). 이에, 본 연구는 3년간(2019~2021) 이 재배시스템을 활용하여 토마토, 파프리카 등 과채류 육묘 생산에 적합한 LED 광원과 광량구명 및 안정적인 재배기술을 개발하여 활용성을 증가시키는데 기여하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### <시험1> 토마토 적합 광원 선발

경기도농업기술원에서 개발한 완전밀폐형 식물 재배시스템의 활용성을 향상시키기 위해 토마토를 중심으로 한 육묘시험을 수행하였다. 시판중인 국내육성 토마토종자(*Solanum lycopersicum* L.) ‘달타냥’, ‘토스카나’(Burim Farm, Korea)를 최아 4일 → 파종 후 이식 10일 → 스펀지 정식 후 14일~21일 동안 식물공장내 육묘장과 재배시스템을 활용하였다. 14일간 육묘장에서 재배된 토마토 묘를 재배시스템에 이식 한 후 온도는 22/18℃(주/야), 광주기는 주야 14/10h, 상대습도는 60~70%수준으로 유지하였다. 표 1과 같이 LED의 적색과 청색의 칩비율을 달리하였고, 형광등을 대조구로 두어 4수준으로 세팅한 후 이식 후부터 수확하는 날까지 광조사를 해주었다. 광질은 분광분석계(MK-350S, UPRtek Co., Inc., Taiwan)를 이용하여 380~780nm 단위별로 측정하였다. 야마자키 토마토 양액으로 매일 10분간격으로 공급과 배액이 되도록 하였으며, 양액농도는 1.2~1.8ds·m<sup>-1</sup>수준으로 묘 생육단계에 따라 다르게 공급하였다. 대조구로 한국보급형 유리온실 벤치위에 플러그 트레이에(Bumnong, Korea)일반 원예용 상토(BM2, Berger Group Ltd., Canada)를 충전하여 최아시킨 종자를 플러그 중앙부위에 파종과 복토를 한 후 야마자키 양액으로 1일 2회씩 두상관수 하였다. 최아된 종자의 파종 일로부터 25일과 32일동안 육묘된 식물체를 완전 임의법으로 10주씩 샘플링하여 생육 조사를 수행하였으며, 조사 후 시료를 78℃로 설정된 열풍건조기(SIN-1100, SINIL-science, Korea)에서 3일이상 건조한 건물중을 측정하였다. 초장은 지제부로부터 생장점까지를 측정하였고, 엽면적은 엽면적 측정기

(LI-3100c, LI-COR Co., Inc., USA)를 이용 하였으며, 기타 묘소질은 농사시험 연구기준(RDA, 2012)에 의거 조사하였다. 이식 후 육묘중에는 매주 묘의 생육조사와 3주차 수확묘의 파괴조사를 통해 근권부까지 수집된 데이터를 SAS프로그램(Statistical analysis system ver.9.2, USA)를 이용하여 산술 통계값들을 얻었다.

표 1. 인공광원 종류 및 스펙트럼

처리	인공광원	조명색
T1	LED (Red:Blue=1:1)	노랑
T2	LED (Red:Blue=3:1)	적색
T3	LED (Red:Blue=1:3)	파랑
T4(대조구)	형광등	흰색

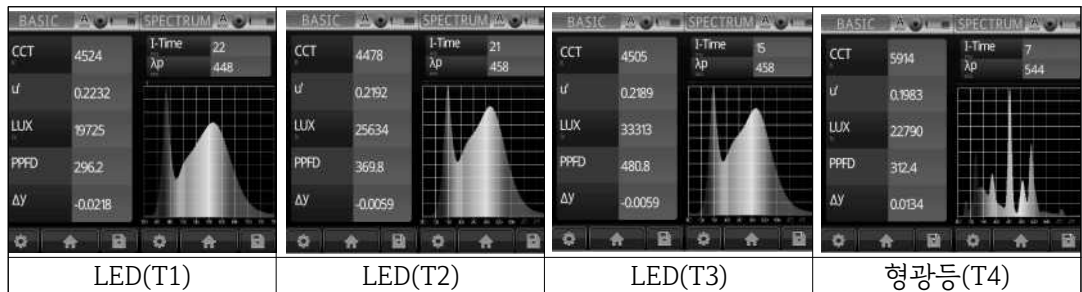
LED(R:B=1:1, T1)	LED(R:B=3:1, T2)	LED(R:B=1:3, T3)	FL-lamp(T4)

<시험 2> 토마토 육묘용 적합 광량 선발

해외육성 토마토종자(*Solanum lycopersicum* L.) ‘토리’와 ‘데프니스’, (Syngenta, China)를 사용하였으며, <시험1>에서 선발된 LED(Red:Blue=1:1)로 세팅한 후 광합성 유효광량자속 밀도 (Photosynthetic photon flux density, PPF) 150, 250, 350, 450  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  처리로 구분하여 표 2와 같이 수행하였으며, 처리별 광량은 분광광도계(LI-250A, LI-COR Co., Inc., USA)를 이용하여 광원으로부터 수직방향으로 토마토 묘의 생장점 위치에서 수평 상태로 놓고 측정하였다. 토마토 종자의 최아와 생육(14일), 이식부터 수확일까지 명기를 14시간씩 광을 조사해 주었다. 기타 시험처리 조건은 <시험1>과 동일한 방법으로 수행하였다.

표 2. 인공광원의 광합성 유효광량자속 밀도 및 스펙트럼

처리	세팅값	PPFD( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
T1	LED 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	296.2
T2	LED 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	369.8
T3	LED 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	480.8
T4(대조구)	FL 278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	312.4



### <시험 3> 토마토 육묘 정식전 경화조건 구명

토마토 종자(*Solanum lycopersicum* L. '데프니스'(Syngenta, China))를 사용하여 생산된 육묘를 incubator(MIR-253, SANYO, Japan)와 growth chamber(MLR-352H, PHC Co., Japan)를 사용하여 1차 시험은 30°C, 40°C, 50°C로 각각 세팅한 후 6h, 12h동안 30주씩 처리하였으며, 2차 시험은 30°C와 35°C 온도에 6h, 12h와 24h를 추가하여 식물공장 생산묘의 온도별 처리직 후 처리별로 생존묘만 한국보급형 유리온실내 벤치위에 원예용 상토(BM2, Burger Group Ltd., Canada)를 충전한 직경 20cm 플라스틱 사각화분(Namyong Chemi. Co., Korea)에 심고 화분마다 점적핀을 2개씩 포설하여 야마자키 토마토 전용양액을 생육 단계별로 조절해 공급하였다. 온도처리별 전후의 토마토 묘소질은 처리별로 5주의 식물체에 대하여 정식 1개월 후부터 2주간격으로 조사하였으며, 1화방부터 6화방까지의 고온처리에 의한 화방별 착화절위 변화 및 화아수, 착과수 등은 매주 농사시험 연구기준(RDA, 2012)에 의거 조사하였다.

### <시험 4> 육묘 주야간온도차(DIF)효과 구명

<시험 3>과 동일한 품종으로 주야간온도차(DIF)를 인공광을 조사하는 명기동안은 식물공장내 온도를 22°C으로, 암기기간 동안은 온도를 15°C, 16°C, 17°C, 18°C로 하여 온도차이를 두었다. 밀폐형 식물공장시설에서의 인공광을 통한 명기와 암기 조절은 1차 시험은 12h/12h 2차 시험은 10h/14h, 14h/10h으로 구분하여 수행하였다. 이 시험의 인공광원과 광량 조건은 <시험 1>과 <시험 2>에서 선발된 조건을 적용하였다. 내부온도와 상대습도는 고분자박막 임피던스식 계측기(HoBo MX4401-01, ONSET, USA)를 재배단별로 50cm간격으로 토마토 묘가 식재되어 있는 포맥스 베드위에 포설한 후 무선으로 데이터를 수집하여

사용하였다. 이식 후 주차별 묘소질 조사는 <시험1>과 동일한 방법으로 하였다. DIF처리에 따른 온도 처리 스트레스를 측정하기 위한 엽록소 형광분석(Origin Jump Intermediate Peak, OJIP)은 생장점 아래 중간부위 앞에 leaf dark clip을 물려서 15분간 암처리 후 휴대용 엽록소형광측정기(FP-100, Photon System Instruments, CzechRepublic)을 이용하여 묘를 이식 후 1주차부터 3주차까지 매주 동일한 시간대에 측정하였다. JIP 분석결과를 통해 생체 물리학적 변수를 산출하여 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### <시험1> 토마토 육묘용 적합 광원선발

밀폐형 식물공장내에서 파종 35일후의 토마토 ‘달타냥’과 ‘토스카나’ 품종의 묘생육은 두 품종 모두 red:blue(1:1)처리구에서 표 3과 그림 1에서와 같이 엽면적, 생체중이 양호하고, 묘소질의 중요한 요인인 줄기직경과 경도가 우수하였다. 고추, 상추, 토마토는 far-red광에서 우량묘가 생산(Eun et al., 2010)된다는 보고와 달리 적색과 청색광원이 유사한 비율로 구성된 처리구에서 형광등이나 적색과 청색이 각각 3배 이상 많이 포설된 처리구보다 우수한 토마토묘가 생산될 수 있는 것으로 나타났다. 토마토 품종별로는 묘별 생육차이를 보였지만 광원처리에 의한 전반적인 생육특성에는 동일한 경향을 보였다.

