일반과제(○), 보안과제( )　　(과제번호 : PJ006481)

딸기 안정생산을 위한 LED 이용기술 개발

(Technical development of Light Emitting Diodes(LED) using for a stabilizing production of Strawberry)

경북농업기술원 성주과채류시험장

농촌진흥청

< 완결과제 최종보고서 >

제 출 문

농촌진흥청 장 귀하

본 보고서를 “ 딸기 안정생산을 위한 LED 이용기술 개발(PJ006481)” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

연 구 수 행 기 간 : 2009. 1. 1 ~ 2011. 12. 31.(3년)
제1세부연구과제 : 2009. 1. 1 ~ 2011. 12. 31.(3년)
제2세부연구과제 : 2009. 1. 1 ~ 2010. 12. 31.(2년)
제3세부연구과제 : 2010. 1. 1 ~ 2011. 12. 31.(2년)

2012. 3.

주관연구기관명 : 경북농업기술원 성주과채류시험장
주관연구책임자 : 서 동 환
연 구 원 : 이 지 은
“ : 정 종 도
“ : 연 일 권
“ : 도 한 우
“ : 최 돈 우

요 약 문

Ⅰ. 제 목

딸기 안정생산을 위한 LED 이용기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

전 세계적으로 에너지 부족과 식량 위기에 대한 문제 대두로 농산물 재배에 있어서도 새로운 환경을 창출하여 보다 안전하고 안심할 수 있는 농작물 생산의 중요성이 커지고 있다. LED(Light-Emitting Diodes)는 식물에 필요한 광 파장을 효율적으로 조사(照射)할 수 있어, 환경이나 기후의 변화에 좌우되지 않고 식물 재배 가능하게 하는 차세대 광원이다.

LED의 광원의 농업적 이용시 장점으로는 종래의 인공광원에 비하여 식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광이며, 소형으로 판넬화가 가능하여 생장상(Growth chamber)과 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용이 가능하다. 또한 전력 소모량이 적으며, 열선을 방사하지 않아 근접조명이 가능하다. 수명 또한 반영구적(5만～10만 시간)이며, 백열등과 형광등의 1/10 전기사용량, 5～10배의 수명 등으로 에너지 절감에 큰 효과가 있어 농가의 전조재배나 식물체 육성 등을 대체할 수요가 많을 것이다. 또한 식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광이며, 소형으로 판넬화가 가능하여 생장상실이나 배양실 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용 가능하다.

LED 조명의 농업적 활용 목적은 잎들깨의 개화지연, 국화의 개화조절을 위한 작물의 개화시기 조절과 일조부족시 보조광원, 전조재배로 인한 생산량 증대가 가능하다. 또한 색소 형성에 관여하는 파장대 및 기능성분 증대에 관여하는 파장대의 사용으로 품질 개선 효과가 있다. 또한 특정 파장에 대한 해충의 기피 및 유인 현상을 이용하여 병해충 방제가 가능하다. 이러한 여러 가지 목적으로 농가 소득 증대에 획기적인 기술로 이용될 것이다.

따라서 본 연구에서는 딸기 촉성재배를 위한 효율적인 육묘체계를 구축하고자 LED 인공광원을 이용한 모주 조명시 런너 발생과 자묘의 화아분화 촉진에 미치는 영향을 알아보고, LED를 이용하여 딸기 전조재배시 식물의 생장, 과실 생산량 및 품질 등에 미치는 영향을 조사하여 현재 사용 중인 백열등의 대체 가능성을 검토하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

가. LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발

- 딸기 LED 육묘시 파장별 생장 반응 검토
- 딸기 모주 런너 발생 촉진 기술 연구
- 딸기 촉성재배시 모주 조기정식 후 런너 발생 촉진 기술
- 딸기 자묘 화아분화 유도 파장 선발

- 딸기 자묘 화아분화 유도 LED 이용 연구
- 딸기 촉성재배시 LED 이용 화아분화 촉진 기술 연구

나. LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선
- 딸기 전조재배에 적합한 파장 선발
- 딸기 전조재배 이용 기술 개발

다. 광 환경 개선을 위한 딸기재배 종합기술 체계 확립
- LED 모주 런너 발생 촉진 농가 실증 검토
- LED 전조재배 농가 실증 검토
- LED 전조재배 기술
- 딸기 전조재배시 광질별 과실 성분 변화 검토

Ⅳ. 연구개발결과

가. LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발
- 육묘시 LED 파장별 모주의 런너 발생수는 6시간 조사시 무처리 2.25개 보다 R/FR=4, R/FR=9, R/B=9 조합광원이 1.5배 많았고, 24시간 조사에서는 White, R/B=4 광원이 3.75개로 가장 많았으나, LED 광원 모든 처리구에서 3개 이상 발생하였다. 모주의 런너 발생에는 단색광원보다 조합광원이 효과적이었다.
- 조명 후 15, 30일째 생장변화를 살펴본 결과, 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 모두 유의성은 없었고, 런너 발생량에서 초기 2주째에는 R/B=5 광원이 발생량이 많았으나, 3주 이후에는 유의성이 없었다.
- 런너 발생 후 모주를 정식하여 자묘 발생량을 조사한 결과, 설향에서는 처리 간에 큰 차이가 없었으나 레드펄은 무처리 보다 전조처리구가 5개 정도 더 많이 획득하였다.
- 딸기 자묘의 정식기를 결정하는 화아분화 단계는 화아분화기(Stage Ⅲ)이며, LED 파장은 Red, Yellow, Green, R/FR=4, R/FR=9 광원이 무처리 보다 1주일 정도 빨리 분화하였다.
- R/FR=10 처리 일수별 화아분화 단계를 검경한 결과, 10일 이상 처리에서는 미분화기(Ⅰ) 단계는 발생하지 않았고, 관부의 단백질 함량에서도 처리 일수가 높을수록 단백질 함량이 낮았으며, 유리당 함량에서는 엽과 관부에서 처리일수가 높을수록 유리당 함량 역시 증가하였다.
- 8월 30일 정식 후 화방 출현 및 개화율을 조사한 결과 20일 처리시 화방출현율 79%와 개화율 69%로 가장 높았다.

나. LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선
- 전조재배시 LED 파장별 초장은 Green > Blue > Red/Far-Red 조합광원 순이며, 엽수는 Green, Red/Blue 조합광원이 LED 광원 중에서 2~3매 더 많이 발생하였다. 엽장과 엽폭 또한 Green, Blue, Red/Blue 조합광원이 가장 넓었으나, Green 광원은 잎이 말리는 증상이 많이 발생하였다.

- 런너 발생 양상은 삼파장 램프 광원이 런너가 2.4개로 가장 많았으며, LED 광원 중에서는 Red/Blue=4 광원이 0.8개로 가장 많았다.
- 전조 후 15일 간격으로 식물체 생육 특성을 조사한 결과, 45일까지는 Red/Blue=5 광원이 다른 처리구에 비해 초장은 길어지고, 엽수는 많은 편이었으나 60일 경에는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 엽위 별로 엽장과 엽폭은 처리 간에 통계적인 유의성은 없었다.

다. 광 환경 개선을 위한 딸기재배 종합기술 체계 확립
- 농가 실증 검토시 무처리 보다는 전조처리구에서 초장이 길어지는 경향이었고 삼파장 형광등이 21.71cm로 가장 길었으나 관부직경은 백열등과 LED PAR 처리구에서 9.60mm와 9.79mm로 가장 두꺼웠으며, 초기에 발생한 런너 수 또한 무처리보다 2배 가량 많았다.
- 인공광원별로 전조재배시 설향 딸기의 초장과 엽병장은 전조처리 후부터 1~2cm 정도 서서히 생장 후 60일경 급격하게 생장하였으며, 무처리보다 전조처리구가 생장량이 많았으며, 그 중에서 백열등이 가장 많이 생장하였다.
- LED PAR 타입을 설치했을 때는 조명의 중심이 40lux 이상이며 좁은 지향각과 낮은 설치 위치로 인해 좁은 지역에 집광되는 현상이 나타나 조명과 조명사이의 기준조도 이하의 음영지역이 발생하였다. 따라서 조명의 설치 높이를 2m로 높이고 설치 간격도 3.75m로 조절하였고, 배치형태는 W 타입으로 변경하여 전체 식물에 12lux 이상이 조사될 수 있도록 하여 기준조도와 균제도를 만족하도록 최적화 하였다.
- 파장별로 과실의 당도는 R/FR=10 광원이 11.2°Brix로 가장 높았으며, Green 광원이 9.7°Brix로 가장 낮았고, 안토시아닌은 Blue와 R/FR=10 광원에서 가장 많았으며, 비타민 C 또한 R/FR=10 광원에서 가장 많았다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

가. 백열등 대체용 LED를 이용한 딸기 전조재배 기술
- 딸기 촉성재배시 휴면이 얕은 품종을 이용하여 전조재배가 감소하는 추세에 있으나, 현재 전조재배의 목적은 엽병이 서고, 엽면적도 증가하는 경향이 있어 휴면 억제가 아니라 잎의 수광 체제를 개선하는 목적으로 시행
- 전조를 실시하는 시기는 정화방이 개화하는 시점인 11월 중하순경이 적합하며 전조를 중단하는 시기는 기온이 상승하는 3월 이전에 완료
- 전조방법은 여러 가지 방법 중 광중단법(22:00~01:00, 3시간)을 이용하였으나, 딸기 품종에 따라 반응도의 차이가 있으므로 이에 따른 전조시간과 전조량을 조절해야 함
- 전조광원으로는 기존의 백열등을 대체하기 위해 LED(R660nm/B450nm=5, E26 소켓용) 광원으로 소비전력 16W, 지향각 120°정도이며 설치 및 보관 용이
- 설치 방법은 길이 100m 하우스의 경우 지표면에서 2m 높이, 3.75m 간격으로 W형으로 배치하며, 전체 광량이 식물체 선단부 2~4㎛ol $\cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 정도 균일하게 이루어지도록 해야 함

나. LED 광원별 전조재배시 딸기 과실 품질 및 성분 변화

- 딸기 과실 품질의 중요한 요소인 당도는 적색과 근적색광(R660nm/FR750nm=10) 조합광원에서 무처리 대비 13%, 백열등 대비 8% 증가, 비타민C 또한 증가하는 경향
- 딸기 과실 색소의 주성분인 안토시아닌은 청색(B450nm) 광원에서 증가하는 경향
- 광량을 식물체 선단부 100~120μmol·m^{-2}·s^{-1} 정도 균일하게 설치하고, 기존의 전조방법에 준하여 실시

다. 딸기 육묘시 런너 발생 및 화아분화 유도 LED 파장 선발

- 딸기 공정육묘 생산에 적합한 LED 광원 중 모주의 런너 발생량을 많게 하기 위해 Red/Blue와 Red/Far-Red 조합광원을 이용하고, 자묘의 화아분화 유도율을 높이기 위해서는 Red/Far-Red 조합광원을 이용하는 것이 유리함

S U M M A R Y

Technical development of Light Emitting Diodes(LED) using for a stabilizing production of Strawberry

1. Development of Technique for the Light Emitting Diodes ovement of Light environment for the in light culture of Strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.)

The strawberry of the vegatative propagation was produce daughter plant in generate runners. For the runner of occurrence from the mother plant was make use of them in the wintertime of pass through low temperature, then cultivated in long day and high temperature condition. The red/blue=5 LEDs light was installed at 1.2m height from ground surface, the lighting time was intermittent illumination the interval between lighting in 18:00 ~ 06:00. The mother plants of the lighting culture treatment were planting in the plastic greenhouse, and then daughter number 'Sulhyang' daughter was 25 in incandescent lamp treatment and 'Redpearl' daughter was 25.3 in LED BAR(red/blue=5) after 60 days. The plant height was longer in an artificial lighting than non treatment, also the runner number was many in them. The flower bud differentiation of the strawberry forcing culture was the important technique. The inducing condition of flower bud differentiation was low temperature and short day, and flower bud development was high temperature and long day. For inducing of flower bud differentiation the wave length was red/far-red. The daughter plant after lighting 20 days was setting in the plastic greenhouse, the 1st flower cluster emergence was 79%, the flowering was 69%.

2. Improvement of light environment for the Light Emitting Diodes in light culture of Strawberry(*Fragaria ×ananassa* Duch.)

The strawberry(*Fragaria × ananassa* Duch.) was usually cultivated in the form of lighting system at winter in the greenhouse. The illuminant which is used generally in the lighting system is the incandescent lamp. Light-emitting diodes(LEDs) are a potential irradiation source for intensive plant culture systems and photobiological research.

The role of infra-red, red, green, blue, red/far-red=5, red/blue=5 LEDs light and

broad-spectrum incandescent lamp in plant growth and morphogenesis was investigated in strawberry(*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Sulhyang) grown under approximately 100 ~ 150μ $molm^{-2}.s^{-1}$ photosynthetically active radiation(PAR) in LEDs.

Red/blue=5 LEDs light source extended plant height and leaf number at 45 days after light treatment, but there was not effet at 60 days after light treatment. There were larger leaf area under red/blue=5 LEDs than those of the others. The ascorbic acid contents were increased in quantity under red/far-red=5 LEDs and incandescent lamp and decreased in quantity under green LEDs. On the contrary total anthocyanin conents were increased in quantity under blue LEDs and decreased in quantity under incandescent lamp.

3. Establishment of Cultivation System for Improvement of the Light Environment of Strawberry(*Fragaria ×ananassa* Duch.)

The lighting culture continues its decrease trend owing to shallow dormancy cultivar in the forcing culture. The objective of lighting culture was stand the leaf stalk, increased the leaf area for the light interception character. The beginning time of lighting culture was around the middle of November and the suspending time of lighting culture was around the early in March. The time of them was 3 hours in night break(22:00 ~ 01:00). But the time and period of them was controled according to cultivar and culture environment. The lighting type was LED(red/blue=5), the wave length was red 660nm and blue 450nm. This type was put a LED bulb into the socket. The power consumption was 16W, angle beam was 120°. The red/blue=5 LEDs light was installed at 2m height from ground surface, the distance 3.75m, the arrangement W type in case of 10a(1 greenhouse). The strawberry plants was grown under approximately 2 ~ 4μ$molm^{-2}.s^{-1}$ photosynthetically active radiation(PAR) in LEDs.

The sugar contents was an important points in fruit quality. The experiment was increased in red/far-red=10 LEDs and 13 percent higher than the non treatment and 8 percent higher than the incandescent lamp. Also vitamin C was increased in them. The anthocyanin content was increased in blue LEDs.

제1장 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 반도체의 p-n접합 다이오드의 일종으로, 순방향으로 전압이 걸릴 때 단파장광이 방출되는 현상인 전기발광효과(electroluminescence)를 이용한 반도체 소자이다. 화합물 반도체의 일종으로 발광(發光)다이오드라고도 한다. 특, 순방향 전압 인가시 n층의 전자와 p층의 정공(hole)이 결합하면서 전도대(conduction band)와 가전대(valance band)의 높이차이(energy gap)에 해당하는 만큼의 에너지를 발산하는데, 이 에너지는 주로 열이나 빛의 형태로 방출되며, 빛의 형태로 발산되면 LED가 되는 것이다.

LED는 화합물 반도체의 조성비(또는 화합물의 종류)를 조절함으로써 적외선, 자외선 뿐아니라 가시광선도 빨강에서 보라색까지 모든 색상구현이 가능하고, LED는 광원으로써의 우수성이 뛰어나 각종 조명 분야에도 다양하게 사용되고 있다.