표 3. LED 광원별 파종 35일후 묘 생육현황

광원	품종별	초장 (cm)	엽수 (매주)	엽적 (cm)	줄 직경 (mm)	화방수 (개주)	생체중 (g/주)	건물중 (g/주)
RB=1:1	달타냥	33.4±3.6b <sup>↓</sup>	8.8±0.3	51.54±8.7b	8.6±0.7a	36	44.0±8.8a	3.3±0.5a
	토스카나	44.2±1.4a	9.5±0.4	67.55±5.24a	9.0±1.9a	25	59.0±6.3a	4.8±1.6a
RB=3:1	달타냥	33.9±5.1ab	8.0±0.9	37.57±12.3c	7.4±1.0b	13	26.9±11.5b	2.2±0.7b
	토스카나	43.7±3.3a	8.3±0.6	37.59±9.8c	6.7±1.7b	09	24.9±7.6c	3.0±2.6b
RB=1:3	달타냥	25.7±6.2b	7.6±0.7	29.22±9.2d	6.0±0.9c	01	18.3±5.8c	1.4±0.6c
	토스카나	33.4±2.9b	7.7±0.4	31.73±2.84c	6.3±0.4c	11	17.6±2.1d	1.9±0.6c
형광등 (대조)	달타냥	39.7±9.2a	8.9±0.3	62.09±7.93a	8.9±0.5a	29	46.8±8.8a	2.9±0.5ab
	토스카나	45.7±7.4a	8.7±1.0	45.79±17.31b	7.6±1.7b	14	30.0±15.6b	2.7±1.7b

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

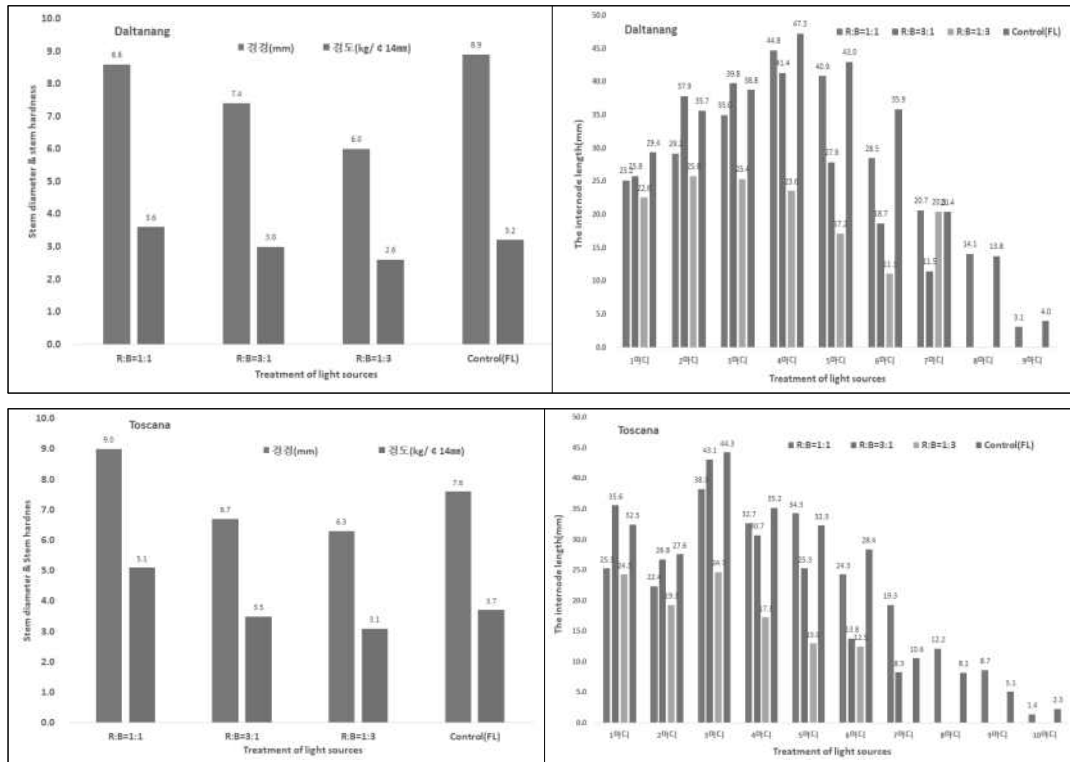


그림 1. LED광원별 토마토 묘의 줄기직경과 경도

육묘의 줄기직경이 클수록 좋은 묘지만, 줄기의 굵기 뿐만 아니라 묘의 단위 길이당 건물중과 같은 충실도 또한 중요한 요소이다(Lim et al., 1997). 이에, LED광원처리에 따른 토마토 육묘의 지상부 건중을 초장으로 나누어 묘의 충실도를 분석한 결과(표 4), red:blue(1:1)처리구에서 ‘달타냥’0.98, ‘토스카나’는 1.08로 다른 처리구에 비해 양호하였다.

표 4. 광원처리별 묘 충실도(shoot dry weight/plant height)

광원처리	달타냥(mg/cm)	토스카나(mg/cm)
R:B=1:1	0.98	1.08
R:B=3:1	0.65	0.69
R:B=1:3	0.56	0.55
형광등(대조)	0.73	0.58

식물공장에서 LED광원별로 처리하여 생산된 ‘달타냥’ 품종을 유리온실내 포장에 정식 120일 후에 생육특성을 조사한 결과는 표 5와 같았다. Red:blue(1:1)처리구에서 생산되었던 묘가

초장, 엽수, 엽면적, 생체중, 줄기직경도 가장 우수한 경향을 보였다. Red:blue(1:3)처리구는 대조구인 형광등처리구보다 육묘뿐만 아니라 생육특성에서도 미흡한 경향을 보였다. 토마토가 발아되어 배축이 성장시에는 적색광이 청색광보다는 많이 포함된 광원일수록 묘의 성장에 효과적인 것으로 판단되었다.

표 5. ‘달타냥’ 품종의 묘 정식 120일 후의 생육특성

광원처리	초장 (cm)	엽수 (매/주)	줄기직경 (mm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	마디수 (개)	절간장 (cm)	생체중 (g/주)	SPAD 값
R:B=1:1	308.1 ±37.9a <sup>↓</sup>	42.2 ±2.6a	11.5 ±1.2a	13,590.5 ±4,039.5a	41.2 ±3.5a	13.3 ±2.1 a	1,828.2 ±595.0a	53.5 ±4.6b
R:B=3:1	300.9 ±35.4a	39.9 ±2.3a	9.2 ±1.7b	12,216.7 ±1,710.3ab	39.9 ±3.6ab	12.0 ±3.3ab	1,653.1 ±274.5 b	52.2 ±4.2b
R:B=1:3	280.6 ±29.2b	40.7 ±3.9a	8.6 ±0.9bc	11,778.0 ±2,160.8bc	39.7 ±3.0ab	11.6 ±1.6 b	1,630.6 ±339.3 b	58.0 ±4.7a
형광등 (대조)	265.2 ±30.6c	39.2 ±2.2a	9.1 ±0.6 b	9,774.3 ±1,413.3d	37.5 ±1.7b	11.8 ±1.8 b	1,432.4 ±573.9c	56.8 ±4.9a

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

정식 120일 후 ‘달타냥’의 상품화율 80% 이상인 6화방 수확과의 과실특성은 표 6과 같다. red:blue(1:1)처리구에서 생산되었던 묘의 과중과 수량성도 가장 우수한 편이었으나, 전체처리구에서 배꼽씩은 과, 기형과 발생이 많아 상품화율이 저조한 경향을 보였다. 국산육성 토마토 품종의 경우 신품종 개발시에는 토경재배에 준하여 개발된 것으로 본 시험에서는 최근 국내외 트렌드인 수경재배로 검증한 결과로 양분공급체계의 정밀함이 적용되지 못해 저조한 과실특성을 보인것으로 판단되었다.

표 6. 광원별 ‘달타냥’ 품종 과실특성

광원처리	과장 (cm)	과폭 (cm)	평균과중 (g/개)	상품수량 (g/주)	당도 (.Brix, A)	산도 (%, B)	당산비 (A/B)
R:B=1:1	5.5±0.6	7.4±1.2	192.4±66.7a <sup>↓</sup>	2,107a	5.3±0.6	1.5±0.8	3.5
R:B=3:1	5.4±0.7	7.5±1.3	190.5±79.5a	1,927b	5.1±0.7	1.5±0.9	3.4
R:B=1:3	5.1±0.7	6.8±1.1	167.4±64.4c	1,678c	4.9±0.7	1.6±0.8	3.1
형광등(대조)	5.2±0.6	6.9±1.0	169.0±65.1c	1,878b	4.9±0.8	1.7±0.8	2.9

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

식물공장에서 광원별로 생산된 ‘토스카나’ 품종을 유리온실 시험포장에 정식 70일후 생육특

성을 조사한 결과는 표 7과 같았다. Red:blue(1:1)처리구에서 생산된 토마토 묘가 초장, 엽수, 엽면적, 생체중, 줄기직경의 생육특성은 가장 우수한 경향을 보였다.

Red:blue(1:3)처리구는 대조구인 형광등 처리구보다 육묘 뿐만 아니라 생육특성에서도 미흡하였다. 이와 같이 육묘기간 중에 광원을 달리했을 때 묘소질 뿐만 아니라 정식 후의 성장량, 착과량 등에 있어 차이를 보이고 있음이 확인되었다.