LED 광원의 농업적 이용시 장점으로는 종래의 인공광원에 비하여 식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광이며, 소형으로 판넬화가 가능하여 생장상(Growth chamber)과 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용이 가능하다. 또한 전력 소모량이 적으며, 열선을 방사하지 않아 근접조명이 가능하다. 수명 또한 반영구적(5만～10만 시간)이며, 특정파장만을 갖는 광질 선택이 가능하다.

LED 광원의 농업적 활용 목적은 잎들깨의 개화지연, 국화의 개화조절을 위한 작물의 개화시기 조절과 일조부족시 보조광원, 전조재배로 인한 생산량 증대가 가능하다. 또한 색소 형성에 관여하는 파장대 및 기능성분 증대에 관여하는 파장대의 사용으로 품질 개선 효과가 있다. 또한 특정 파장에 대한 해충의 기피 및 유인 현상을 이용하여 병해충 방제가 가능하다. 이러한 여러 가지 목적으로 농가 소득 증대에 획기적인 기술로 이용될 수 있다.

일반적으로 딸기 전조재배는 품종, 작형 및 전조 목적에 따라 결정되며, 전조에 사용되는 광원은 가정용 백열등이 대부분이며, Z형과 W형으로 1열식 또는 2열식으로 배치하고, 지면으로부터 1.5m 높이에 220V, 100W 백열등을 10a 당 50개 정도 설치하는 농가가 대부분이다.

현재 백열등은 전력의 약 10% 만을 빛으로 전환하므로, 형광등이나 LED 등과 같은 다른 대체재에 비해 에너지 낭비가 심하다. 많은 환경단체들이나 국가들에서 사용을 지양하고 있으며, 몇몇 국가에서는 백열등의 사용을 줄이기 위한 법안이나 조례를 제정하였다. 현재 우리나라에서도 2009년에 공공부문의 백열전구를 모두 퇴출시켰으며, 세계적으로 2014년경에는 완전히 사라질 것으로 예상하고 있다.

최근 LED의 성능이 빠르게 개선되고, 수명 및 에너지 절감 등에 대한 우수성이 커지면서 관련 분야의 LED를 이용한 응용제품 개발은 물론 기존의 백열등 및 조명기구들을 대체하려는 연구로 확대되고 있다. 또한 기후변화로 인한 일조량 부족과 동계재배시 광량 부족 문제의 해결방안으로서 LED의 적용 기술이 주목이 되어 농업과 광기술을 융합한 애그리포토닉스(Agriphotonics), 즉 LED 조명을 이용한 농업에 관심이 높다.

우리나라 딸기 재배는 8월 말부터 9월 상분에 정식하여 무휴면 재배하는 초촉성과 촉성재배 작형이 증가하고 있는 추세이며, 이를 위해서는 조기 우량자묘의 확보, 화아분화 촉진 등의 문제점을 해결해야 안정적인 재배가 가능할 것으로 생각된다. 현재 농업적으로 LED(Light

Emitting Diode)는 작물의 개화시기 조절과 일조 부족 시 보조광원, 전조재배 및 색소 형성에 관여하는 파장대 및 기능성분 증대에 활용되고 있다.

과거에 딸기는 과거에 휴면이 깊은 「보교조생」등을 촉성재배하는 데는 휴면을 억제할 목적으로 전조가 행해 졌었다. 현재 이용되고 있는 주요 품종은 휴면이 얕고, 장일 환경으로 하지 않더라도 휴면하지 않는 경향이 있기 때문에 일반적으로는 휴면을 전조를 필요로 하지 않지만 전조에 의해 엽병이 서고, 엽신도 서는 경향이 있어, 광합성 산물이 다량 생산된다. 그 때문에 전조 기술은 휴면 억제의 목적이 아니라 잎의 수광 체제를 개선하는 목적으로 행하여지는 것이다(윤혜숙 등, 2010).

일반적으로 딸기 전조재배는 품종, 작형 및 전조 목적에 따라 결정되며, 전조에 사용되는 광원은 가정용 백열등이 대부분이며, 전력의 약 10% 만을 빛으로 전환하므로, 에너지 낭비가 심하여 대체 광원 선발이 중요시 되고 있다. 현재 농업적으로 LED는 작물의 개화시기 조절과 일조 부족 시 보조광원, 전조재배 및 색소 형성에 관여하는 파장대 및 기능성분 증대에 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 딸기 촉성재배를 위한 효율적인 육묘체계를 구축하고자 LED 인공광원을 이용한 모주 조명시 런너 발생과 자묘의 화아분화 촉진에 미치는 영향을 알아보고, LED를 이용하여 딸기 전조재배시 식물의 생장, 과실 생산량 및 품질 등에 미치는 영향을 조사하여 현재 사용 중인 백열등의 대체 가능성을 검토하고자 한다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술개발 현황

1990년대 중반에 개발된 백색 LED와 같은 최근의 기술적 진보는 LED의 조명시스템 응용이 가능하게 되었고, 많은 제품들이 지금 시장에 출시되어 있다. 건물·대형 전광판의 광고 조명, LED-TV, 휴대폰, 디질털 카메라 등 가전제품, 교통신호등, 자동차의 헤드램프 및 내부장식 등 많은 분야에서 이용되고 있다. 현재, 단위 LED 칩을 수십~수백개 직병렬로 조합하여 수십~수백 lumen급의 광출력도 가능하다(장우진 등, 2006).

국내에서는 농업적으로 LED의 광 파장 제어 기술을 이용하여 식물의 생장 및 기능 물질 조절에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 원예식물의 생장 및 광형태형성에 미치는 LED의 효과 연구에서 기내식물의 배양에 활용하여 고구마 소식물체 배양에 red, blue 광원으로 건물중, 초장 및 전분, 당 농도가 증가하였고, 초화류 육묘시 plug 묘 생장 조절을 위해 blue, red, far-red의 혼합광원을 이용하였으며, 분화식물의 개화 조절에도 효과가 있으며, red 광원으로 장미, 카네이션의 절화 품질, 수명 연장에 효과가 큰 것으로 나타났다(충북대, 2003).

적색 LED를 이용한 농업용 전기 에너지 절감 연구에서는 잎들깨, 국화, 딸기에 전조재배시 백열등 대비 전기에너지를 50~80% 절감하였고, 참외, 깻잎, 국화의 수량 및 상품성이 증가하였고, 농가보급형 적색 LED 광처리 장치를 최초로 개발하여 농업현장에 보급하고 있는 실정이다.

현재 LED를 이용한 원예식물 연구 사례는 일부 있으나 딸기에 대한 구체적인 내용이 부족하며, LED를 이용하여 실제적으로 적용한 예가 드문 실정이다.

제2절 국외 기술개발 현황

일본의 식물재배용 인공광원으로서 발광다이오드의 특징을 충분히 이해하고 그 장점을 최대한 이용하여 지금까지와는 다른 개념의 식물공장 즉, 높은 식물제어 기능과 생산 능력을 겸비하고 시스템의 크기가 콤팩트한 식물공장을 구축할 수 있는 가능성을 기대하고 있다.

LED를 이용하여 식물을 재배할 경우, 식물체의 생장에 필요한 파장의 광을 집중적으로 균형있게 조사할 수 있기 때문에 재배의 효율성을 향상시키며 특히, (주)Mitsubishi 광 연구실에서는 상추, 시금치 및 수종의 초화의 개화나 결실 시기 조절, 수확물의 초형이나 영양성분 조절 등에의 이용 가능성을 검토하고 있으며, LED를 인공광원으로 하는 효율적인 식물재배용 광조사 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

식물의 생장, 특히 식물의 광합성에 있어서 연속광보다 pulse 광조사가 광 이용효율이 높다는 연구결과 등이 보고되고 있다. 앞으로 식물재배에 있어서 pulse 광조사용 식물재배용 인공광원으로서 LED가 매우 우수한 광원으로 인정받을 수 있다.

한편, 세계에서 처음으로 식물재배용 인공광원으로 LED를 이용한 것은 Mitsubishi(주)의 연구 그룹이었다. 이 연구그룹은 1982년 이른 시기에 토마토를 온실에서 재배할 때에 peak 파장 650nm의 적색 LED를 보광한 연구결과를 보고하였다. 그 후에 LED에 의한 식물재배에 관해서

는 우주기지 등의 폐쇄계에서의 생명유지 시스템(CELSS)관련 기술의 하나로서 미국 NASA의 연구그룹을 중심으로 LED의 이용가능성에 대한 검토가 시작되었으며, 현재 CELSS에서의 식물재배용 인공광원으로서의 이용가능성이 기대되고 있다.

미국에서는 일본의 적색광에 대한 연구결과가 학회에 보고되고 난 후부터 관심을 가지기 시작하여, 1987년부터 LED를 인공광원으로 한 본격적인 재배실험이 Wisconsin 대학의 Dr. Tibbitts 등을 중심으로 한 연구그룹에 의해 시작되었으며, 주로 상치를 이용한 육묘 실험과 재배실험에 대한 연구결과가 보고되고 있다.

LED 개발의 선두주사인 일본에 비해 미국에서는 Wisconsin 대학의 Dr. Bula 등을 선두로 하여 식물체의 생장 및 형태형성에 미치는 청색 및 적색의 LED에 대한 실험결과에 대하여 주목을 받기 시작하였다.

그 이후에도 LED와 관련한 식물의 생장과 발달 효과, 개화조절, 소식물체 배양, 기능성 물질 및 병해충에 대한 연구도 많이 진행되고 있다(충북대, 2003).

유럽에서는 현재보다 더욱 발전된 식물공장을 실현하기 위하여 농작업 공정자동화(벨기에 MSG식물공장, 네덜란드 KP-HOLLAND 분화식물고장 등), 주간조절 장치의 자동화(네덜란드 스웨데포닉) 등의 분야에서 활발하게 연구를 수행하고 있으며, 빌딩 형태의 입체식 자동 식물공장을 개발하고, 태양광과 고압나트륨 램프를 병행한 광원을 사용하여 통제된 시설 안에서 빛과 공기, 열 등 생물이 자랄 수 있는 환경을 인공적으로 조절하는 것으로 공산품처럼 농산물을 계획 생산하는 시스템적인 농업 형태를 연구하고 있다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

<1세부과제 LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발>

제1절 딸기 LED 모주 육묘시 파장별 런너발생 검토

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)으로 저온을 충분히 거친 모주를 재료로 하여, 90cm 포트에 원예 상토를 넣어 각 처리별 20개체씩 정식하였다. 딸기 육묘장 베드 위에서 실험하였고, 양액은 야마자키 딸기 전용 배양액을 조성하여 관주하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)의 종류는 표 1과 같고, Red/Blue=4, Red/Blue=9, Red/Far-Red=4, Red/Far-Red=9 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었다. LED의 PCB(printed circuit board) 크기는 직경 200mm×1.6(t)이며, PCB 당 램프를 128개 부착하였다. 대조구는 조명을 전혀 하지 않았고, 전조시간은 자연광+6시간(20:00~02:00)과 자연광+24시간 처리하였다.

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 런너 발생수 조사

전조 처리 후 1주일 간격으로 런너 발생수의 변화를 4주간 조사하였다.

2. 연구결과

딸기는 영양번식 작물로 모주에서 런너를 발생시켜 자묘를 생산 후 정식묘로 이용한다. 모주로부터 런너가 발생하기 위해서는 모주가 비휴면 상태일 것이 가장 중요하며, 그 후에는 장일과 고온조건이 필요하다. 그러기 위해서는 모주는 겨울철에 충분히 저온에 조우시켜 휴면을 타파하여 두고, 장일·고온으로 되는 4월 경에 무균 상토에 정식한다. 촉성재배에서 겨울동안 수확을 계속한 주는 모주로 이용하는 경우에 런너의 발생이 좋지 않은 경우가 있다. 이것은 겨울철에 하우스 내에서 재배하여 휴면타파에 필요한 저온을 조우하지 못했기 때문이다.

충분히 저온에 조우하여 완저히 비휴면 상태에 있는 경우에는 온도만 적당하면 일장과 관계없이 런너가 발생한다. 그러나 저온조우가 충분하지 못한 경우에는 장일에 의해서 런너 발생이 촉진된다(전하준, 2010).

딸기 모주 정식 후 LED를 이용하여 4주간 육묘시 파장별로 런너 발생정도를 검토하기 위해 다양한 파장의 LED 광원을 설치하였고, 조명등 아래 10cm 지점에서 광량을 측정한 결과 Green, Blue, White 광원이 약 70㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 이상으로 다른 광원보다 광량이 높은 편이었다(표 1).

표 1. 실험에 사용된 LED 종류 및 광량(조명아래 10cm 측정)

파장	PPFD ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	파장	PPFD ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	파장	PPFD ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
Red (660nm)	27～30	Blue (470nm)	74～78	R/B=9 (660/470nm)	36～39
Yellow (595nm)	42～45	White	74～77	R/FR=4 (660/730nm)	24～26
Green (530nm)	68～71	R/B=4 (660/470nm)	55～58	R/FR=9 (660/730nm)	24～27

딸기 모주 정식 후 LED를 이용하여 4주간 육묘시 파장별로 런너 발생정도를 검토한 결과 (그림1, 2) 파장별 모주의 런너 발생수는 6시간 조사시 무처리 2.25개 보다 R/FR=4, R/FR=9, R/B=9 조합광원이 1.5배 많았고, 24시간 조사에서는 White, R/B=4 광원이 3.75개로 가장 많았으나, LED 광원 모든 처리구에서 3개 이상 발생하였다. 모주의 런너 발생에는 단색광원 보다 조합광원이 효과적이었다.