표 7. ‘토스카나’ 품종의 묘 정식 70일 후 생육특성

광 원	초장(cm)	줄기직경(mm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	절간장(cm)	SPAD값
R:B=1:1	165.3±11.7	10.9±1.0a <sup>↓</sup>	45.2±3.1	39.3±3.9	9.6±0.6	53.0±3.0
R:B=3:1	164.7±37.1	10.5±2.2a	44.1±0.8	36.7±1.6	9.9±0.8	51.7±2.4
R:B=1:3	162.6±23.9	9.1±1.2b	44.4±1.9	36.8±1.1	9.4±0.7	50.8±5.1
형광등(대조)	168.6±26.1	9.7±0.5ab	45.2±2.2	37.9±4.1	9.8±0.7	51.2±2.5

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

또한, LED 광원처리에 따른 두 품종의 화방별 착과수를 조사한 결과는 그림 2와 같이 ‘달타냥’ 품종이 ‘토스카나’ 보다는 화방별 착과수가 1~2개 많이 확보되었다. 육묘 특성과 생육특성이 우수했던 ‘달타냥’ 품종이 생산성도 우수한 경향을 보여 주었으며 육묘시 LED 광원은 적색과 청색 비율이 동일하게 구성되고 가시광선대와 같이 전파장대가 포설되어 있거나 청색 파장보다는 적색 파장이 많이 포설된 LED 광원이 토마토 육묘에 적합하였다. 겨울철 청색과 적색 혼합광에서 시클라멘 개화소요일수 단축, 균일한 개화, 분화품질 향상과 에너지 절감까지 가능하다는 보고(Baek, 2003; Shin et al., 2010)와 적색 파장대의 광이 풍부한 형광등을 사용하여 광처리한 고추묘의 초장이 광처리를 하지 않은 대조구에 비해 작았다는 보고와도 일치하였다.



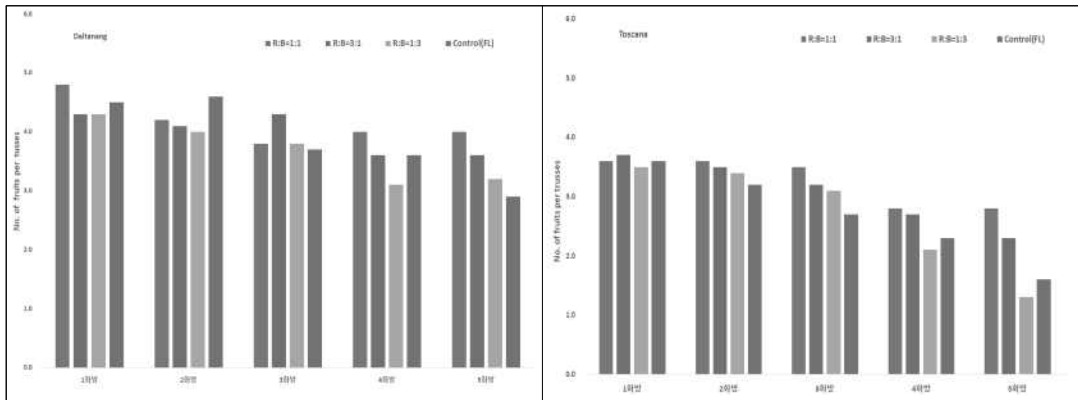


그림 2. LED 광원처리에 따른 토마토 묘 정식 70일 후 화방별 착과수

### <시험 2> 토마토 육묘용 적합 광량 선발

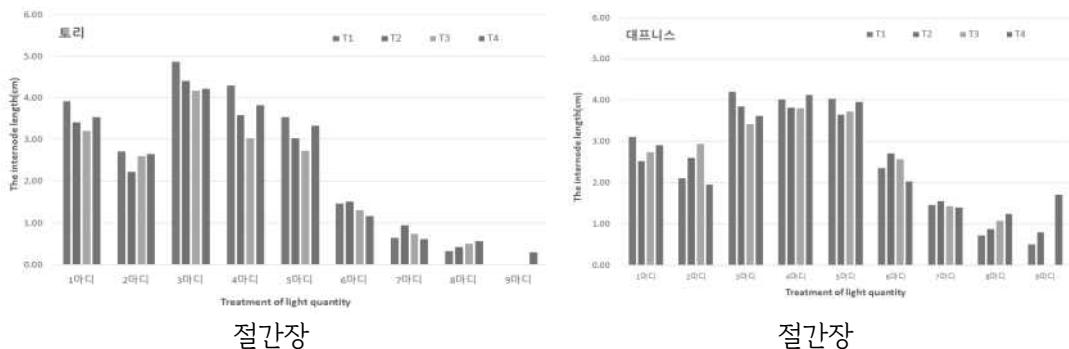
<시험 1>에서 선발된 LED(Red:blue=1:1)광원의 광량을 달리하여 수준을 처리한 결과 토마토 종자의 최아와 발아단계를 지나 11일간 육묘하여 밀폐형 식물공장 재배베드에 이식한 후 21일 묘의 생육조사 결과는 표 8과 같았다. 해외 수출용 품종인 ‘토리’와 ‘데프니스’ 두 품종 모두  $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  과  $450\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  두 처리구에서 초장은 짧아지고 줄기직경은 굵어져 생체중도 증가되어 건실한 묘를 생산할 수 있음을 보여 주었다. Kim & Park(2002)의 보고에 의하면, 인공광원하에서 오이 플러그 육묘시 광량이 증가함에 따라 광합성, 건물중, 엽수 등이 증가한다고 하였으며, 폐쇄형 육묘시스템내 형광등 인공광원 개수 증가로 최대 광량  $313\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  처리하고 플러그트레이 규격을 50공으로 수행시 처리된 광량조건보다 더 증가시키면 생육 및 품질이 향상된다는 Jang 등(2014)보고와도 유사한 경향으로 식물공장 활용 토마토 육묘생산시 광량  $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 플러그트레이 32공과 동일한 규격으로 처리한 본 시험에서는 더 우수한 육묘가 생산되었다.

표 8. LED 광량별 토마토 파종 35일 후의 묘 생육현황(LED Red:blue=1:1)

광량	품종	초장 (cm)	엽수 (매/주)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	줄기직경 (mm)	화방수 (개/주)	생체중 (g/주)	SPAD 값
250 $\mu$ mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (T1)	토리	29.6a <sup>↓</sup>	8.5	451.5b	7.6	3.2	28.3b	41.7
	데프니스	31.0a	8.8	444.6c	7.4	2.7	24.6c	36.2
350 $\mu$ mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (T2)	토리	27.5ab	8.9	501.1a	8.3	3.2	31.9a	41.2
	데프니스	29.4a	9.3	518.7a	8.1	3.4	30.4a	38.5
450 $\mu$ mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (T3)	토리	25.8b	8.6	496.1a	8.0	3.5	32.4a	40.5
	데프니스	30.5a	9.0	513.6a	8.1	3.5	31.5a	38.9
278 $\mu$ mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> (FL, T4)	토리	24.9b	8.1	404.4c	6.9	2.6	21.9c	39.9
	데프니스	31.9a	8.8	490.4b	7.3	2.5	26.1b	39.2

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

파종 35일 후 ‘토리’와 ‘데프니스’두 품종 모두 250 $\mu$ mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>(T1)와 형광등(T4) 처리구에서 마디별 절간장이 가장 길게 자라 최종적으로 수확묘 전체의 초장이 길어지는 결과(그림 3)가 되었으며, 경도는 ‘데프니스’품종이 ‘토리’품종보다 전체 처리구에서 굵어지는 경향을 보였다. 특히, ‘데프니스’품종의 경우는 450 $\mu$ mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> 처리구에서 경도가 가장 굵은 반면, ‘토리’품종은 350 $\mu$ mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> 과 450 $\mu$ mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> 처리구에서 우수하였다.



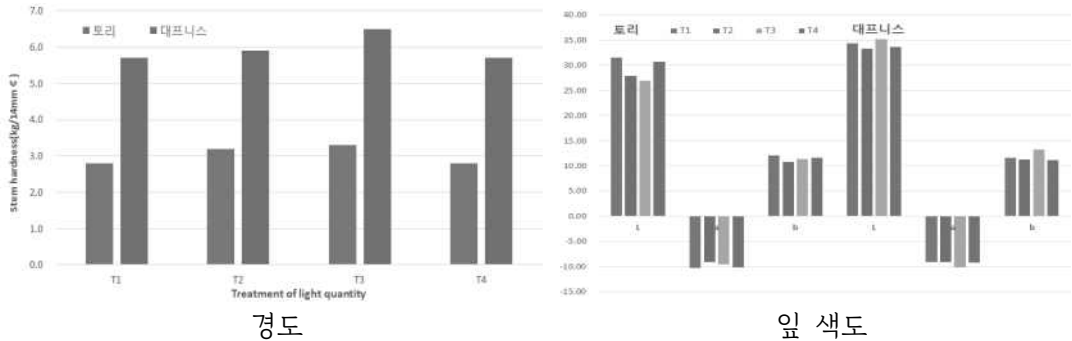


그림 3. 품종별 광량처리에 따른 토마토 파종 35일 후 묘소질 특성

토마토 ‘데프니스’ 품종의 광량별 처리에 따른 파종 28일 후와 35일 후 묘 생육특성은 표 9와 같다. 광량을 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상 수준으로 처리하면 초장은 짧아지고 엽수, 엽면적 등의 잎 성장과 줄기직경, 경도의 줄기특성도 증가되는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 묘령별로는 28일묘에 비해 35일묘의 생육 증가폭이 크게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