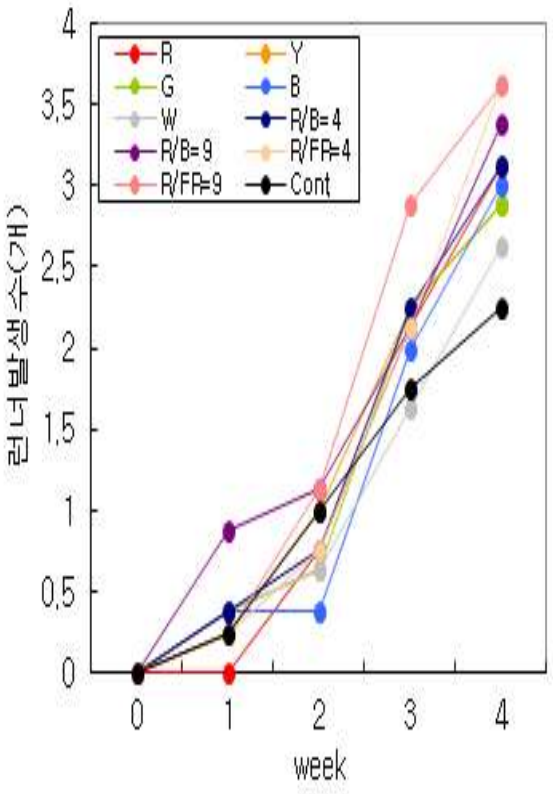


그림 1. 자연광 + 6시간 조명

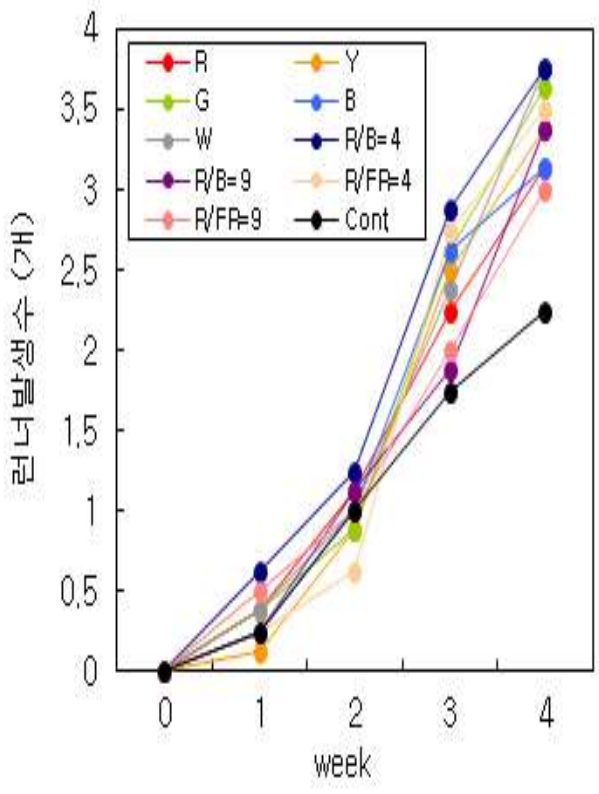
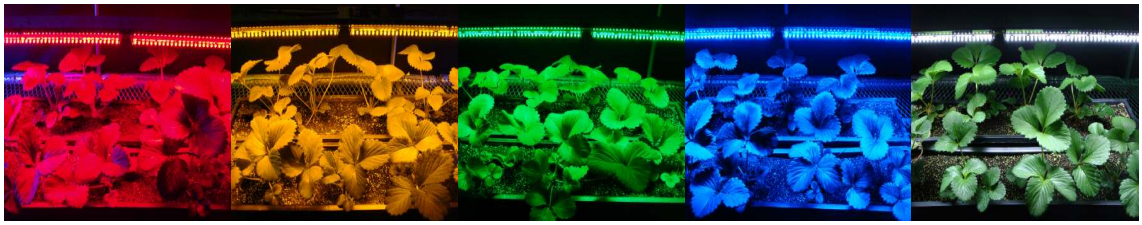
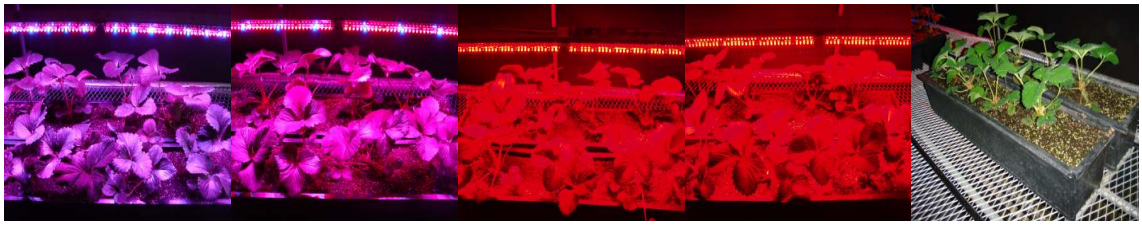


그림 2. 자연광 + 24시간 조명



Red Yellow Green Blue White



Red/Blue=4 Red/Blue=9 Red/FR=4 Red/FR=9 Control

그림 3. 딸기 LED 육묘시 파장별 조사 전경

3. 적요

가. LED 조명등 아래 10cm 지점에서 파장별로 광량을 측정한 결과, Green, Blue, White 광원이 약 70μmol·m^{-2}·s^{-1} 이상으로 다른 광원보다 광량이 많이 발생하였다.

나. 육묘시 LED 파장별 모주의 런너 발생수는 6시간 조사시 무처리 2.25개 보다 R/FR=4, R/FR=9, R/B=9 조합광원이 1.5배 많았고, 24시간 조사에서는 White, R/B=4 광원이 3.75개로 가장 많았으나, LED 광원 모든 처리구에서 3개 이상 발생하였다. 모주의 런너 발생에는 단색광원보다 조합광원이 효과적이었다.

제2절 딸기 LED 모주 육묘시 런너 발생 촉진 기술

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)으로 저온을 충분히 거친 모주를 재료로 하여, 90cm 포트에 원예 상토를 넣어 각 처리별 20개체씩 정식하였다. 딸기 육묘장 베드 위에서 실험하였고, 양액은 야마자키 딸기 전용 배양액을 조성하여 관주하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)의 종류는 Red/Blue=5 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었고, 60cm 길이 램프를 2개 직렬로 연결하였으며, 대조 광원인 삼파장 형광등은 소비 전력이 50W로 파장 스펙트럼은 Red, Green, Blue가 많이 발산되는 양상을 타나낸다. 전조시간은 3시간(22:00~01:00) 연속 조명하였고, 광량은 100~150μmol·m^{-2}·s^{-1}로 설치하였다.

LED Red/Blue=5(15W) 60cm 직렬 연결 전원 공급장치

3파장 형광등(50W) 3파장 형광등 갓 설치 220V 전원 연결

그림 1. 모주 런너 발생 실험용 광원

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 후 15일과 30일째 초장, 엽수, 엽장, 엽폭을 조사하였고, 런너 발생수의 변화는 2주 후부터 1주일 간격으로 6주까지 조사하였다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정

(2) 엽수 : 완전 전개한 잎의 수를 측정(미 전개엽 제외)

(3) 엽장, 엽폭 : 완전 전개한 잎 중 가운데 잎의 길이와 폭을 측정

마. 엽록소함량

전조 30일경 후 채취한 잎 1g을 acetone 80% 용액 50mL로 마쇄하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 660nm와 642nm에서 흡광도를 측정한 후 식품양양실험핸드북(한국식품영양학회, 2000)의 방법에 따라 total chlorophyll, chlorophyll a와 chlorophyll b 함량을 계산하였으며, mg/l로 표시하였다.

바. 광합성 측정

2~3번째 잎의 광합성율을 휴대용 광합성 측정기(LI-6400, LI-COR)를 이용하여 측정하였다. 측정시 leaf chamber 내 CO2농도는 400ppm, 온도는 25℃, PAR값은 1250㎛ol $\cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 조절하였다.

사. 엽면적 측정

전조 4주 후 엽면적 측정기(SI700, SKYE)를 이용하여 지상부의 완전 전개한 잎만을 채취하여 측정하였고, 엽위별로 1~3번째 잎까지 측정하였다.

2. 연구결과

딸기는 영양번식 작물로 모주에서 런너를 발생시켜 자묘를 생산 후 정식묘로 이용한다. 모주로부터 런너가 발생하기 위해서는 모주가 비휴면 상태일 것이 가장 중요하며, 그 후에는 장일과 고온조건이 필요하다. 그러기 위해서는 모주는 겨울철에 충분히 저온에 조우시켜 휴면을 타파하여 두고, 장일·고온으로 되는 4월 경에 무균 상토에 정식한다. 촉성재배에서 겨울동안 수확을 계속한 주는 모주로 이용하는 경우에 런너의 발생이 좋지 않은 경우가 있다. 이것은 겨울철에 하우스 내에서 재배하여 휴면타파에 필요한 저온을 조우하지 못했기 때문이다.

충분히 저온에 조우하여 완저히 비휴면 상태에 있는 경우에는 온도만 적당하면 일장과 관계없이 런너가 발생한다. 그러나 저온조우가 충분하지 못한 경우에는 장일에 의해서 런너 발생이 촉진된다(전하준, 2010).

딸기 LED 런너 발생 실험에 사용된 광원의 전경은 그림 2와 같다.

무처리 삼파장 램프 Red/Blue=5

그림 2. 딸기 LED 런너 발생 실험 전경

모주 조명 후 15일과 30일째 생장 변화를 살펴본 결과(표 1), 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 모두 유의성은 없었고, 런너 발생량에서 초기 2주째에는 Red/Blue=5 광원이 발생량이 많았으나, 3주 이후에는 유의성이 없었다.

표 1. 딸기 모주 광원별 생장 반응

파 장	초장(cm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(개)	
	15일♪	30일	15일	30일	15일	30일	15일	30일
Control	1.95a[z]	2.89a	0.43a	0.80a	0.42a	0.63a	1.23a	2.60a
3-Flourescent Lamp	1.85a	2.96a	0.79a	1.08a	0.78a	0.96a	1.53a	2.89a
Red/Blue=5	1.52a	2.53a	0.47a	0.78a	0.33a	0.62a	1.30a	2.70a

♪ 조명 후 생장변화의 정도를 나타냄

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

표 2. 딸기 모주 광원별 런너 발생량

파 장	2주♪	3주	4주	5주	6주
Control	0.27b[z]	1.03a	1.70a	2.07a	2.37a
3-Flourescent Lamp	0.47ab	1.07a	1.73a	2.30a	2.63a
Red/Blue=5	0.70a	1.17a	1.73a	2.20a	2.67a

♪ 조명 후 생장변화의 정도를 나타냄

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

딸기 모주 조명시 잎의 온도와 광량를 측정한 결과(표 3), 무처리 보다 조명 처리구에서 엽온이 0.6~~0.8℃정도 높은 경향을 나타내었으며, 광량은 같은 높이에서도 램프의 측정 위치에 따라 차이가 많이 났으며, 거리가 멀어질수록 급격히 감소하였다. 자묘 위치(30×30cm)에서 측정했을 때는 삼파장 형광등이 더 많았다.

표 3. 딸기 모주 광원별 조명시 엽온 및 광량 측정

파 장	엽온(℃)	광량($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)♪	
		10cm	30×30cm
Control	21.56±0.30[z]	0	0
3-Fluorescent lamp	22.39±0.34	100.75±37.42	8.39±2.81
Red/Blue=5	22.15±0.37	99.48±23.99	4.79±1.70

♪광량 측정위치 : 딸기 모주 지상부 위 10cm 위치, 딸기 자묘 지상부 위치

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

조명 후 30일 경 엽록소 함량을 측정한 결과(그림 3), Red/Blue=5 조합광원 처리구가 0.98mg/g으로 다른 처리구에 비해 높은 경향이었으며, 무처리 보다는 조명 처리구가 조금 더 높은 경향이었다.

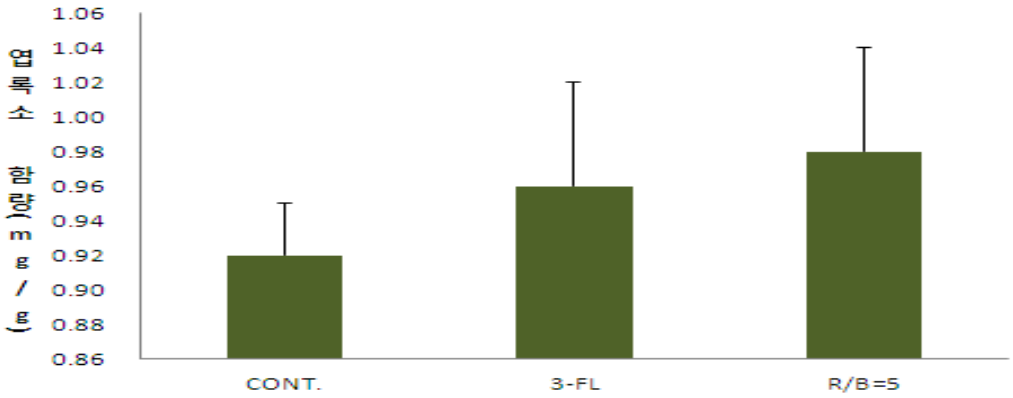


그림 3. 딸기 모주 광원별 조명처리 후 30일경 엽록소함량

모주 조명 1시간 후 광합성량을 측정한 결과(표 4), 광합성률은 - 8.05~-8.53$\mu molCO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$으로 호흡 상태였으나, 무처리 보다는 약간 높은 경향이었고, 세포내 CO_2 함량에서 처리 간에는 차이가 크게 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면 실험 처리시기가 5월 하순으로 고온이 유지되어 처리별 광원 효과보다는 온도의 영향으로 유의성이 크게 나타나지 않은 것으로 생각되어 4월경 모주 정식 후 광원별 초기 런너 발생량을 재검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

표 4. 딸기 모주 조명시 광원별 광합성량

파 장	Photosynthetic rate ($\mu molCO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Conductance to H_2O ($molH_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Intercellular CO_2 concentration ($\mu molCO_2 \cdot mol^{-1}$)
Control	-8.53 ± 0.13[z]	0.06 ± 0.08	959 ± 312
3-Fluorescent lamp	-8.05 ± 0.55	0.02 ± 0.00	1,063 ± 132
Red/Blue=5	-8.10 ± 0.23	0.01 ± 0.01	1,448 ± 627

파 장	Transpiration rate ($mmolH_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Vapor pressure deficit (kPa)	External quantum sensor ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)
Control	0.74 ± 0.12	3.15 ± 2.00	0
3-Fluorescent lamp	0.70 ± 0.14	3.60 ± 0.06	17.00 ± 4.30
Red/Blue=5	0.54 ± 0.08	4.73 ± 3.61	11.20 ± 1.92

* 조명 1시간 후 측정

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

딸기 모주 조명 Red/Blue=5 광원을 설치하여 조명 시간별 생육 특성을 조사한 결과(표 5), 처리 20일 후 엽위별 생장량을 처리 시간별로 비교하였을 때 통계적 유의성은 없었으나, 제 1엽과 제2엽에서 엽병장이 무처리 보다 조금 길어지는 경향이었다. 조명 처리 후 매주 런너 발생량을 조사한 결과(표 6)에서도 처리 간에 유의성은 없었다.

이상의 결과를 종합해 보면 본 실험 또한 8월 경 고온의 영향을 많이 받아 처리시간에 따른 효과를 검증해 보기가 어려웠으므로 4월 경 처리시간 및 처리시기에 따른 재검토 및 보완 연구가 필요할 것으로 생각된다.

표 5. 딸기 모주 조명 시간별 생육 특성

파 장	제1엽			제2엽			제3엽		
	엽병장♪ (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
R/B=5 (0h)	4.58a[z]	9.24a	3.33a	0.70a	2.23a	1.03a	0.83a	0.73a	0.30a
R/B=5 (3h)	5.03a	9.78a	3.69a	0.90a	2.26a	0.90a	0.23a	0.74a	0.43a
R/B=5 (6h)	5.69a	10.70a	3.70a	0.94a	2.43a	1.11a	0.28a	0.95a	0.36a

♪조명 처리 20일 후 생장변화의 정도를 나타냄
[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

표 6. 딸기 모주 조명 시간별 런너 발생량 변화

파 장	2주♪	3주	4주	5주
R/B=5 (0h)	2.13a[z]	2.43a	3.40a	3.93a
R/B=5 (3h)	1.97a	2.47a	3.23a	3.73a
R/B=5 (6h)	2.13a	2.43a	3.27a	3.90a

♪조명 처리 20일 후 생장변화의 정도를 나타냄
[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

3. 적요

가. 본 실험에 사용한 광원은 고휘도 LED 램프로 파장은 Red(660nm)/Blue(450nm)를 5:1 비율로 조합하였고, 60cm 길이 램프를 2개 직렬로 연결하였으며, 대조 광원인 삼파장 형광등은 소비전력이 50W로 파장은 Red, Green, Blue가 많이 발산되는 양상을 나타낸다.

나. 조명 후 15, 30일째 생장변화를 살펴본 결과, 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 모두 유의성은 없었고, 런너 발생량에서 초기 2주째에는 R/B=5 광원이 발생량이 많았으나, 3주 이후에는 유의성이 없었다.