표 9. 광량에 따른 묘령별 ‘데프니스’ 품종의 묘 생육특성

광량	묘 령	초 장 (cm)	엽 수 (매/주)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	SPAD 값
250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)	28일묘	18.8 a <sup>↓</sup>	4.5	82.4 b	13.3	10.9	34.9
	35일묘	28.6 a	8.2	421.3 b	25.2	21.4	42.2
350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)	28일묘	16.8 b	5.1	101.1 a	13.4	10.9	35.5
	35일묘	24.0 b	8.7	526.9 a	26.1	22.9	44.1
450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)	28일묘	18.1 a	5.2	107.3 a	13.6	11.9	36.4
	35일묘	26.8 ab	8.5	516.9 a	27.1	23.6	45.7
278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (FL, T4)	28일묘	20.1 a	5.1	100.4 a	14.1	12.1	37.9
	35일묘	28.1 a	8.0	507.9 ab	26.9	22.3	42.4

광량	묘 령	줄기직경 (mm)	경 도 (kg/14mm $\phi$ )	근 장 (cm)	근 중 (g/주)	화방수 (개/주)	생체중 (g/주)
250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)	28일묘	3.5 b	3.6 a	27.4	3.4	-	3.2 b
	35일묘	7.4 ab	5.7 ab	51.6	7.7	1.5	23.7 b
350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)	28일묘	3.9 a	3.7 a	35.1	3.8	1.2	4.1 a
	35일묘	8.8 a	6.2 a	56.9	8.2	2.9	29.5 a
450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)	28일묘	4.0 a	3.0 ab	31.9	3.6	1.0	4.4 a
	35일묘	8.9 a	6.1 a	56.7	8.3	2.7	30.7 a
278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (FL, T4)	28일묘	4.0 a	3.3 a	30.0	3.1	1.0	4.0 a
	35일묘	7.8 ab	5.6 ab	54.1	6.0	2.2	26.2 ab

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

LED 광량별 처리에 따른 육묘의 균일자람을 보기 위한 절간장을 측정한 결과는 그림 4와 같다. 파종 28일후 묘보다는 35일묘에서 절간장 증가폭이 전체 마디에서 이루어지고 있음을 보여주고 있으며, 특히 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 와 형광등 처리구의 마디별 신장이 다른 처리구에 비해 첫째 마디에서부터 길어지는 경향을 나타냈다. 일반적으로 토마토 등 과채류 육묘기간중 저온과 약광조건에서는 절간장이 길어진다는 동일한 경향을 보였다(RDA, 2014).

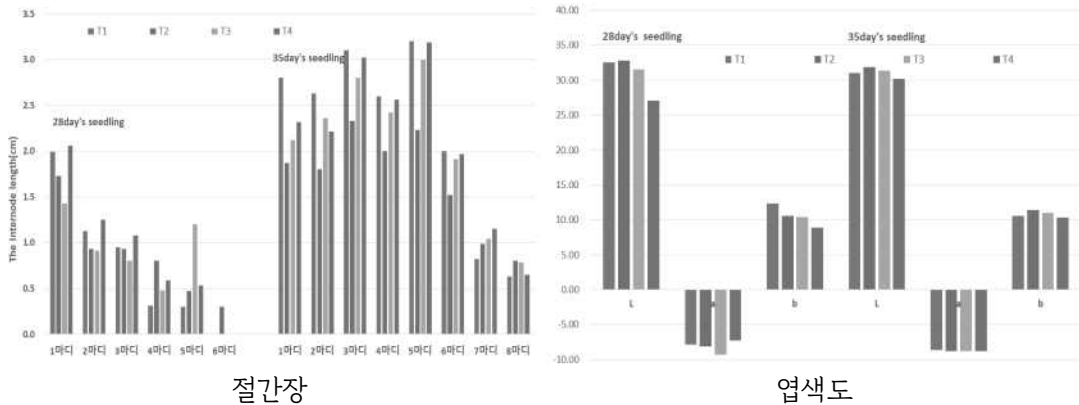


그림 4. 광량에 따른 ‘데프니스’ 품종 묘령별 절간장 및 엽색도

LED 광량별 처리에 따른 토마토 육묘의 지상부건중을 초장으로 나누어 묘의 총실도를 분석한 결과는 표 10과 같으며, ‘토리’품종 보다는 ‘데프니스’품종이 대체적으로 전체 처리구에서 묘 총실도가 높았으며 특히, LED 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 처리구에서 ‘토리’는 0.98, ‘데프니스’는 1.03으로 가장 양호하였다.

표 10. 광량별 묘 총실도(shoot dry weight/plant height)

광량처리	토리(mg/cm)	데프니스(mg/cm)
LED 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)	0.72	0.68
LED 350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)	0.98	1.03
LED 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)	0.88	0.96
FL 278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T4)	0.67	0.75

토마토‘데프니스’품종을 광량수준에 따른 처리로 생산된 묘의 정식 100일 후 생육특성은 표 11과 같이 초장은 짧지만, 엽장, 엽폭 및 줄기직경, 마디수 등의 생육이 LED350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  처리구에서 가장 우수한 경향을 보였다.

표 11. 광량별 ‘데프니스’ 품종 묘 정식 100일 후의 생육특성

광량처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기직경 (mm)	마디수 (개)	절간장 (cm)	SPAD 값
LED250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)	330.1 a <sup>↓</sup>	426 ab	29.8 b	8.3 b	39.2 a	8.5	55.0 a
LED350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)	311.7 b	44.2 a	35.5 a	9.4 a	40.1 a	8.3	56.5 a
LED450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)	334.4 a	44.2 a	31.5 b	8.1 b	39.9 a	8.4	54.3 a
FL 278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T4)	289.2 c	40.4 b	30.6 b	7.7 c	37.5 b	8.3	48.8 b

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

토마토 ‘데프니스’ 품종의 광량처리로 생산된 묘를 시험포장 정식 100일 후의 과실특성은 표 12와 같으며, 과장, 과폭 등에서는 처리별로 차이가 없었으나 과중은 LED350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 광량 처리구에서 우수한 경향이었다. Brazaity et al(2009)은 LED광원을 조합하여 육묘한 후에 정식하여 토마토의 생육과 수량을 분석한 결과 초기수량 및 착과수는 생육이 다소 억제된 자외선 첨가 LED에서 증가하였으나 이후에는 차이가 없었다고 한 결과와 달리 식물공장에서 생산된 초장이 짧지만 묘 충실도가 높은 처리구의 육묘는 개화와 과실생산 까지도 양호한 경향이 지속적으로 유지되는 것으로 판단되었다.

표 12. 광량별 ‘데프니스’ 품종 정식 100일 후의 과실특성

광량처리	과장 (cm)	과폭 (cm)	과중 (g/개)	당도 (Brix, A)	산도 (%, B)	당산비 (A/B)
LED250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T1)	5.6±0.6	6.9±1.2	170.9 b <sup>↓</sup>	4.7±0.6	1.0±0.1	3.5
LED350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T2)	5.6±0.7	6.8±1.3	180.5 a	4.8±0.7	1.1±0.3	3.4
LED450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T3)	5.5±0.7	6.8±1.1	187.4 a	4.7±0.7	0.8±0.2	3.1
FL 278 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (T4)	5.4±0.6	6.7±1.0	145.9 c	4.6±0.8	0.9±0.2	2.9

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

### <시험 3> 토마토 육묘 정식전 경화조건 구명

밀폐형 식물공장에서 생산된 파종 35일묘 ‘달타냥’과 ‘토스카나’ 품종(표 13)를 활용하여 incubator와 growth chamber의 설정온도를 30℃, 40℃, 50℃로 처리한 내부의 온습도는 그림 5와 같이 유지가 되고 있었다.

표 13. 식물공장 생산묘 생육 특성(35일묘)

구분	초장 (cm)	엽수 (매주)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	줄기직경 (mm)	경도 (kg/14mm)	SPAD 값	생체중 (g/주)	근중 (g/주)
달타냥	30.8	8.8	31.6	24.6	547.9	8.9	4.1	42.6	47.8	14.0
토스카나	44.2	9.5	33.1	28.1	675.5	9.0	5.1	45.9	59.0	15.5

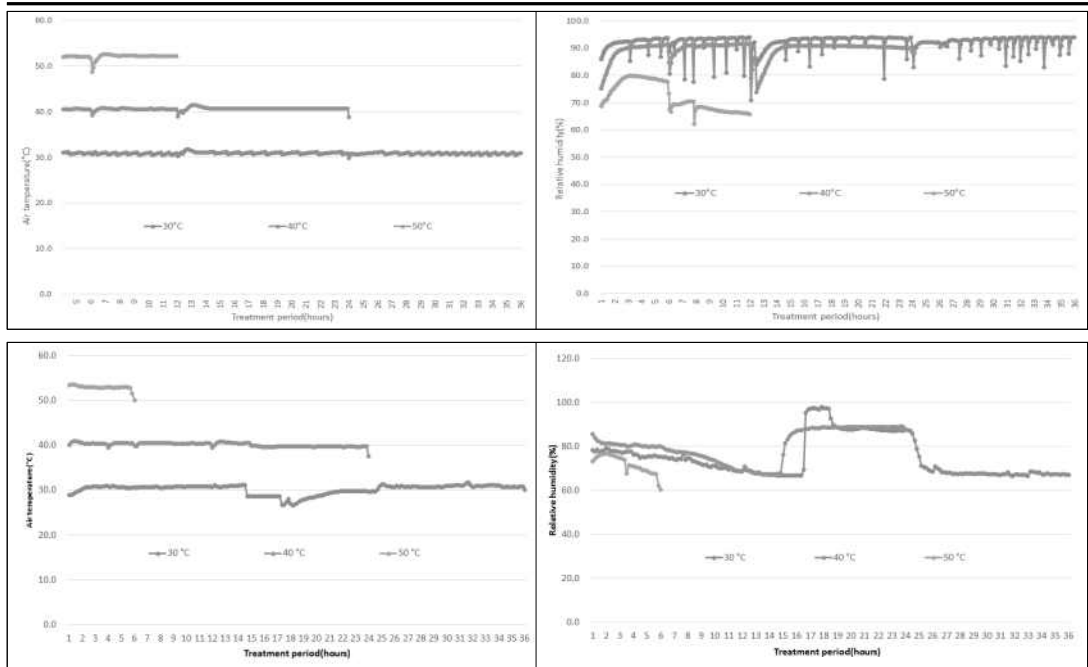


그림 5. 식물공장 생산묘의 인큐베이터(상), growth chamber(하) 온도처리에 따른 온습도 현황

식물공장에서 생산된 ‘달타냥’과 ‘토스카나’ 토마토 묘를 온도와 시간대별로 처리한 결과, 두 품종 모두 인큐베이터에서는 30℃ 12시간, 40℃ 6시간 처리하면 고사율이 80% 이상으로 증가하였다. Growth chamber는 ‘달타냥’의 경우 30℃에서 24시간 처리시 고사율이 50%, 40℃ 12시간은 고사율이 80%인 반면, ‘토스카나’는 35℃ 24시간 고사율이 40%, 40℃ 8시간은 75% 고사율을 보여 품종별 차이를 보였다(표 14). 토마토 묘가 정식 전 운반이나 순화과정에서 고온에 노출될 경우 근권부의 온도 상승은 증산량 및 호흡량 증가로 이어지며 10℃에서 22℃로 상승 시 근권부 호흡량은 3배가 증가된다는 보고(Shishido & Kumakura, 1994)와 같이 본 시험의 인큐베이터와 growth chamber 두 처리수준에서 30℃이상의 12시

간 조건에서도 품종별로 차이가 약간 있지만 지상부 증산량 및 근권부 호흡량 증가로 인한 급격한 고사율이 절반 이상을 상회하는 것으로 나타났다.

표 14. 식물공장에서 생산된 ‘달타냥(상)’과 ‘투스카냐(하)’ 품종의 고온처리에 따른 고사율

	Treatment		처리수	고사주	고사율(%)
	온도(°C)	시간(hour)			
Incubator	20	24	20	0	0
		48	20	0	0
	30	6	20	3	15.0
		12	20	8	40.0
		24	20	17	85.0
		36	20	18	90.0
	40	6	20	16	80.0
		12	20	20	100.0
		24	20	20	100.0
	50	4	20	20	100.0
		6	20	20	100.0
	Growth chamber	30	6	20	0
12			20	3	15.0
24			20	10	50.0
36			20	15	75.0
40		6	20	12	60.0
		12	20	16	80.0
		24	20	18	90.0
	Treatment		처리수	고사주	고사율(%)
	온도(°C)	시간(hour)			
Incubator	30	24	20	16	80.0
		36	20	20	100.0
	35	12	20	15	75.0
		24	20	20	100.0
	40	4	20	16	80.0
		6	20	18	90.0
		8	20	20	100.0
	Growth chamber	30	24	20	2
36			20	5	25.0
35		12	20	6	30.0
		24	20	8	40.0
40		4	20	3	15.0
		6	20	5	25.0
		8	20	15	75.0

토마토의 화아분화는 환경조건과 식물체의 생육상태에 따라 다르게 나타나지만 일반적으로 본엽이 8매 정도 전개되기까지의 육묘기간 중에 이미 3화방까지의 화아 분화가 이루어진다고 알려져 있다(RDA, 2014). 본 시험에서 식물공장에서 생산된 묘가 3화방까지 화아분화가 된 상태의 엽수를 가지면서 고온에 노출되었을 경우로 고온처리에 따른 고사율이 80% 이하로 생존한 묘를 유리온실내 화분에 식재하여 재배한 결과, 첫 번째 화방 1번화가 개화 전후인 수확묘 상태로 온도가 높고 시간이 길수록 1화방과 2화방 기부쪽 1번과와 2번과까지 착과가 이루어지지 않거나 고온 영향을 받은 기부쪽보다는 선단부의 과실이 커지는 경향을 보였다(표 15).

표 15. 온도처리에 따른 ‘달타냥’ 품종의 1~2화방 수량조사(정식 후 90일)

Treatment		과중(g/주)								
	온도 (°C)	시간 (hour)	1화방				2화방			
			1번과	2번과	3번과	4번과	1번과	2번과	3번과	4번과
Incubator	30	6	73.6	98.6	104.6	141.6	78.4	128.9	154.7	210.6
		12	-	-	-	185.3	71.7	158.8	170.5	215.4
	40	6	-	-	-	145.9	-	89.1	90.9	208.7
		12	48.8	78.2	120.6	176.8	82.2	95.6	117.4	111.7
Growth chamber	30	24	-	-	98.3	130.4	-	110.9	120.7	129.3
		36	-	-	66.6	142.6	-	-	179.9	191.3
	40	6	-	102.9	145.5	120.8	97.4	100.2	170.6	221.2
		12	-	-	74.9	147.9	-	134.6	150.4	170.3

<시험2>에서 선발된 밀폐형 식물공장내 LED광량 조건에서 생산된 육묘와 온실에서 생산된 동일한 묘령의 육묘를 생산하여 시험에 사용하였으며 묘령별 온도처리전 묘생육특성은 표 16과 같았다. 파종 후 28일묘와 35일묘별로 초장, 엽면적을 비롯한 전반적인 생육은 식물공장묘가 온실묘보다 1.5~2배로 우수한 경향을 보였다. 따라서, 식물공장 28일묘와 온실 35일묘의 생육특성이 유사하여 식물공장을 활용해 생산된 묘가 7~10일정도 온실 생산묘보다 균일하고 건실한 묘 생산이 가능한 것으로 판단되었다.



표 16. 식물공장과 온실에서 생산된 토마토 ‘데프니스’ 품종의 육묘 생육특성

광 량	구 분	초 장 (cm)	엽 수 (매/주)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	SPAD 값	
T2(350)	식물공장	28일묘	22.2	6.1	173.1	22.7	16.3	41.8
		35일묘	30.8	9.3	488.7	29.8	19.8	38.5
-	온 실	28일묘	16.2	3.9	56.5	12.2	9.8	34.2
		35일묘	24.1	6.9	159.0	19.8	12.4	34.5
T-test		**Z	*	**	**	**	*	

광 량	구 분	줄기직경 (mm)	경 도 (kg/14mm <sup>3</sup> )	근 장 (cm)	근 중 (g/주)	화방수 (개/주)	생체중 (g/주)	
T2(350)	식물공장	28일묘	5.9	2.2	39.5	3.2	1.8	11.6
		35일묘	7.9	5.9	65.8	7.6	2.9	30.1
-	온 실	28일묘	3.3	1.9	10.3	0.4	-	2.9
		35일묘	5.6	4.1	21.2	3.3	1.0	10.7
T-test		**	*	**	**	*	**	

<sup>Z</sup> \*\* p<.01, \* P<.05.

식물공장과 온실에서 생산된 토마토 28일묘를 30°C, 35°C growth chamber를 활용하여 6시간, 12시간 처리 후 생체중과 건물중을 측정한 결과, 식물공장묘는 온도가 높고 처리시간이 길수록 지상부와 근권부 생체중이 유의성 있게 감소되는 경향을 보여준 반면, 온실묘는 지상부 생체중만 온도처리에 따른 영향을 크게 받는 것으로 나타났다(표 17). 특히, 토마토의 화기는 고온 스트레스에 매우 민감하여 30°C 이상의 고온, 특히, 40°C이상에서는 몇시간 동안의 노출로도 화분량이 기형화되고 화분의 활력은 저하하여, 정상적인 착과가 이루어지지 못해 착과율이 낮아지는 것으로 알려져 있다. 이러한, 고온노출로 인한 토마토 묘가 정식 후에까지 지속적으로 생육과 착과 및 수확까지도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

표 17. 식물공장과 온실에서 생산된 토마토 묘의 고온노출 후 생체중과 건물중 변화

구 분		생체중(g)		건물중(g)		
온도(°C)	시간(H)	지상부	근권부	지상부	근권부	
30	식물공장묘	6	27.42 a	8.25 a	2.53 a	0.72 a
		12	24.02 b	6.53 b	2.12 b	0.46 b
	온실묘	6	12.61 a	1.28 a	1.28 a	0.35 a
		12	10.58 ab	1.07 a	1.04 a	0.29 a
35	식물공장묘	6	22.14 b	6.22 b	0.94 b	0.32 b
		12	16.12 c	2.28 c	0.52 b	0.26 b
	온실묘	6	10.46 ab	1.03 a	0.92 a	0.24 a
		12	10.01 ab	0.84 a	0.74 a	0.18 a

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

고온처리후 화분재배를 통한 식물공장묘의 토마토 착과특성(표 18)은 1화방 1번화 개화 전후로 고온경과가 되어 착과절위 상승이 2화방부터는 온도가 높아지고 처리시간이 길어질수록 발생하였고, 1~2화방의 화아수에 비해 착과가 잘 되지 않거나 기부쪽보다 선단부 과실이 커지는 경향을 보였다. 그러나, 상토묘의 경우는 식물공장묘에 비해 화아 출현수가 늦어져 고온처리에 의한 것이라기 보다는 빠르게 생육하는 식물공장묘와 같은 묘령대를 사용한 것으로 1화방 화아분화전 어린묘를 고온기에 정식한 것으로 고온처리 후 활착하는 시간이 길어져 착과절위 상승이 일어났으며 처리온도가 높고 처리시간이 길수록 식물공장묘 보다는 영향을 덜받아 정식 후 착과율이 더 양호한 경향을 보인 것으로 판단되었다.