다. 조명시 딸기 엽온과 광량를 측정한 결과, 무처리 보다 조명 처리구에서 엽온이 0.6～～0.8℃정도 높은 경향을 나타내었으며, 광량은 같은 높이에서도 램프의 측정 위치에 따라 차이가 많이 났으며, 거리가 멀어질수록 급격히 감소하였다. 자묘 위치(30×30cm)에서 측정했을 때는 삼파장 형광등이 더 많았다.

라. 조명 후 30일 경 엽록소 함량을 측정한 결과, R+B(5:1) 처리구가 다른 처리구에 비해 높은 경향이었다.

마. 조명 1시간 후 광합성을 측정한 결과, 광합성율은 -8.05～-8.53으로 호흡상태였으나, 세포내 CO_2 함량에서 처리 간에 차이가 크게 나타났다.

바. 조명처리 20일 후 엽위별 생장량을 처리시간별로 비교하였을 때 통계적인 유의성은 없었으나 제1엽과 제2엽에서 엽병장이 무처리 보다 조금 길어지는 경향이었다.

사. 조명처리 후 매주 런너 발생량을 조사한 결과, 처리 간에 유의성은 없었다.

아. 이상의 결과를 종합해 보면 실험 처리시기가 5월 하순으로 고온이 유지되어 처리별 광원효과보다는 온도의 영향으로 유의성이 크게 나타나지 않은 것으로 생각되어 4월경 모주 정식 후 광원별 초기 런너 발생량을 재검토할 필요가 있을 것으로 생각된다.

제3절 딸기 촉성재배시 모주 조기정식 후 런너 발생 촉진 기술

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)과 일본 품종인 레드펄(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Redpearl)을 이용하여 저온을 충분히 거친 모주를 재료로 10cm 포트에 원예 상토를 넣어 각 처리별 20개체씩 정식하였다. 2011년 3월 9일 처리하였고, 재배조건은 1중 비닐하우스에서 야간온도 13℃를 유지하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)의 종류는 Red/Blue=5 조합광원의 비율은 스펙트럼 파장의 비율로 나타내었고, E26 소켓에 이용 가능한 PAR 타입의 광원과 길이 1m인 BAR 타임의 광원을 이용하였으며, 대조광원으로 백열등(60W)을 이용하였다. 전조시간은 18:00~06:00까지 30분 간격으로 간헐 조명하였고, 지표면에서 1m 높이에 설치하였다. 야간온도를 13℃로 맞추기 위해 보온 덮개를 이용하였다.

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 41일 후 초장, 관부직경, 분주수, 런너수를 조사하였고, 생체중과 건물중은 조사 완료 후 분석하였다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정
(2) 관부직경 : 모주 관부의 직경을 측정
(3) 분주수 : 모주 관부가 분주한 개수를 측정
(4) 런너수 : 모주에서 발생한 런너 개수를 측정
(5) 생체중, 건물중 : 관부를 중심으로 지상부와 지하부로 나누어서 생체중을 측정한 후 80℃, 48시간 열풍건조기로 건조 시킨 후 건물중을 측정

마. 유리당 함량

딸기 잎 1g에 ethanol 80% 25ml을 첨가하여 균질기로 마쇄한 다음, water bath를 이용하여 80℃에서 30분간 열탕 처리하였다. 처리된 시료액을 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상징액을 취하고, 잔사는 다시 ethanol 80%을 첨가하여 위의 과정을 2회 반복하여 최종적으로 얻은 상징액이 50ml가 되게 하였다. 획득한 상징액을 환저플라스크에 넣어 회전농축기를 이용하여 감압농축하였다. 농축액을 3차 증류수 2ml로 잘 섞은 다음, Sep-Pak C18 cartrige를 이용하여 1차 여과하였다. 여과된 액을 다시 0.45㎛ 구공의 PVDF 주사기용 필터를 이용하여 2차 여과하여 UPLC(Waters, USA)를 통해 분석하였다. 분석시의 조건은 zorbax carbohydrate

column(HP사, 4.6mm ID×150mm, 5㎛)을 이용하였으며, 이동상은 acetonitrile 75%를 사용하였으며, 온도 30℃, injection volume 30㎕, 유속 1.0ml/min로 수행하였다.

2. 연구결과

딸기 인공광원별 모주 조명 41일 후 생육 특성을 조사한 결과(표 1), 설향은 무처리 보다 인공광원 처리구에서 초장이 전반적으로 모두 길었고, 관부 직경은 LED PAR가 1.63mm로 가장 굵었으며, 분주 수 또한 식물체당 0.1개로 가장 작았다. 발생한 런너 수는 1.6~1.9개로 처리 간에 유의성은 없었다. 레드펄에서는 LED 광원 처리구가 초장이 더 길었고, 관부직경은 LED BAR에서 17.1mm로 가장 굵었으며, 품종 특성상 분주가 거의 발생하지 않았다. 런너수 또한 설향과 유사하였다.

표 1. 딸기 LED 모주 전조처리시 광원·품종별 초장 및 분주수(전조처리 41일 후)

품종	광원	초장 (cm)	관부직경 (mm)	분주수 (개/주)	런너수 (개/주)
설향	무처리	35.4	14.9	0.5	1.7
	백열등	36.1	14.4	0.2	1.6
	형광등	38.4	15.4	0.4	1.9
	LED PAR	38.5	16.3	0.1	1.8
	LED BAR	36.8	15.5	0.4	1.8
레드펄	무처리	33.2	13.1	0.0	1.6
	백열등	33.8	14.8	0.0	1.7
	형광등	34.5	15.3	0.1	1.6
	LED PAR	37.2	15.2	0.0	1.9
	LED BAR	38.3	17.1	0.0	1.8

그림 1. 딸기 LED 모주 전조처리시 런너 발생 모습(위:설향, 아래:레드펄)

지상부와 지하부의 생체중과 건물중을 조사한 결과(표 2), 설향은 LED BAR에서 S/R율이 높은 경향이었으며, 지상부와 지하부 모두 생육이 촉진된 것을 확인하였다. 레드펄에서도 유사한 경향을 나타내었다. 잎의 엽록소 함량을 측정한 결과(표 3), 설향에서는 큰 차이가 없었으나 레드펄에서는 LED BAR가 높은 경향이었다.

표 2. 딸기 LED 모주 전조처리시 광원·품종별 생체중 및 건물중

품종	광원	생체중(g/주)			건물중(g/주)		
		Shoot	Root	S/R	Shoot	Root	S/R
설향	무처리	32.8	17.4	1.9	6.4	3.2	3.2
	백열등	24.9	14.3	1.7	5.5	3.6	3.1
	형광등	25.4	15.8	1.6	4.8	3.7	2.7
	LED PAR	31.4	17.3	1.8	5.8	4.4	2.9
	LED BAR	35.6	15.9	2.2	6.4	4.8	3.6
레드펄	무처리	20.7	11.7	1.8	2.0	1.1	3.0
	백열등	22.9	12.9	1.8	1.8	1.4	2.6
	형광등	22.7	15.3	1.5	1.8	1.6	2.4
	LED PAR	25.0	14.3	1.8	2.0	1.6	2.7
	LED BAR	27.7	14.3	1.9	1.8	1.5	3.2

표 3. 딸기 LED 모주 전조처리시 광원·품종별 엽록소 함량

품종	광원	Total chlorophyll (mg/g)	Chlorophyll a (mg/g)	Chlorophyll b (mg/g)
설향	무처리	1.04	0.77	0.28
	백열등	1.01	0.74	0.27
	형광등	0.86	0.64	0.23
	LED PAR	0.90	0.67	0.24
	LED BAR	1.01	0.75	0.27
레드펄	무처리	1.09	0.82	0.28
	백열등	1.28	0.95	0.34
	형광등	0.90	0.67	0.24
	LED PAR	1.16	0.86	0.31
	LED BAR	1.36	1.01	0.36

딸기 LED 모주 전조처리시 광원별 지상부 잎의 유리당 함량(표 4)은 품종마다 다른 반응 차이를 보였고, 품종별로는 설향은 무처리가 총 당함량이 가장 많았으나 레드펄은 무처리보다는 전조처리구에서 총 당함량이 높은 경향이었다. 딸기 잎의 유리당은 fructose가 가장 많은 비중을 차지하고 다음으로 glucose, sucrose 순이다. 총 당함량에는 fructose와 glucose가 가장 많은 영향을 미쳤다.

표 4. 딸기 LED 모주 전조처리시 광원·품종별 지상부(잎) 유리당 함량(mg/100g)

품종	광원	Sucrose	Glucose	Fructose	Xylose	Maltose	Total sugar
설향	무처리	322	674	735	43	164	1,938
	백열등	379	494	522	41	144	1,580
	형광등	296	418	458	41	136	1,350
	LED PAR	295	530	538	44	166	1,573
	LED BAR	496	365	402	42	135	1,439
레드펄	무처리	330	362	351	36	153	1,234
	백열등	248	521	554	39	186	1,547
	형광등	304	585	587	43	216	1,734
	LED PAR	234	520	529	40	175	1,499
	LED BAR	275	564	587	40	218	1,684

전조 처리한 모주를 6월 20일경 육묘장에 정식 후 60일 후 획득한 자묘수를 확인해 본 결과(그림 2), 설향에서는 백열등이 25개로 가장 많았고, 레드펄에서는 LED BAR가 25.3개로 가장 많았다. 이상의 결과를 종합해 보면 모주 전조 처리시 초장은 무처리보다 인공광원 처리구에서 길어졌으며, 런너 수 또한 조금 높은 경향이었고, 생체중, 건물중과 엽록소 함량 또한 LED BAR에서 높은 결과를 나타내었으나, 모주 정식 후 확보한 자묘 수는 품종 간에 차이를 나타내었다. 따라서 딸기 품종별 우량 자묘 확대를 위해 더욱 정밀한 기술이 연구되어야 할 것으로 생각된다.

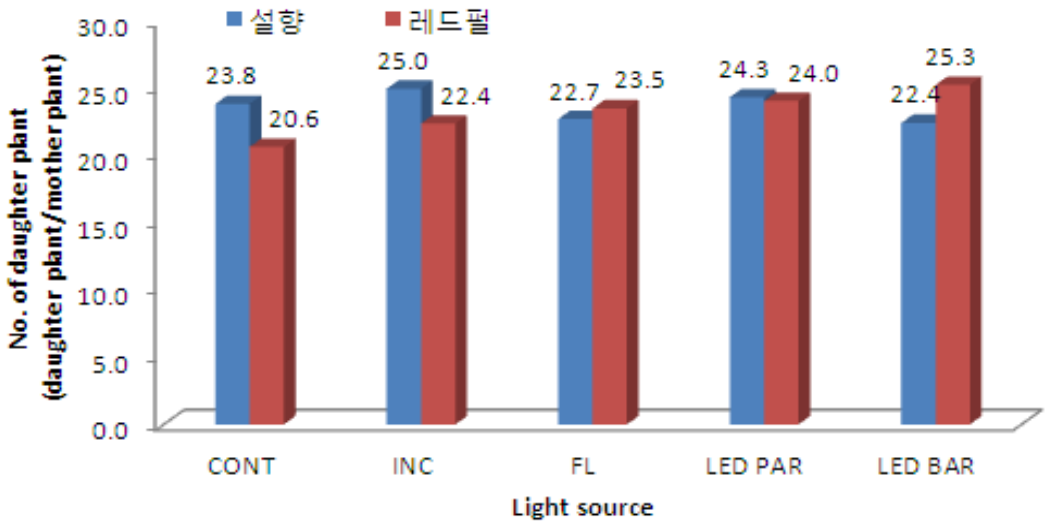


그림 2. 딸기 LED 모주 전조처리시 광원 ·품종별 자묘 발생 수

3. 적요

가. 모주 전조처리 41일 후 광원에 따라 차이가 나지는 않았고, 무처리 보다는 전조처리구가 초장이나 관부직경 모두 두 품종에서 증가하는 경향이었고, 설향은 레드펄에 비해 분주가 많이 되는 경향이었다.

나. 생체중과 건물중을 조사하여 S/R율을 조사한 결과, 두 품종 모두 LED BAR 처리구에서 S/R율이 높게 나와 웃자라는 경향을 보였으며, 이것은 100㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 이상 고광량을 조사하였기 때문으로 생각된다.

다. 두 품종 모두 엽록소 함량에서는 형광등 처리구에서 낮은 편이었고, 레드펄에서는 LED BAR 처리구가 total chlorophyll 1.36mg/g으로 가장 많은 편이었다.

라. 지상부 잎의 유리당 함량을 조사한 결과, fructose와 glucose가 주를 이루었고, 다음으로 sucrose 순이었으며, 설향은 전조처리로 인해 총 당함량이 낮아지는 경향이었으나, 레드펄은 증가하는 경향을 나타내어 두 품종간에 차이가 있었다.

마. 런너 발생 후 모주를 정식하여 자묘 발생량을 조사한 결과, 설향에서는 처리 간에 큰 차이가 없었으나 레드펄은 무처리보다 전조처리구가 5개정도 더 많이 획득하였다.

제4절 딸기 자묘 화아분화 유도 파장 선발

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)의 자묘를 이용하였다. 7월 하순 경 런너를 절단하여 독립 영양시켰고, 재배조건은 1중 비닐하우스에서 육묘베드 위에서 실험하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 Red, Yellow, Green, Blue, White, Red/Blue=4, Red/Blue=9, Red/Far-Red=4, Red/Far-Red=9 광원이며, 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었다. LED의 PCB(printed circuit board) 크기는 직경 200mm×1.6(t)이며, PCB 당 램프를 128개 부착하였다. 대조구는 조명을 전혀 하지 않았고, 전조시간은 자연광+6시간(20:00~02:00)이며, 광량은 식물체 선단부에서 100㎛ol·m^{-2}·s^{-1}로 조절하였다.

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 주사형 전자현미경 관찰

실체현미경 하에서 관찰한 딸기의 경정부를 3~5mm를 FAA(formalin : acetic acid : ethanol 50% = 5:5:90, v/v/v)용액으로 고정시킨 후 potassium phosphate buffer 0.1(pH 7.4)로 10~15분간 2~4회 수세 후 4℃에서 16시간 방치하였다. 고정액은 OsO4 1%로 하였으며, 4℃에서 1~2시간 후고정 한 다음 potassium phosphate buffer 0.1M(pH 7.4)로 10~15분간 2~3회 수세해서 ethanol 30, 50, 70, 80, 90, 95, 100% 용액에 순서대로 각각 10~15분씩 담궈 탈수시켰다. 그 후 iso-amylacetate에 20~30분 동안 2회 처리한 후 16시간 방치시킨 다음 임계점 건조기로 건조시켜 mount-disk에 접착하였다. 접착된 시료는 ion coater를 이용하여 두께 100~200 Å가 되게 백금 코팅하여 주사형 전자현미경(scanning electron microscope, SEM)으로 관찰 및 촬영하였다.

2. 연구결과

화아가 분화했다는 것은 어떤 의미일까? 간단히 말하면, 정아에 꽃눈이 생겼다는 것이다. 이제까지 잎을 차례로 분화하던 생장점에서 잎의 분화를 멈추고, 꽃을 분화하는 것으로 결정되었다는 것을 '화아분화되었다'라고 한다.