표 18. 고온 노출후 토마토 식물공장묘와 온실묘의 착과 특성(정식 후 50일)

구 분	1화방 착과절위		1화방		착과율 (%)	
	온도(°C)	시간(H)	개화수(화)	착과수(개)		
30	식물공장묘	6	8.7	4.2	3.6	85.7
		12	9.2	3.6	2.8	77.8
		24	9.0	3.4	1.4	41.5
	상토묘	6	9.5	4.4	3.6	81.8
		12	9.5	4.2	3.0	71.4
		24	9.8	3.0	1.8	60.0
35	식물공장묘	6	9.2	3.8	2.4	63.2
		12	9.6	3.8	2.1	60.0
		24	9.4	3.5	2.2	57.9
	상토묘	6	9.8	4.0	2.8	70.0
		12	10.8	3.6	2.4	66.7
		24	10.5	3.4	2.1	61.8

고온노출 후 처리별 육묘를 유리온실내 재배베드에 직경 20cm인 플라스틱 사각형 화분에 정식한 후 90일에 생육 및 과실 특성을 조사한 결과는 표 19와 같았다.

식물공장묘는 근권부가 스펀지배지로 고온처리시 30°C에서 12시간, 35°C에서 6시간 처리수준까지는 엽면적, 줄기직경의 생육이 양호한 반면 온도가 높아지고 노출시간이 길어질 수록 저조한 생육을 보였으나, 온실묘는 전체 처리구에서 유사한 경향으로 고온과 장시간 노출에 근권부에 미칠 영향을 상토가 완화시켜 주는 완충제로 작용한 것으로 판단되었다.

표 19. 고온 노출 후 정식에 따른 토마토 생육 및 과실 특성(정식 후 90일)

구 분	온도(°C)	시간(H)	엽면적 (cm)	줄기직경 (mm)	경장 (cm)	SPAD 값	과장 (cm)	과폭 (cm)	당도 (°Brix)	산도 (%)
30	식물공장묘	6	8,260.6	18.7	84.3	59.1	48.7	54.6	4.2	0.3
		12	8,000.7	17.2	88.3	60.4	50.1	61.5	4.1	0.3
		24	6,460.4	16.3	86.0	55.9	27.2	30.8	3.4	0.3
	상 토 묘	6	6,596.2	16.4	67.3	53.8	46.0	52.9	4.0	0.6
		12	6,695.9	15.3	77.0	58.1	37.4	41.2	3.1	0.6
		24	5,644.7	15.4	74.5	54.2	42.2	46.2	3.4	0.6
35	식물공장묘	6	7,506.7	16.1	88.3	53.8	40.0	44.6	3.8	0.2
		12	6,304.3	16.7	87.2	53.3	31.6	37.7	3.0	0.4
		24	6,642.2	15.1	76.7	53.2	34.4	30.4	3.4	0.5
	상 토 묘	6	6,544.2	15.9	74.3	53.4	36.0	29.6	4.1	0.4
		12	6,354.8	16.1	78.5	49.5	42.6	47.1	3.6	0.5
		24	6,725.3	15.8	83.0	49.7	42.6	46.1	3.5	0.6

고온처리에 따른 '데프니스' 품종의 식물공장묘와 온실상토묘 모두 첫 번째 화방 1번화가 개화전 후인 수확묘 상태로 온도가 높거나 고온 30°C에서 노출시간이 12시간이 경과할수록 거의 착과가 이루어지지 않았으며, 고온 노출 처리 영향을 약간 받은 2화방부터는 기부쪽의 과방부터는 수량이 증가되어 선단부의 과실보다 큰 경향을 보였다(표 20). Kubota & Kroggel(2006)보고에 의하면 토마토 화방 내 과실의 발달은 기부쪽 1번과부터 선단부쪽으로 이루어지며, 화방별로 가장 일찍 개화하는 1번과가 가장 크고 선단부로 갈수록 작다고 하였는데, 본 시험에서는 1화방은 고온 영향을 크게 받아 과실이 없었으며, 2화방 부터 유사한 경향을 보였다. 토마토 묘가 고온에 노출이 되면 최종적으로 과실크기를 감소 시킨다는 Fanwoua 등(2012)의 보고와 같이 본 시험에서도 세포분열이 가장 왕성한 1화방 개화전 후 상태의 식물공장묘에서는 고온경과는 과실무게에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

표 20. 온도처리에 따른 토마토 1~2화방 착과별 수량조사(정식 후 90일)

Treatment		과중(g)								
온도 (°C)	시간 (h)	1화방				2화방				
		1번과	2번과	3번과	4번과	1번과	2번과	3번과	4번과	
식물공장묘	30	6	189.2	90.3	66.9	62.9	115.4	72.8	60.6	52.1
		12	205.3	129.1	110.5	-	100.6	107.0	57.2	-
		24	-	106.4	77.7	-	80.4	83.8	63.2	-
	35	6	-	233.6	96.8	54.3	80.2	60.6	52.5	-
		12	-	140.0	51.2	-	72.9	54.3	-	-
		24	-	129.9	97.9	-	57.4	-	-	-
온실상토묘	30	6	183.1	159.9	83.6	85.1	126.8	140.9	71.7	80.1
		12	140.0	87.1	14.6	-	128.9	123.0	60.1	-
		24	-	153.3	146.1	-	117.5	103.1	-	-
	35	6	-	164.3	142.3	67.8	103.6	102.8	71.0	-
		12	-	148.3	131.5	-	121.9	100.5	63.9	-
		24	-	55.0	-	-	97.4	116.1	-	-

<시험 4> 육묘 주야간 온도차(DIF)효과 구명

밀폐형 식물공장내 DIF처리를 위한 내부온습도 현황은 그림 6과 같았다.

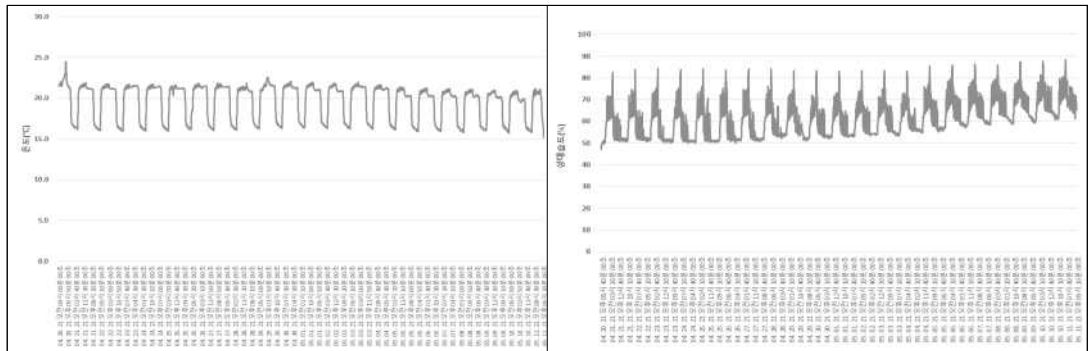


그림 6. DIF처리에 따른 식물공장 온습도 현황(D/N=22°C/16°C, L/D=12h/12h)

태양광에 의한 일출의 주간과 일몰의 야간과 다른 밀폐형 인공광원을 통한 식물공장 시설을 활용하여 토마토 품종 ‘데프니스’를 주야간온도차(DIF)를  $\pm 4 \sim \pm 7$ (명기22°C/암기18°C ~ 명기22°C/암기15°C)4수준, 광주기는 12h/12h으로 동일하게 처리한 결과, 최아 부터 수확까지 28 ~ 35일간 육묘기간 동안 처리수행한 결과, 명기22°C/암기16°C(DIF $\pm 6$ )이상의 주야간온도차(DIF)가 큰 처리구에서 초장은 짧고 엽면적은 감소하였지만, 줄기 직경, 경도, 생체중의 특성은 양호한 경향을 보였다(표 21, 그림 7).

표 21. DIF 처리별 토마토 육묘 생육특성 조사(L/D=12h/12h)

처리	묘령	초장 (cm)	엽수 (매/주)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	줄기직경 (mm)	경도 (kg/4mm)	화아수(개/주)		생체중 (g/주)	SPAD 값
							1화방	2화방		
22°C/15°C	1주	5.6	2.0	15.1	1.77	-	-	-	2.1	47.89
(±7)	2주	10.9	4.4	83.8	4.43	3.23	1.7	-	6.9	45.71
	3주	18.3b <sup>↓</sup>	8.1a	410.2b	7.20a	4.95a	3.4a	-	29.5a	46.24
22°C/16°C	1주	6.6	2.0	18.3	1.70	-	-	-	1.8	49.21
(±6)	2주	11.1	4.7	94.3	4.06	2.84	1.5	-	6.4	44.89
	3주	18.7b	8.1a	423.1ab	7.02b	4.93a	3.5a	-	28.6b	47.52
22°C/17°C	1주	7.1	2.5	19.2	1.63	-	-	-	1.5	49.26
(±5)	2주	11.4	6.0	98.3	3.89	2.78	2.5	-	4.5	42.11
	3주	18.1b	8.4a	425.9a	6.98b	4.62a	3.0ab	-	28.2b	44.78
22°C/18°C	1주	7.8	2.6	25.8	1.57	-	-	-	1.3	46.19
(±4)	2주	12.9	5.7	102.8	3.08	2.14	1.7	-	4.6	44.21
	3주	21.1a	8.8a	437.1a	6.72b	4.01b	2.4b	-	28.1b	41.11

↓ Mean separation within column's by Duncan's multiple range test.

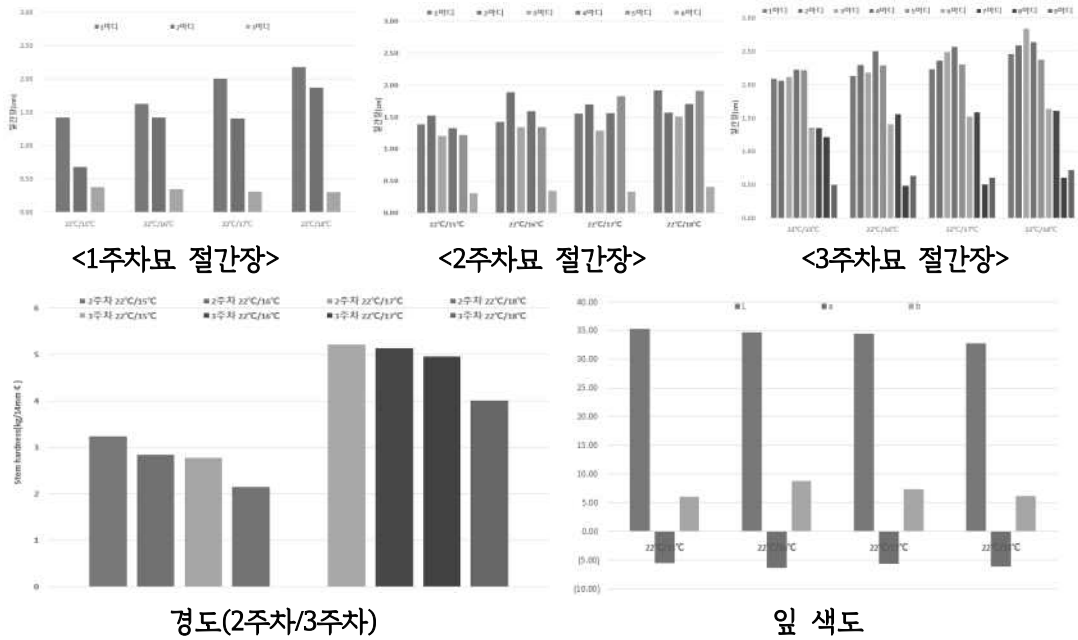


그림 7. DIF처리에 따른 토마토 육묘의 주차별 생육 특성

주야간온도차(DIF)에 광주기를 12h씩 동일하게 처리하여 묘소질을 분석한 결과는 표 22와 그림 8과 같으며, DIF가 클수록 엽면적지수, 엽면적비, TR률 및 엽록소 형광은 감소하지만, 묘의 건전성을 나타내는 총실도가 가장 높았다. DIF 처리는 식물생육 발달을 느리게 하지만 질적인 발달에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보고되어 있다(Erwin et al., 1994).

이러한 관점에서 DIF를 많이 활용하고 있는 화훼류뿐만 아니라 과채류에서도 영양생장기인 육묘에 일반 공정묘장과 식물공장내에서 DIF를 적용하여 균일묘를 계획생산하고 생식생장기에는 일반적인 재배시설을 활용한다면 일차적으로 줄기도장 및 절간장 단축 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 보다 안전하게 과실까지도 생산할 수 있을 것으로 판단되었다.

표 22. DIF처리별 토마토 묘소질 분석(L/D=12h/12h)

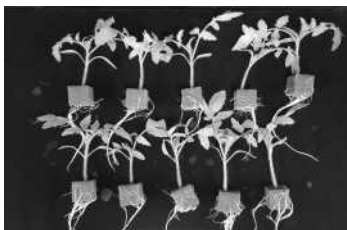
구분	DIF	묘령	엽면적지수 (LAI)	엽면적비 (LAR)	총실도 (Compactness)	Top/Root(%)		엽록소형량 (Fv/Fm)
						생체중	건중	
22°C/15°C	±7	1주	0.09	188.8	0.014	0.61	0.21	0.70
		2주	0.52	186.2	0.040	1.11	0.86	0.73
		<b>3주</b>	2.56	182.3	0.126	2.35	2.00	0.77
22°C/16°C	±6	1주	0.11	228.4	0.011	0.62	0.21	0.75
		2주	0.59	219.3	0.039	1.44	0.98	0.76
		3주	2.64	188.3	0.124	2.47	2.16	0.78
22°C/17°C	±5	1주	0.12	239.4	0.012	0.66	0.22	0.75
		2주	0.61	228.6	0.037	1.49	0.91	0.78
		3주	2.66	193.6	0.119	3.00	2.42	0.80
22°C/18°C	±4	1주	0.16	258.0	0.013	0.67	0.26	0.79
		2주	0.64	244.8	0.033	1.52	0.93	0.80
		3주	2.73	202.4	0.105	3.05	2.84	0.81

※ 묘 총실도(Compactness) = 지상부 건중 / 초장

※ 엽면적 비(LAR) = 엽면적 / 잎몸(엽신) 건중

※ 엽면적 지수(LAI) = 엽면적 / 재배면적

※ T/R률 = 지상부 생체중/지하부 생체중 혹은 지상부 건중/지하부 건중



<1주차묘>



<2주차묘>



<3주차묘>

그림 8. DIF 처리에 따른 토마토 육묘 모습(D/N=22°C/16°C, L/D=12h/12h)

스트레스지표로 사용되는 엽록소 형광 매개 변수들의 변화를 보면, DIF가 클수록  $PI_{ABS}$ 가 1주차묘에서 큰 폭으로 증가하여 온도에 의한 스트레스를 가장 많이 받고 있음을 나타내고, 2주차 묘부터는 DIF가 적을수록 에너지 흐름을 나타내는 ABS/RC로 전환하여 광합성 합성에 집중하는 것으로 판단되었다(그림 9). 이러한 형광 반응은 광합성 기구의 변화를 모니터링 하여 정량화 할 수 있는 정밀하고 신뢰성 있는 방법으로 엽록소 형광반응 측정을 통해 광합성 광계의 구조와 기능변화를 신속하면서 간단하게 측정할 수 있는 장점을 가지고 있어 본 시험의 온도차에 의한 식물의 스트레스를 통한 광합성에 미치는 영향이 있음을 판단할 수 있었다(Strasser et al., 2000). 따라서, 추후 영농생산 현장에서도 엽록소형광 반응을 이용하여 식물생리 상태와 광합성능력 간이진단분석이 이루어질수 있을 것으로 보였다.

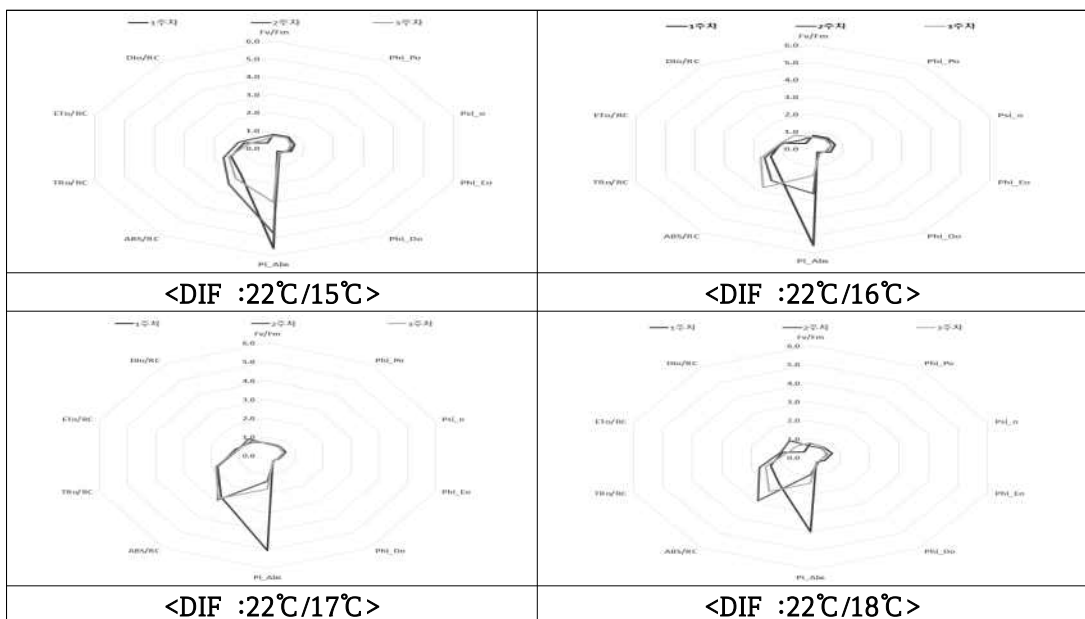


그림 9. DIF처리에 따른 토마토 육묘의 주차별 엽록소 형광 매개변수 변화

주야간온도차 효과가 양호했던 명기22°C/암기16°C(DIF ±6)조건에 광주기를 14/10h 등 2 수준으로 처리한 결과, 토마토묘는 명기보다 암기를 늘려주면 초장, 엽면적, 엽수는 감소하지만 줄기직경, 경도, 생체중은 증가되는 특성을 나타냈고, 엽록소형광은 0.75로 약간의 온도와 일장스트레스를 받아 묘충실도가 높은 경향을 보였다(표23, 표24, 표25).