좀 더 구체적으로 살펴보면 여름철 잠깐 동안 저온조건에 놓인다 하더라도 좀처럼 꽃눈은 생기지 않는다. 왜나하면 지속적인 저온이 필요하기 때문이다. 저온이 어느 정도 축적되면 정아는 화아분화 쪽으로 향하게 된다. 그러나 아직 완전하지 않을 수 있다. 반대로 환경조건이 되면, 예를 들어 고온조건으로 옮기면 또 다시 잎을 분화하는 방향으로 돌아가 버릴 수도 있

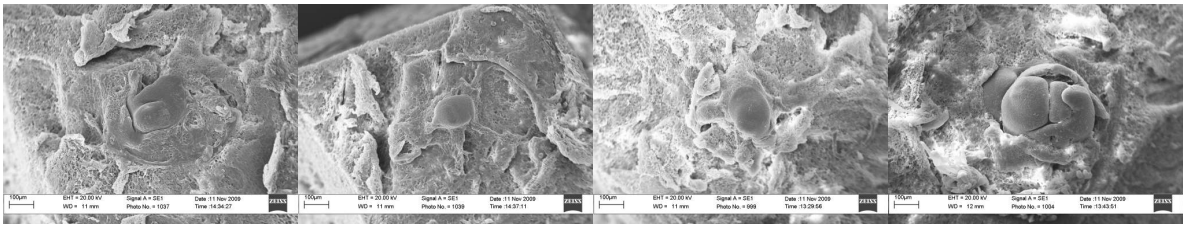
다. 저온조건을 계속적으로 주면, 고온조건에 옮긴다 해도 다시 잎으로 분화되지 않는 시기가 있다. 본질적으로 이와 같이 다시 영양생장으로 되돌아가지 않는 시기를 '화아분화했다'고 해석할 수 있다. 여기에서 의미를 보다 명화하게 하기 위해, 「화아분화가 유기되었다」라는 표현을 사용하기로 한다.

여름철, 해부현미경 밑에서 잎을 한 장 한 장 제거하다가 보면, 원추형으로 된 부분이 나온다. 이것은 잎눈인데, 이것을 제거하면 편평하게 생긴 부분이 나온다. 이것이 생장점이다. 화아분화가 되면 이곳이 비대해진다. 비대가 확실히 확인될 정도가 되면 또는 비대해진 부분이 2개로 분할하는 시기를 일컬어 일반적으로 「화아분화되었다」라고 한다.(윤혜숙 등, 2010)

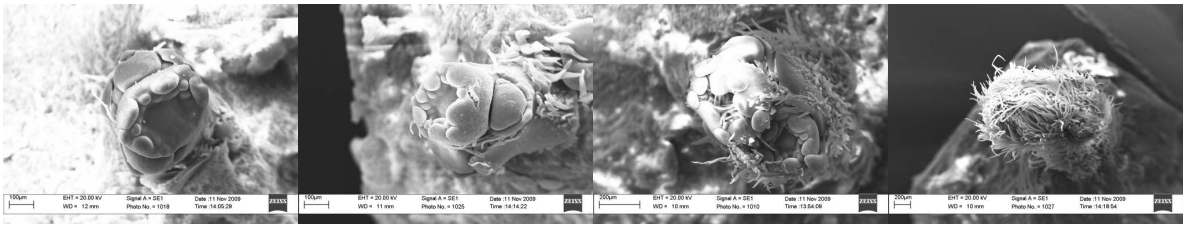
그러나 생리적으로는 화아분화가 결정된 시기는 이보다 이전이라고 생각한다.

딸기의 화아분화는 기상조건과 딸기의 체내조건이 일정 기준에 달한 때부터 시작된다. 여러 가지 기상조건 중에서도 딸기의 화아분화에는 온도와 일장의 상호작용이 가장 많은 영향을 미친다.

본 실험에 관찰한 설향 딸기의 화아분화 양식은 그림 1과 같으며, 자묘의 정식기를 결정하는 화아분화 단계는 화아분화기(Stage Ⅲ)이다.



Stage Ⅰ 미분화기 Stage Ⅱ 화아분화초기 Stage Ⅲ 화아분화기 Stage Ⅳ 화방분화기



Stage Ⅴ 꽃받침형성기 Stage Ⅵ 꽃잎형성기 Stage Ⅶ 수술형성기 Stage Ⅷ 암술형성기

그림 1. 딸기 '설향' 화아분화 양식(SEM, 주사형 전자현미경 촬영)

딸기 육묘시 자묘에 LED 광원을 파장별로 조사한 후 화아분화 정도를 검경한 결과(표 1), LED 파장은 Red, Yellow, Green, Red/Far-Red=4, Red/Far-Red=9 광원이 무처리 보다 1주일 정도 빨리 분화하였다.

3. 적요

가. 딸기 자묘의 정식기를 결정하는 화아분화 단계는 화아분화기(Stage Ⅲ)이며, LED 파장은 Red, Yellow, Green, R/FR=4, R/FR=9 광원이 무처리 보다 1주일 정도 빨리 분화하였다.

표 1. 딸기 육묘시 자묘의 LED 파장별 화아분화 유도 검경(조명시작일 : 2009. 9. 1)

파장	Week	Flower bud differentiation stage of 1st cluster							
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
Red	0	5							
	1		4	1					
	2		2	2	1				
	3			3	2				
	4			1	3	1			
	5			3	1	1			
	6			3			1		1
Yellow	0	5							
	1	3	2						
	2			3	2				
	3			2	3				
	4			1	1	3			
	5				3	1	1		
	6				2		1	2	
Green	0	5							
	1	2	3						
	2		2	3					
	3			1	3	1			
	4			2	2	1			
	5			2	3				
	6			2	1		1	1	
Blue	0	5							
	1	3	2						
	2		3	2					
	3			3	1	1			
	4			1	3	1			
	5				4		1		
	6				3		1	1	
White	0	5							
	1	3	2						
	2		5						
	3			4	1				
	4			4	1				
	5			1	3		1		
	6				2		1	2	
R/B=4	0	5							
	1	4	1						
	2		3	2					
	3			3	2				
	4		1	2	2				
	5			1	2	2			
	6			2	3				
R/B=9	0	5							
	1	3	2						
	2		3	2					
	3		1	4					
	4			3	2				
	5			1	2	1	1		
	6			2	2				1
R/FR=4	0	5							
	1	4	1						
	2		1	3	1				
	3		1	2	1	1			
	4			1	3	1			
	5			1	1	3			
	6			1	3		1		
R/FR=9	0	5							
	1	4	1						
	2		2	2	1				
	3			2	2	1			
	4			1	3	1			
	5				3	1		1	
	6			2		1	1	1	
무처리	0	5							
	1	5							
	2		4	1					
	3		2	3					
	4			3	2				
	5			3			2		
	6			1		2	1	1	

제5절 딸기 자묘 화아분화 유도 LED 이용 연구

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)의 자묘를 이용하였다. 7월 하순 경 런너를 절단하여 독립영양시켰다. 재배조건은 1중 비닐하우스에서 육묘베드 위에서 실험하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 Far-Red, Red/Far-Red=4, Red/Far-Red=9 광원이며, 조합광원의 비율은 스펙트럼 상의 비율로 나타내었다. 길이 60cm LED 램프를 2개 연결하여 설치하였다. 대조구는 조명을 전혀 하지 않았고, 전조시간은 일몰 후 3시간(17:30~20:30)이며, 광량은 식물체 선단부에서 100~150μmol·m^{-2}·s^{-1}로 조절하였다. 처리시기는 2010년 8월 27일 처리하였다.

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

2. 연구결과

촉성재배에서는 수확기를 빨리 하기 위해서 화아분화 촉진 처리를 하는 것이 일반적이다. 딸기의 화아분화 촉진은 고랭지육묘, 야냉육묘, 암흑저온처리, 차광처리, 단근처리, 질소중단처리 등의 방법이 있다.

딸기 체내의 질소영양이 적을수록, 또한 잎이 적을수록 저온·단일에 감응하기 쉽게 되어, 화아분화가 촉진된다. 그러나 화아분화 후에는 질소영양이 많을수록 또한 잎이 많고 광합성 산물이 많을수록 발육이 촉진된다(전하준, 2010).

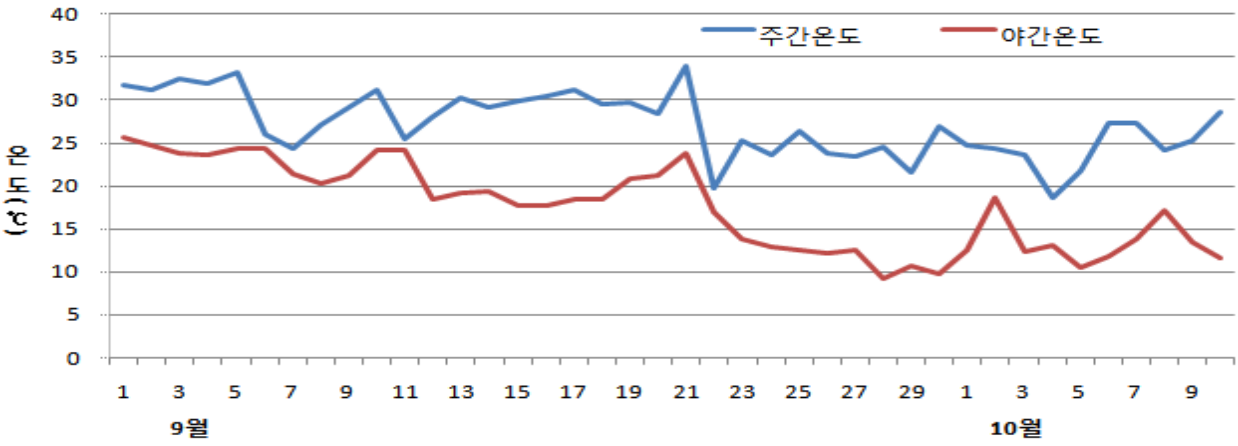


그림 1. 딸기 육묘 하우스 내 온도 변화(주간 08:00~20:00, 야간 20:00~08:00)

2010년 하우스 내 주야간 온도를 측정한 결과(그림 1), 딸기 화아분화 유도에 적합한 온도인 15~25℃ 보다 매우 높게 유지되었으며, 야간온도는 9월 중순경 이후가 되어야 그 이하로 떨어지기 때문에 자연 조건상에서 딸기의 화아분화가 되는 시기는 9월 중 하순경이 된다.

표 1. 딸기 육묘시 자묘의 LED 파장별 화아분화 유도 검경(조명시작일 : 2010. 8. 27)

파장	처리일수	Flower bud differentiation stage of 1st cluster							
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
Control	5일	7	3						
	10일	4	6						
	15일	3	6	1					
	20일		8	2					
	25일		6	3	1				
	30일		5	4	1				
	35일		5	4	1				
	40일			9	1				
FR	5일	6	4						
	10일	3	7						
	15일	2	5	3					
	20일		5	4	1				
	25일		5	4	1				
	30일		5	4	1				
	35일		2	7		1			
	40일			7	1	1		1	
R/FR=1	5일	9	1						
	10일	5	5						
	15일	1	7	2					
	20일		5	5					
	25일		5	4	1				
	30일		4	5	1				
	35일		1	8		1			
	40일			9		1			
R/FR=10	5일	7	3						
	10일	3	6	1					
	15일	1	8		1				
	20일		4	3	3				
	25일		3	6	1				
	30일		2	7	1				
	35일		1	8		1			
	40일			8		2			

처리별 화아분화를 5일 간격으로 10주씩 조사한 결과(표 1), 무처리 보다 LED 처리구가 조금 더 빠른 경향을 나타내었으나 화아분화 후 화아발달을 위해서는 고온과 질소영양분이 필요한데 이 조건이 불충분하여 다음 단계로의 발달은 더딘 편이었다. 따라서 화아분화 유도에 적합한 파장 선발과 처리 일수를 정하여 화아분화가 유도된 Ⅲ단계가 되면 정식을 실시하는 것이 중요하다.

LED 조명처리 20일 후 포장에 정식하여 정화방 출현율과 개화율을 측정한 결과, 무처리구가 가장 높았으며, 다음으로 Far-Red 광원이 Red/Far-Red 조합광원보다 높았다.

이상의 결과를 종합해 보면 딸기는 화아분화 초기(Stage Ⅱ) 단계에서도 생리적인 화아분화 조건을 갖춘 상태로 정식 후 환경에 따라 화방출현율에 차이가 있을 것으로 생각된다. 화아분화 유도 조건은 저온, 저질소이고, 화아발달 조건은 고온, 고질소 조건인 것을 고려한다면 조명처리 일수별 정식 후 화방 출현율을 조사해서 LED 조명처리 기간에 대해 연구해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

표 2. 딸기 자묘 LED 조명 20일 처리 후 정식 시 화방출현 및 개화(2010. 11. 12)

파장	화방출현율(%)	개화율(%)
Control	76.1 ± 6.2[z]	24.9 ± 10.4
Far-Red	63.3 ± 15.3	8.9 ± 3.8
Red/Far-Red=1	36.8 ± 9.1	10.4 ± 6.6
Red/Far-Red=10	49.8 ± 11.8	11.3 ± 5.0

[z] Mean±SE

3. 적요

가. 본 실험 하우스 내 주야간 온도를 측정한 결과, 딸기 화아분화 유도에 적합한 온도인 15~25℃ 보다 매우 높게 유지되었으며, 야간온도는 9월 중순경 이후가 되어야 그 이하로 떨어진다.

나. 처리별 화아분화를 5일 간격으로 10주씩 조사한 결과, 무처리 보다 LED 처리구가 조금 더 빠른 경향을 나타내었으나 화아분화 후 화아발달을 위해서는 고온과 질소영양분이 필요한데 이 조건이 불충분하여 다음 단계로의 발달이 더딘 편이었다.

다. LED 조명처리 20일 후 포장에 정식하여 정화방 출현율과 개화율을 측정한 결과, 무처리구가 가장 높았으며, 다음으로 FR 광원이 R/FR 조합광원보다 높았다.

라. 이상의 결과를 종합해 보면 딸기는 화아분화 초기(Stage Ⅱ) 단계에서도 생리적인 화아분화 조건을 갖춘 상태로 정식 후 환경에 따라 화방출현율에 차이가 있을 것으로 생각된다. 화아분화 유도 조건은 저온, 저질소이고, 화아발달 조건은 고온, 고질소 조건인 것을 고려한다면 조명처리 일수별 정식 후 화방 출현율을 조사해서 LED 조명처리 기간에 대해 연구해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

제6절 딸기 촉성재배시 LED 이용 화아분화 촉진 기술 연구

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)의 자묘를 이용하였다. 7월 하순 경 런너를 절단하여 독립영양시켰다. 재배조건은 1중 비닐하우스에서 육묘베드 위에서 실험하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 Red/Far-Red=10 광원이며, 조합광원의 비율은 스펙트럼 상의 비율로 나타내었다. 길이 60cm LED 램프를 2개 연결하여 설치하였다. 대조구는 조명을 전혀 하지 않았고, 전조시간은 일몰 후 3시간(17:30~20:30)이며, 광량은 식물체 선단부에서 100~150㎛ol $\cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$로 조절하였다. 처리기간은 정식 전 0, 5, 10, 15, 20일로 하였고, 정식일은 2011년 8월 30일 정식하였다.

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 유리당 함량

딸기 엽신, 엽병, 관부 1g에 ethanol 80% 25ml을 첨가하여 균질기로 마쇄한 다음, water bath를 이용하여 80℃에서 30분간 열탕 처리하였다. 처리된 시료액을 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상징액을 취하고, 잔사는 다시 ethanol 80%을 첨가하여 위의 과정을 2회 반복하여 최종적으로 얻은 상징액이 50ml가 되게 하였다. 획득한 상징액을 환저플라스크에 넣어 회전농축기를 이용하여 감압농축하였다. 농축액을 3차 증류수 2ml로 잘 섞은 다음, Sep-Pak C18 cartrige를 이용하여 1차 여과하였다. 여과된 액을 다시 0.45㎛ 구공의 PVDF 주사기용 필터를 이용하여 2차 여과하여 UPLC(Waters, USA)를 통해 분석하였다. 분석시의 조건은 zorbax carbohydrate column(HP사, 4.6mm ID×150mm, 5㎛)을 이용하였으며, 이동상은 acetonitrile 75%를 사용하였으며, 온도 30℃, injection volume 30㎕, 유속 1.0ml/min로 수행하였다.

2. 연구결과

2011년 딸기 육묘장 하우스 내 평균온도를 측정한 결과(그림 1), 딸기 화아분화 유도에 적합한 온도인 15~25℃ 보다 높게 유지되었으나, 전년도에 비하여 선선한 날씨 때문에 화아분화 되는 시기는 조금 빨라진 경향이었다.

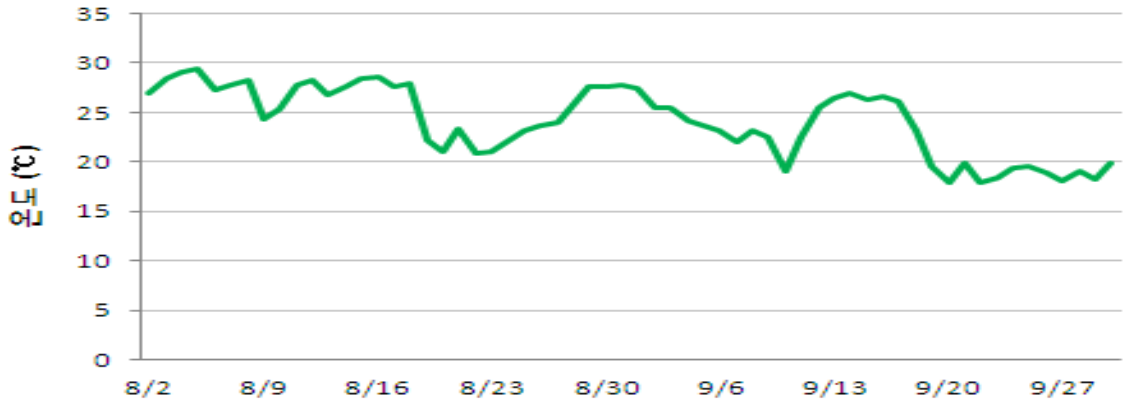


그림 1. 딸기 육묘장 평균 온도 변화(2011. 8. 2 ~ 9. 30)

딸기 설향 자묘의 육묘 시기별 유리당 함량의 변화를 부위별로 살펴본 결과(그림 2), 잎, 엽병, 관부 모두 총 유리당 함량이 9월 4일 이후 증가되는 경향을 나타내었다. 잎에서는 glucose와 fructose 함량 비율이 비슷한 수준이었고, 엽병과 관부에서는 glucose > fructose > sucrose 순으로 존재하였다. 총 당함량의 증가 시기가 자연적으로 화아분화가 유도되는 시점으로 유리당 함량을 이용한 화아분화 판단 지표 활용성에 대한 정밀한 연구가 필요하다.

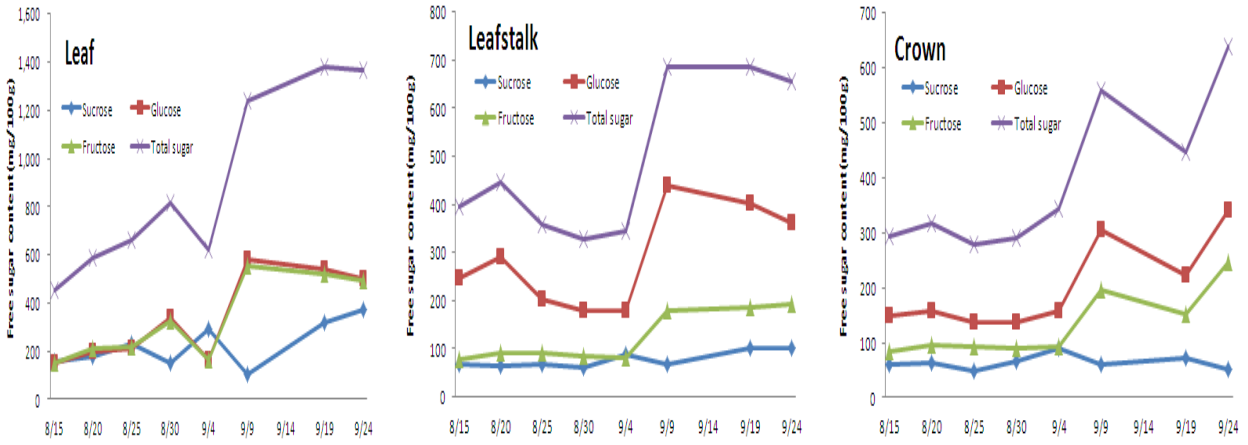


그림 2. 딸기 설향 자묘 육묘 시기별 유리당 함량 변화

딸기 설향의 자묘 육묘 시기별 관부의 단백질 함량 변화(그림 3)에서는 시간이 흐를수록 단백질 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 구근류에서 화아분화의 판단 지표로 활용되고 있는 peroxidase는 H_2O_2의 존재 하에서 여러 hydrogen donor인 기질에 대하여 탈수화 반응을 촉매하는 효소로써 많은 생화학적 기능을 가지는 것으로 알려져 있는데, 조직의 분화 및 기관 형성 시에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 왔다. 따라서 딸기에서도 이에 적합한 화아분화 판단 지표를 설정하는 것이 중요할 것으로 생각된다.

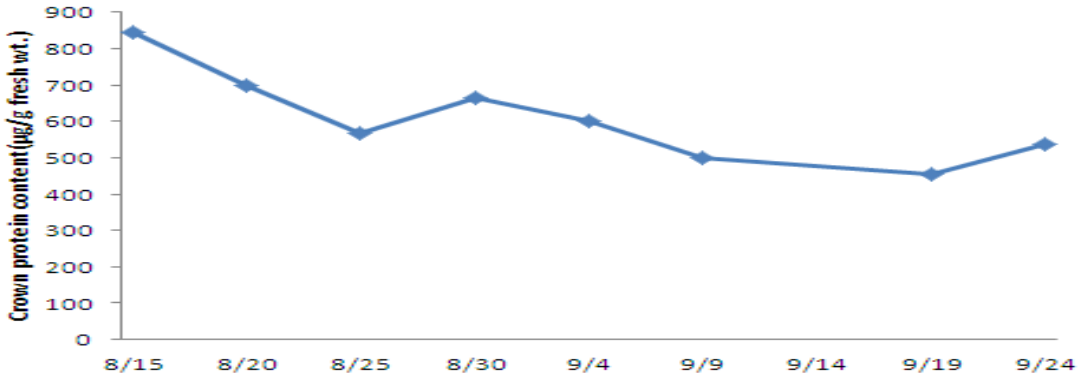


그림 3. 딸기 설향 자묘 육묘 시기별 관부 단백질 함량 변화

딸기 설향 자묘에 LED를 일수별로 조명 후 정식일 날 10개체씩 화아분화를 검경한 결과(표 1), LED 조명을 전혀 받지 않은 0일 처리구에서 미분화 개체수가 가장 많았고, 10일~20일 처리구에서는 미분화 개체수가 전혀 없었으며, 화아분화 단계 또한 비슷하였다.

표 1. 딸기 설향 자묘 LED(R/FR=10) 처리일자별 화아분화 유도 검경(정식일 2011. 8. 30)

처리일수	Flower bud differentiation stage of 1st cluster							
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ
0일	4	4	2					
5일	2	3	5					
10일		7	3					
15일		8	2					
20일		7	3					

딸기 설향 자묘에 LED를 일수별로 조명 후 정식일 날 관부의 단백질 함량을 분석한 결과(표 4), 0일과 5일 처리구가 가장 함량이 많았고 10일 처리구가 454mg/g으로 가장 적었다.

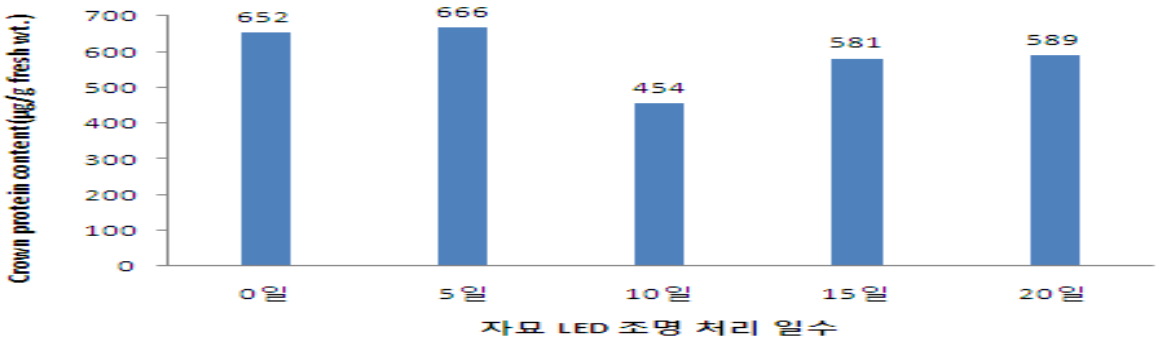


그림 4. 딸기 설향 자묘 LED(R/FR=10) 처리일수별 관부 단백질 함량(8월30일 정식)

딸기 설향 자묘에 LED를 일수별로 조명 후 정식일 날 부위별로 유리당 함량을 살펴본 결과(그림 5), 잎, 엽병, 관부 모두 총 유리당 함량이 처리 일수가 길어질수록 증가되는 경향을 나타내었다. 잎, 엽병, 관부 모두 sucrose 함량은 적어서 큰 영향을 미치지 않았지만, glucose와 fructose는 총 함량에 큰 영향을 미쳤다. 따라서 유리당을 이용한 화아분화 판단 지표로 활용성에 대한 정밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

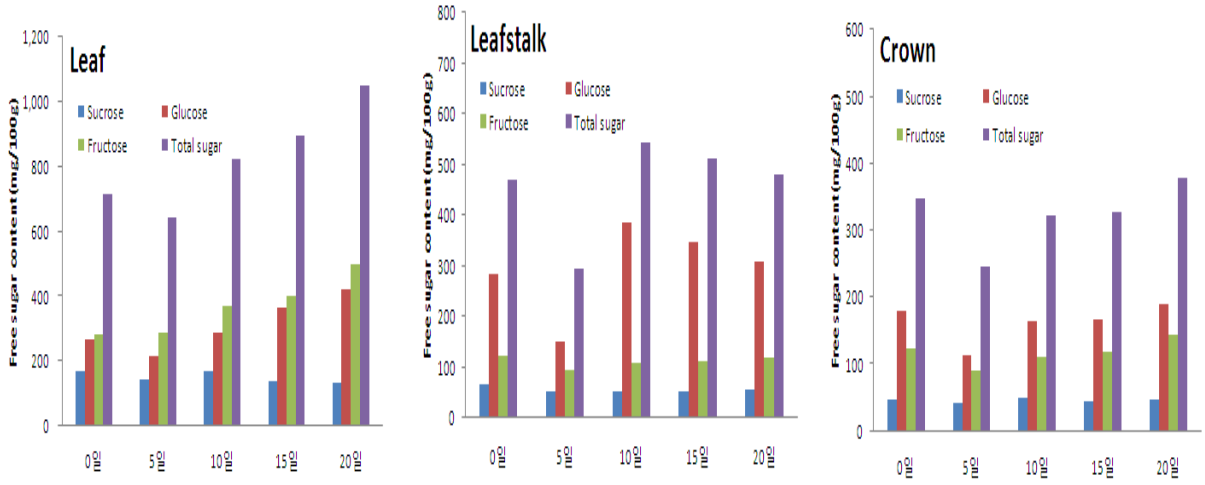


그림 5. 딸기 설향 자묘 LED(R/FR=10) 처리일수별 유리당 함량(8월30일 정식)

딸기 설향 자묘에 LED를 일수별로 조명 후 정식 후 정화방 출현 및 개화에 대해 조사한 결과(표 2), 20일 처리에서 화방출현율과 개화율이 무처리 보다 약 2배 정도 높았다.

표 2. 딸기 설향 자묘 LED(R/FR=10) 처리일수별 정식(8/30) 후 화방출현 및 개화율

처리일수	2011. 11. 1		2011. 12. 1	
	화방출현율(%)	개화율(%)	화방출현율(%)	개화율(%)
0일	25	10	35	45
5일	26	9	34	55
10일	4	0	44	26
15일	30	15	78	44
20일	55	10	79	69

3. 적요

가. 본 실험 육묘 하우스 내 평균 온도를 측정한 결과, 딸기 화아분화 유도에 적합한 온도인

15~25℃가 될려면 자연조건 상태에서는 중순경이 되어야 화아분화가 이루어 진다.

나. 자묘 육묘 시기별 유리당 함량을 조사한 결과 엽, 엽병, 관부 모두 9월 9일 이후 증가하는 경향을 나타내었으며, glucose와 fructose가 주를 이루었다.

다. 육묘시기별 관부의 단백질 함량 변화에서는 시간이 흐를수록 감소하는 경향을 나타내었다.

라. R/FR=10 처리 일수별 화아분화 단계를 검경한 결과, 10일 이상 처리에서는 미분화기(Ⅰ) 단계는 발생하지 않았고, 관부의 단백질 함량에서도 처리 일수가 높을수록 단백질 함량이 낮았으며, 유리당 함량에서는 엽과 관부에서 처리일수가 높을수록 유리당 함량 역시 증가하였다.

바. 8월 30일 정식 후 화방 출현 및 개화율을 조사한 결과 20일 처리시 화방출현율 79%와 개화율 69%로 가장 높았다.

<2세부과제 LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선>

제1절 LED 광원이 딸기의 생장 및 발달에 미치는 영향

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 본엽 3매 전개한 식물체를 재료로 하여, 10cm 포트에 원예 상토를 넣어 각 처리별 5개체씩 정식하였다. 재배상은 온도 25℃, 상대습도 60~80% 정도인 실내에서 실험하였고, 양액은 야마자키 딸기 전용 배양액을 조성하여 분무하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)의 종류는 표 1과 같고, Red/Blue=4, Red/Blue=9, Red/Far-Red=4, Red/Far-Red=9 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었다. LED의 PCB(printed circuit board) 크기는 직경 200mm×1.6(t)이며, PCB 당 램프를 128개 부착하였다. 대조구로 암처리(Dark)와 삼파장 램프(25W)를 설치하였고, 삼파장의 파장 스펙트럼 분포는 Red, Green, Blue 영역이 많이 포함된 광질을 가진다. 전조시간은 24시간 처리하였으며, 광량은 식물체가 받는 선단부에서 100~120㎛ol $\cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$가 되도록 높이를 조절하였다.