## 4. 결과요약

### <시험 1> 토마토 적정 광원 선발

- 가. 식물공장에서 생산된 국산 토마토 품종 ‘달타냥’과 ‘토스카나’를 LED 광원 처리하여 파종 후 35일 육묘한 결과, 두 품종 모두 red:blue(1:1)처리구에서 묘소질에 중요한 요인인 줄기직경과 경도가 가장 양호 하였다.
- 나. 광원별로 생산된 ‘달타냥’ 품종의 생육특성은 red:blue(1:1)처리구에서 생산된 묘가 엽면적, 생체중이 양호하였고, 묘 충실도가 가장 우수하였으며, 과중과 수량의 과실특성도 가장 우수한 편이었으나, 전체처리구에서 배꼽썩음과, 기형과발생이 많아 상품화율이 저조한 경향을 보였다.

### <시험 2> 토마토 적정 광량 선발

- 가. 식물공장에서 생산된 토마토 품종 ‘토리’와 ‘데프니스’를 LED Red:Blue (1:1) 광원하에 광량조건을  $250\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  등 4수준으로 처리하여 파종 후 35일간 육묘한 결과, 두 품종 모두  $350\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 광량에서 엽면적, 엽록소 등이 향상되었으며 초장은 짧고 줄기직경, 경도의 묘소질은  $350\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  처리구가 가장 양호하였다.
- 나. 광량별로 처리하여 생산된 묘 재배특성도  $350\text{umol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  이상의 처리구가 엽면적, 생체중, 화아출현수, 묘 충실도가 다른 처리구에 비해 우수하였으며, 과중 및 과실수량 등의 과실특성도 우수한 경향을 보였다.

### <시험 3> 토마토 육묘 정식전 순화조건 구명

- 가. ‘데프니스’ 품종을 식물공장과 유리온실에서 28일묘와 35일묘로 생산한 후 묘 소질을 조사한 결과, 식물공장 28일묘(최아 4일, 파종 10일, 가식 14일)와 온실 35일묘(최아 4일, 파종 10일, 가식 21일)의 생육특성이 유사하여 식물공장에서 7~10일정도 빨리 균일한 과채류 육묘가 가능할 것으로 보였다.
- 나. 식물공장과 온실에서 생산된 토마토 28일묘를 30°C, 35°C로 세팅한 growth chamber를 활용하여 6시간, 12시간 고온을 경과시킨 후 생체중과 건물중을 측정한 결과, 식물공장묘는 온도가 높고 처리 시간이 길수록 지상부와 근권부 생체중이 유의성 있게 감소되는 경향을 보인 반면, 유리온실 상토묘는 지상부 생체 중만 온도조건 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 다. 고온처리후 플라스틱 사각 화분재배를 통한 식물공장 묘의 토마토 착과 특성은 1화방 1번화 개화전 후로 고온경과가 되어 착과절위 상승이 2화방부터 온도가 높아지고 처리시간이 길어질수록 발생하였고, 1~2화방의 화아수에 비해 착과가 잘 되지 않거나 기부쪽보다 선단부 과실이 커지는 경향을 보였다.

라. 유리온실 상토묘의 경우는 고온처리 후 착과 특성은 식물공장묘에 비해 화아 출현수가 늦어 1~2화방 모두 착과절위 상승이 일어났으며, 온도가 높고 처리시 간이 길어질수록 1화방의 1번화는 착과가 되지 않고 낙화되어 결실이 발생하고 2번화나 3번화가 커지는 경향이였다.

#### <시험 4> 육묘 주야간온도차(DIF)효과 구명

- 가. 식물공장을 활용하여 토마토 ‘데프니스’를 주야간온도차를  $\pm 4 \sim \pm 7 (22^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C})$  4수준, 광주기는 12h/12h으로 동일하게 처리한 결과, 최아 부터 수확까지 28~35일간 육묘한 결과, 명기  $22^{\circ}\text{C}$ /암기  $16^{\circ}\text{C}$  (DIF $\pm 6$ ) 이상의 주야간온도차(DIF)가 큰 처리구에서 초장은 짧고 엽면적은 감소하였지만, 줄기직경, 경도, 생체중의 특성은 양호하였다.
- 나. 주야간온도차에 광주기를 12h/12h 동일하게 처리하여 묘소질을 분석한 결과, DIF가 클수록 엽면적지수, 엽면적비, TR를 및 엽록소형광은 감소하였지만, 묘 충실도는 가장 높았다.
- 다. 스트레스지표로 사용되는 엽록소 형광 매개변수들의 변화를 보면, DIF가 클수록  $PI_{ABS}$ 가 1주묘에서 큰 폭으로 증가하여 온도에 의한 스트레스를 가장 많이 받고 있음을 나타내고, 2주묘부터는 DIF가 적을수록 에너지흐름을 나타내는 ABS/RC로 전환하여 광합성 합성에 집중하는 것으로 판단되었다.
- 라. 주야간온도차 효과가 양호했던 명기  $22^{\circ}\text{C}$ /암기  $16^{\circ}\text{C}$  (DIF $\pm 6$ ) 조건에 광주기를 14h /10h 등 2수준으로 달리 처리한 결과, 토마토 묘는 명기보다 암기를 늘려주면 초장, 엽면적, 엽수는 감소하지만 줄기직경, 경도, 생체중은 증가되는 생육특성을 보였고, 엽록소 형광은 0.75로 약간의 온도와 일장 스트레스를 받아 묘 충실도가 높은 경향을 보여 주었다.

## 5. 참고문헌

- Baek, K.Y. 2003. Effect of light emitting diodes(LED) on the growth and photomorphogenesis in horticultural plants. Ministry of Agriculture and Forestry. Korea.
- Erwin, J. E., P. Velguth, and D. Heins. 1994. Day/night temperature environment affects cell elongation but not division in *Lilium longiflorum* Thunb. J. Expt. Bot. 45:1019-1025.
- Eun, J.S., J.H. Choi, and J.S. Kim. 2010. Effects of LEDs and tungsten lamp on seedling growth of red pepper(*Capsicum annuum* L.). Kor. J.Hort. Sci. Technol. 29:68-68.
- Fanwoua, J., P. de Visser, E. Heuvelink, G. Angent, X. Yin, L. Marcelis, and P. Struik. 2012. Response of cell division and cell expansion to local fruit heating

- in tomato fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 137:294-301.
- Graham H.A.H, and D. R. Decoteau. 1995. Regulation of bell pepper seedling growth with end-of-day supplement fluorescent light. HortScience 30(3):487-489.
- Jang Y.H, H.J. Lee, C.S. Choi, Y.C. Um, and S.G. Lee. 2014. Growth characteristics of cucumber scion and pumpkin rootstock under different levels of light intensity and plug cell size under an artificial lighting condition. Protected Hort. Plant Fac. 23(4):383-390.
- Kim, Y. H. and H.S. Park. 2002. Growth of cucumber plug seedlings as affected by photoperiod and photosynthetic photon flux. J. Bio-Environ. Con. 11:40-44.
- Kubota, C., M. Kroggel. 2006. Air temperature and illumination during transportation affect quality of mature tomato seedlings. Hortscience 41:1640-1644.
- Lee, J.E., Y.S. Shin, H.W. Do, J.D. Cheung, and Y.H. Kang. 2016. Effect of seedling quality and growth after transplanting of Korean melon nursed under LED light sources and intensity. Protected Hort. Plant Fac. 25:294-301.
- Lim, K. B., K. C. Son, and J. D. Chung. 1997. Influences of Dif on growth and development of plug seedlings of *Lycopersicon esculentum* before and after transplanting. J. Bio. Fac. Evn. 6(1):34-42(in Korean).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA), 2020. Status of greenhouse of vegetable plant and production of vegetable. Government Complex-Sejong. 2019: 38-85(in Korean)
- Park, K.H., S.C. Sin, Y.S. Lee, and S.L. Kim. 2014. Studies on the establishment of administrative crop nursery system and legislation for the protection and promotion. Korea Rural Economic Institute. Seoul. Republic of Korea. pp 17-22.
- Park, J.H., 2016. Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services(GARES). The annual report of agricultural research. p342-356.
- Rural Development Administration(RDA). 2008. Standard farming annual-84: Vegetable nursery technology. 1<sup>st</sup> ed. RDA. Korean. p40-41.
- Rural Development Administration(RDA). 2014. Standard farming manual-106: Tomato cultivation technology. 1<sup>st</sup> ed. RDA. Korean. p56-57.
- Rural Development Administration(RDA). 2012. Agriculture experiment investigation standard. Vegetable Part, Suwon. p503-602.
- Shin, J. H., H. H. Jung, and K. S. Kim. 2010. Night interruption using light emitting diodes (LEDs) promotes flowering of *Cyclamen persicum* in winter cultivation. Hort. Environ. Biotechnol. 51:391-395.

Shishido, Y. and H. Kumakura. 1994. Effects of root temperature on photosynthesis, transpiration, translocation and distribution of  $^{14}C$ -photoassimilates and root respiration in tomato. J. japan. Soc. hort. Sci. 63:81-89.(in Japanese)

Strauss A.J., G.H.J. Kruger, R.J. Strasser, and P.D.R.V. Heerden. 2006. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient OJIP. Environ Exp Bot. 56:147-157.

## 6. 연구결과 활용제목

- 영농활용(3건) : 식물공장 육묘 적합 LED 광량 조건, 식물공장용 토마토 육묘 매뉴얼, 식물공장 육묘 주야간온도차(DIF) 효과
- 책자발간 및 배부 : 1종(200부)

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'19	'20	'21
식물공장 생산 과채류 육묘 활용 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구관	정윤경	세부과제 총괄	○	○	○
	공동연구자	"	농업연구사	정현경	생육 조사	○	○	○
	"	"	"	이영석	시설 운영	○	○	○
	"	"	"	박남원	생육 분석	○	○	○
	"	"	농업연구관	원선이	자료 검토		○	○
	"	"	"	조창휘	방향 설정	○	○	-