표 1. 실험에 사용된 LED 종류

Emitting Color	Viewing Angle	Dimension (mm)	Luminous Intensity (mcd)	Wavelength(nm)
Red	30°	ϕ5	1,500~2,700	660
Yellow	30°	ϕ5	4,900~6,200	595
Green	30°	ϕ5	7,800~8,600	520~530
Blue	30°	ϕ5	2,300~3,200	465~475
Far-Red	30°	ϕ5	85~100	730
White	30°	ϕ5	6,900~8,600	-
UV-A	30°	ϕ5	2,300~3,200	390

그림 43. LED 조명 설계도 및 조명등 모습

다. 광량자 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 후 1주일 간격으로 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 및 런너 발생수의 변화를 4주간 조사하였고, 조사가 끝난 4주째에 지상부와 지하부의 생체중과 건물중의 무게를 측정하였다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정

(2) 엽수 : 완전 전개한 잎의 수를 측정(미 전개엽 제외)

(3) 엽장, 엽폭 : 완전 전개한 잎 중 가운데 잎의 길이와 폭을 측정

(4) 생체중, 건물중 : 관부를 중심으로 지상부와 지하부로 나누어서 생체중을 측정한 후 80℃, 48시간 열풍건조기로 건조 시킨 후 건물중을 측정

마. 엽록소함량

전조 4주 후 채취한 잎 1g을 acetone 80% 용액 50mL로 마쇄하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 660nm와 642nm에서 흡광도를 측정한 후 식품양양실험핸드북(한국식품영양학회, 2000)의 방법에 따라 total chlorophyll, chlorophyll a와 chlorophyll b 함량을 계산하였으며, mg/l로 표시하였다.

바. 광합성 측정

전조 15일과 30일경 2~3번째 잎의 광합성율을 휴대용 광합성 측정기(LI-6400, LI-COR)를 이용하여 측정하였다. 측정시 leaf chamber 내 CO2농도는 400ppm, 온도는 25℃, PAR값은 1250$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 조절하였다.

사. 엽면적 측정

전조 4주 후 엽면적 측정기(SI700, SKYE)를 이용하여 지상부의 완전 전개한 잎만을 채취하여 측정하였고, 엽위별로 1~3번째 잎까지 측정하였다.

2. 연구결과

생장상 내에서 파장별로 24시간 전조재배시 4주간 딸기 생장의 변화를 살펴보면 초장에서 성장속도 별로 4 그룹을 나눌 수가 있다(그림 2). 1 그룹은 Green 광원으로 가장 급속도로 자랐으며, 2 그룹은 Blue, Red/Far-Red 조합광원 순이었으며, 3 그룹은 Red/Blue, Red, 삼파장램프 광원이고, 4그룹은 5cm 미만으로 성장한 Dark, UV-A, Far-Red, White 광원 순이다. 일반적으로 작물생리 이론상 장파장 조사시 식물체는 길어지고, 단파장 조사시 작아지는 현상을 나타내지만 아래와 같은 결과는 파장에 따른 결과일 수도 있지만 LED 조명등 제작상의 문제로 UV-A, White 광원은 실험이 체 끝나기도 전에 램프가 소진되어 조명 제작시 방수나 안정성

문제를 고려해야 한다. 실험 전에 딸기 잎에서 받는 광량을 100~120μmol·m^{-2}·s^{-1}로 균일하게 맞추었지만 실험 중에도 광량자 값이 급격하게 떨어지는 경향을 나타냈었다.

엽수의 증가량은 삼파장 램프, Green, Red+Blue 조합광원 순으로 2~3매 이상 증가하였고, Far-Red, UV-A, Dark, White 광원에서는 광 강도의 부족으로 인해 증가하는 듯 하였으나 4주 후에는 오히려 감소하였다. 엽장과 엽폭에서는 삼파장 램프, Green, Blue, Red/Blue 조합광원 순으로 길어졌으나 Green 광원에서는 잎이 말리는 증상이 많이 발생하였다.

최영환 등(2003)이 들깨의 적색광과 청색광 LED를 각각 단독으로 16시간 처리하였을 때 청색광 처리에서 초장이 신장하였고, 적색광 처리에서는 현저히 억제되어 본 실험의 결과와 유사하였다. 식물체의 생육에 영향을 미치는 광질에 대한 연구가 많이 수행되었으나 순전히 광질의 효과만이라고 보기는 어려운 결과들이 많았다.

따라서 본 실험을 수행함에 앞서 LED 광원이 고가인 만큼 광량자의 안정성, 제품의 수명, 방수 문제 등을 고려하여 제작하는 것이 중요하다.

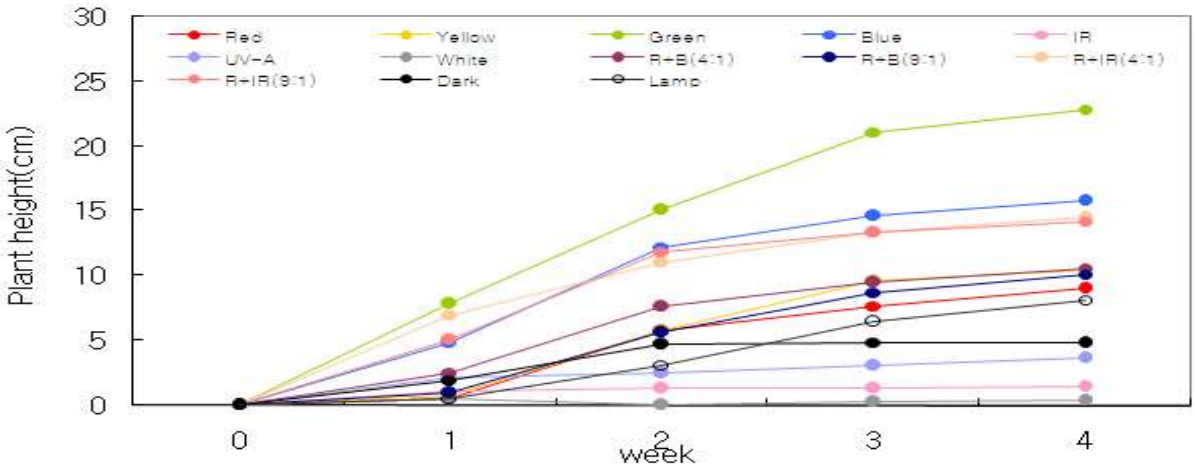


그림 2. 딸기 파장별 전조재배시 초장의 변화

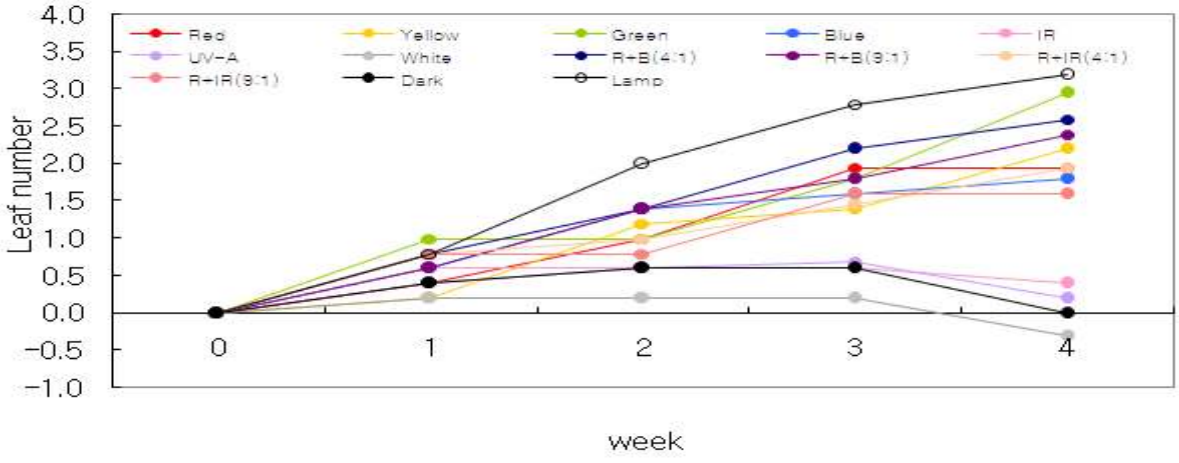


그림 3. 딸기 파장별 전조재배시 엽수의 변화

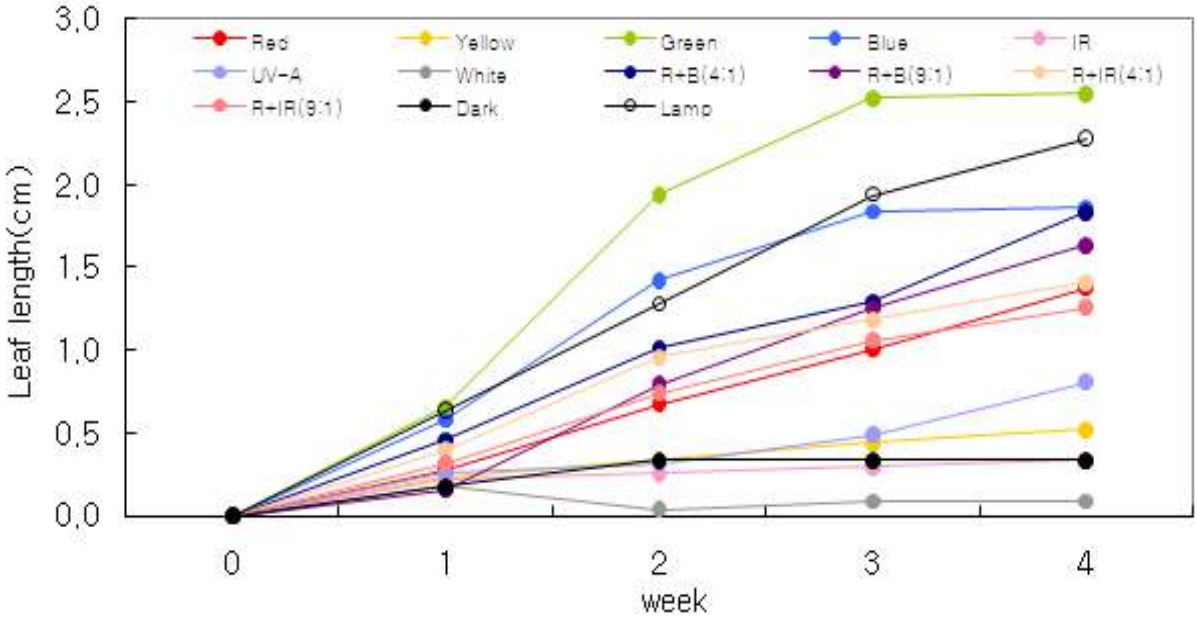


그림 4. 딸기 파장별 전조재배시 엽장의 변화

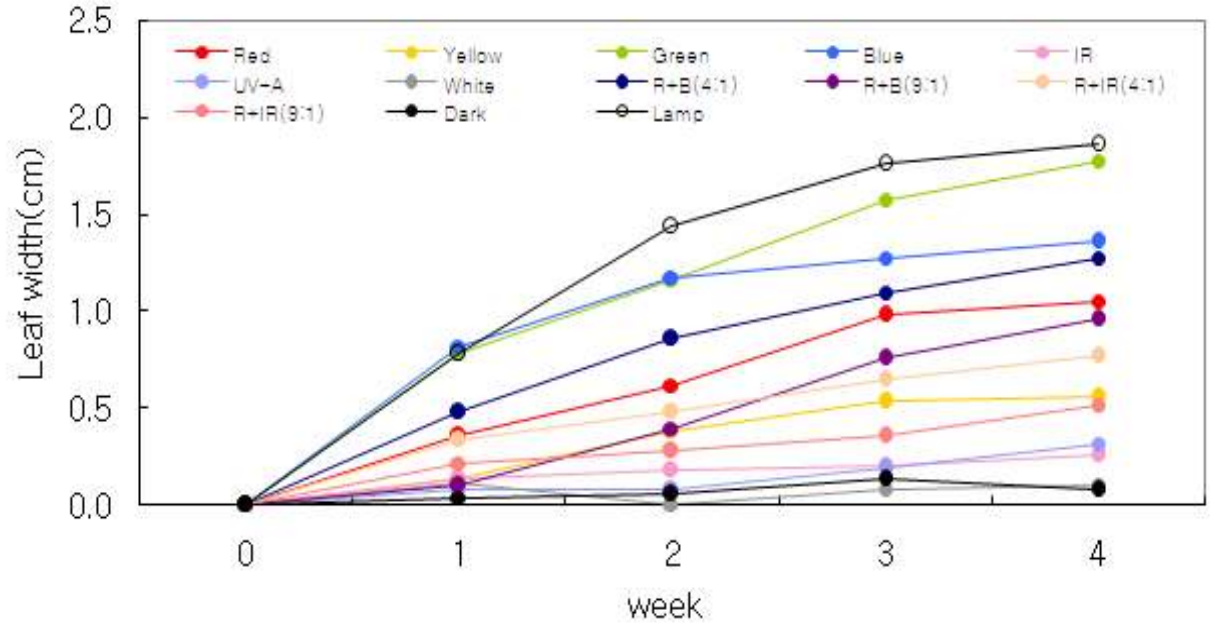


그림 5. 딸기 파장별 전조재배시 엽폭의 변화

딸기 파장별로 전조재배시 런너 발생수의 변화를 살펴보면(그림 6), 삼파장 램프에서 2.4개로 가장 많이 발생하였고, LED 광원 중에서는 Red/Blue=4 광원이 0.8개로 가장 많았으며, 다음으로 Blue, Green, Red 광원 순이었다. Far-Red와 UV-A에서는 전혀 발생하지 않았다. 일반적으로 런너 발생을 촉진하는 조건은 일정기간 이상의 저온이 요구되며 품종별로 차이가 나지만 초촉성, 촉성 품종군은 저온요구시간이 낮으며, 생태적으로 고온장일 조건인 여름에 생육이 왕성하다.

따라서 본 실험에서는 24시간 전조 중인 장일조건 상태이며, 식물체의 영양상태가 충분해야 런너가 발생될 수 있으므로 생육이 불량한 Far-Red와 UV-A에서는 런너가 발생하지 않았고, 생육이 왕성한 삼파장 램프에서 가장 많이 발생하였다.

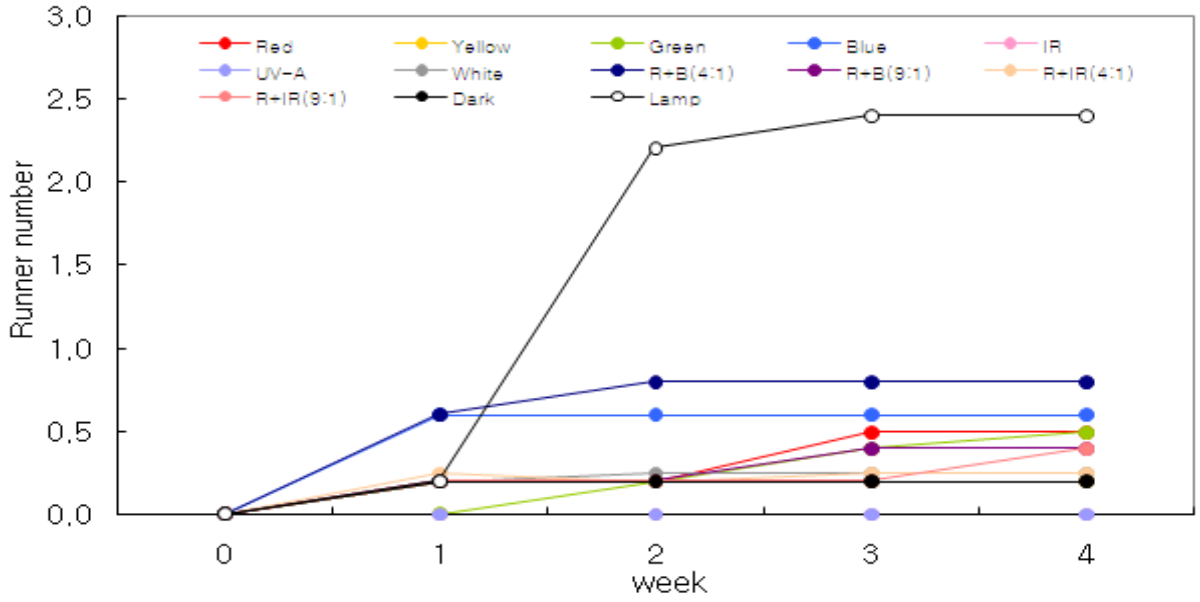


그림 6. 딸기 파장별 전조재배시 런너 발생수의 변화

딸기 파장별 전조재배 4주 후 지상부와 지하부의 생체중과 건물중을 조사한 결과(표 2), 식물체당 지상부의 생체중은 삼파장 램프가 15.3g으로 가장 무거웠고, LED 광원 중에는 Green, Red/Blue 조합광원이 10g 정도로 가장 무거웠다. 식물의 지하부 생장량에 대한 지상부 생장량의 비율을 나타내는 T/R률은 생육상태의 변화을 표시하는 지표로 Red/Far-Red=9 광원이 543으로 가장 높았고, 생육이 왕성하지 못했던 Far-Red, White, UV-A 광원이 가장 낮았다. 본 실험에서는 지상부의 생장이 왕성한 처리에서 지하부의 생장 또한 왕성하였고 지상부 생장이 부족한 처리에서는 지하부 생장 또한 원활하지 못하였다.

뿌리와 줄기 생장 사이의 상관에 관한 연구는 수년 동안 진행되어 왔으며, 뿌리 끝에서 형성된 사이토키닌은 신초의 정단생장을 촉진하고, 신초의 정단 또는 어린 잎에서 생성된 옥신은 뿌리 생장을 촉진시킨다(Sachs, 1972)고 하였다. 그러므로 지상부와 지하부의 왕성한 생장은 피드백에 의한 조절을 함으로써 식물체의 생장에 서로 관여하며 균형을 이루어 생장하는 것이 중요하다(최영환, 2003).

표 2. 딸기 파장별 전조재배 4주 후 지상부와 지하부의 생체중과 건물중

광원	지상부		지하부		T/R률
	생체중(g/plant)	건물중(g/plant)	생체중(g/plant)	건물중(g/plant)	
Red	7.3±2.4[z]	1.0±0.33	1.7±0.5	0.2±0.06	441
Yellow	7.7±1.6	1.1±0.21	2.2±0.7	0.2±0.08	352
Green	10.0±2.2	1.5±0.52	2.0±0.8	0.2±0.10	493
Blue	8.0±2.0	1.2±0.34	2.2±0.6	0.2±0.07	359
InfraRed	4.0±1.8	0.7±0.25	1.8±0.9	0.2±0.09	221
UV-A	3.8±1.7	0.6±0.32	2.2±0.8	0.2±0.10	169
White	3.2±0.7	0.5±0.05	1.1±0.3	0.1±0.04	280
R+B(4:1)	9.9±2.6	1.5±0.37	2.8±1.0	0.2±0.10	359
R+B(9:1)	10.3±3.3	1.3±0.58	2.4±0.8	0.2±0.07	427
R+IR(4:1)	8.0±2.2	1.4±0.30	2.2±0.8	0.3±0.09	368
R+IR(9:1)	6.8±2.1	1.1±0.48	1.3±0.8	0.2±0.08	543
Dark	3.8±2.4	0.6±0.44	1.8±0.6	0.2±0.09	214
Lamp	15.3±1.9	2.6±0.30	4.5±1.0	0.4±0.10	343

[z]Mean±SE

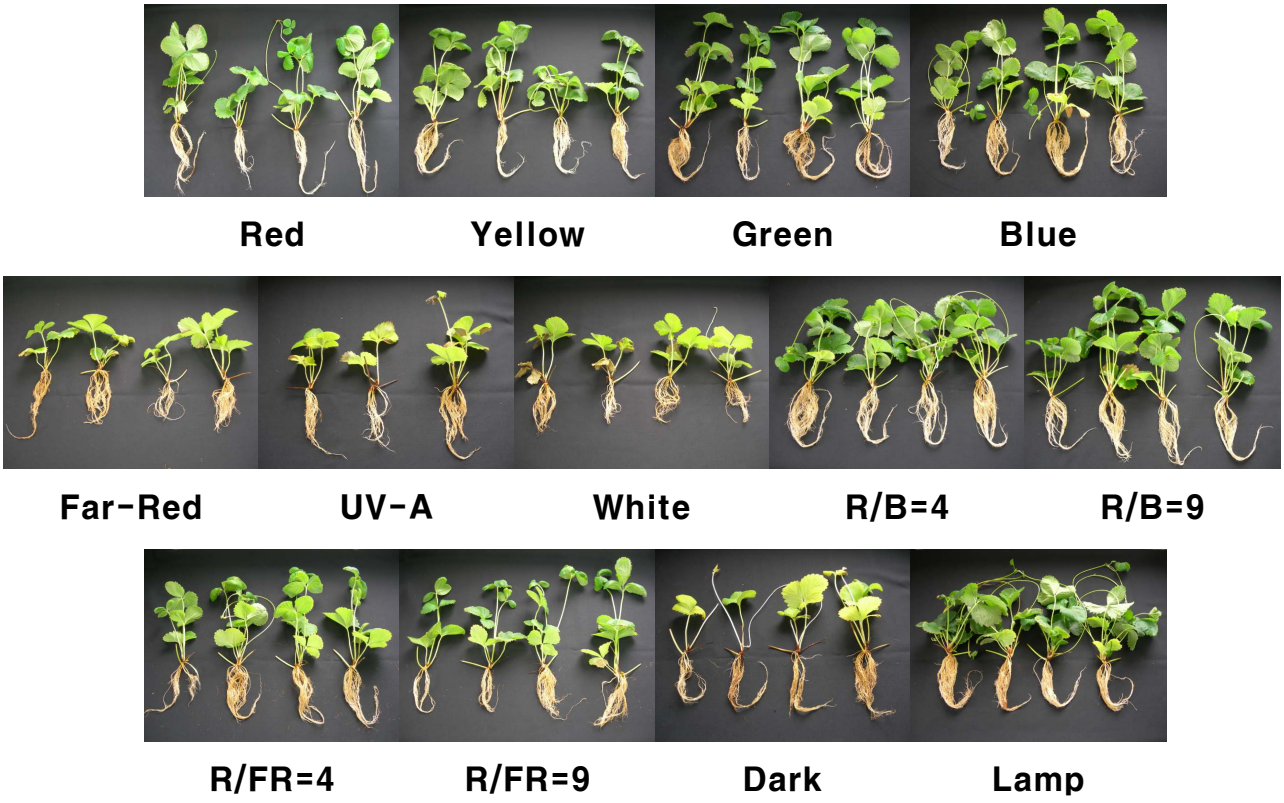


그림 7. 딸기 전조재배 4주 후 지상부와 지하부의 생육 상황

파장별로 전조재배 4주 후 엽록소 함량을 측정한 결과(그림 7), 총 엽록소 함량의 변화에 따라 엽로소 a와 b의 함량도 같은 경향이었고, Red 광원 가장 많았으며 삼파장 램프와 Red/Far-Red=9도 높은 편이었다. Dark, UV-A, White, Far-Red 광원은 Red 광원의 절반정도 수준이었으며, Far-Red의 비율이 높은 Red/Far-Red=4 조합광원도 꽤 낮은 수준이었다. 엽록소는 광에너지를 흡수하는 가장 중요한 색소이며 광합성을 하는 장소이기도 하므로 엽록소 함량이 생장의 지표로 활용되기도 한다. 또한 적색과 청색 부근의 광을 가장 잘 흡수하며 녹색광은 흡수하지 않고 반사하기 때문에 식물의 잎이 녹색으로 보인다고 알려져 있으나, 본 실험에서 사용한 녹색광(530nm)에서는 엽록소 함량이 크게 감소하지 않았으며, 엽록소 형성에는 다른 요인이 작용한 것으로 생각된다.

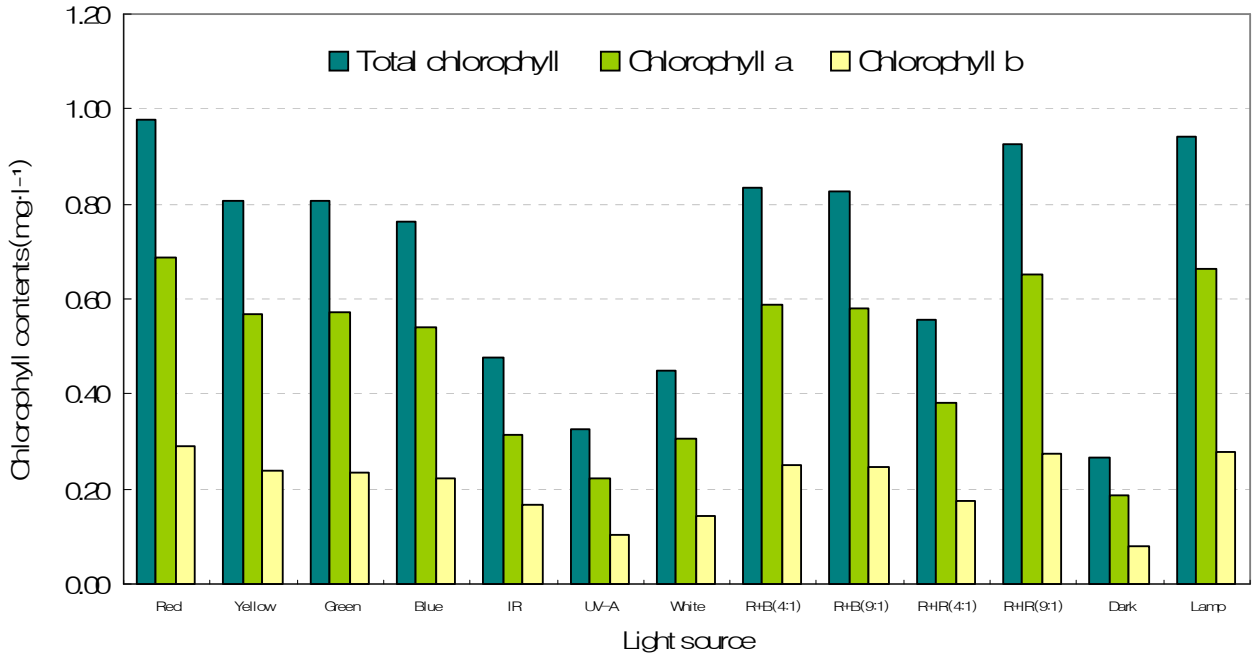


그림 8. 딸기 파장별 전조재배 4주 후 엽록소 함량

딸기 파장별 전조재배 15일과 30일 후 광합성 능력을 측정한 결과(표 3, 4), 광합성률은 15일째는 삼파장 램프, Red/Blue=4, Green 순으로 가장 높았으나, 30일째는 Red/Blue=4, 삼파장, Green 순이었다. Far-Red, UV-A, White, Dark 광원에서는 오히려 호흡 상태임을 확인할 수 있었다. 증산률과 기공전도도 또한 광합성률과 비슷한 경향을 나타내었고, 잎 주변에서 수분을 받아들일 수 있는 정도를 나타내는 증기압 부족량은 삼파장 램프가 가장 낮았다. 일반 작물에서 광질이 광합성에 미치는 영향을 조사한 결과, 적색광에서 광합성률이 가장 높다(최 등, 2003; Balegh와 Biddulph, 1970)고 하였다. 그러나 본 실험에서는 Red 광원보다는 Red/Blue 조합광원이 광합성률이 더 좋았다.

표 3. 딸기 파장별 전조재배 15일 후 광합성능

광원	Photosynthetic rate ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Transpiration rate ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Stomatal conductance ($m \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Vapor pressure deficit at the leaf surface
Red	2.00±0.98[z]	0.95±0.28	0.04±0.02	2.76±0.72
Yellow	1.49±1.01	0.93±0.26	0.03±0.01	3.23±0.62
Green	4.38±1.98	1.41±0.55	0.06±0.03	2.54±0.34
Blue	1.87±1.19	0.93±0.29	0.03±0.01	3.01±0.16
InfraRed	-1.04±0.65	0.29±0.05	0.01±0.00	3.22±0.07
UV-A	-1.38±0.06	0.32±0.06	0.01±0.00	3.10±0.60
White	-1.01±0.16	0.28±0.04	0.01±0.00	2.81±0.24
R+B(4:1)	4.99±1.52	1.76±0.50	0.07±0.03	2.51±0.30
R+B(9:1)	4.03±1.26	1.72±0.60	0.02±0.11	1.84±1.79
R+IR(4:1)	2.35±0.62	1.31±0.39	0.05±0.02	2.70±0.24
R+IR(9:1)	1.59±0.44	0.96±0.24	0.03±0.01	2.78±0.19
Dark	-1.19±0.10	0.25±0.08	0.01±0.00	3.39±0.06
Lamp	6.97±2.40	2.62±0.60	0.19±0.13	1.84±0.65

[z]Mean±SE

표 4. 딸기 파장별 전조재배 30일 후 광합성능

광원	Photosynthetic rate ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Transpiration rate ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Stomatal conductance ($m \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Vapor pressure deficit at the leaf surface
Red	2.16±2.08[z]	1.74±0.87	0.09±0.87	2.31±0.50
Yellow	1.28±0.77	0.79±0.22	0.04±0.01	2.03±0.13
Green	2.60±1.21	1.14±0.37	0.05±0.02	2.44±0.22
Blue	2.19±0.73	0.98±0.08	0.04±0.01	2.53±0.18
InfraRed	-1.20±0.14	0.22±0.05	0.01±0.00	2.61±0.37
UV-A	-1.23±0.16	0.28±0.03	0.01±0.00	2.77±0.79
White	-1.06±0.21	0.35±0.04	0.01±0.00	3.16±0.09
R+B(4:1)	3.68±1.13	1.37±0.37	0.06±0.02	2.52±0.24
R+B(9:1)	2.86±1.73	1.25±0.44	0.05±0.02	2.64±0.24
R+IR(4:1)	1.21±0.80	1.19±0.73	0.05±0.04	2.75±0.42
R+IR(9:1)	0.88±0.09	0.79±0.08	0.03±0.00	2.82±0.17
Dark	-1.30±0.19	0.39±0.15	0.01±0.00	2.87±0.45
Lamp	2.69±0.93	1.25±0.18	0.07±0.02	1.85±0.58

[z]Mean±SE

딸기 전조재배 4주 후 지상부의 엽면적을 측정한 결과(그림 9), 삼파장 램프를 제외하고 LED 광원에서는 Red/Blue 조합광원이 가장 넓었으며, White, Far-Red, Red/Far-Red 광원이

암처리한 처리구와 비슷한 엽면적을 나타내었다. 1엽부터 3엽까지 엽위별로 측정한 결과(그림 10)에서도 Red/Blue 조합광원은 순차적으로 발생한 신엽들이 적정 엽면적을 형성하고 있지만, White, Far-Red, Red/Far-Red 광원들은 신엽 생장에 문제가 있는 것을 확인할 수 있으며, 충분치 못한 동화산물로 인해 기존에 잎에 있는 양분을 가지고 자라고 있는 것으로 보인다.

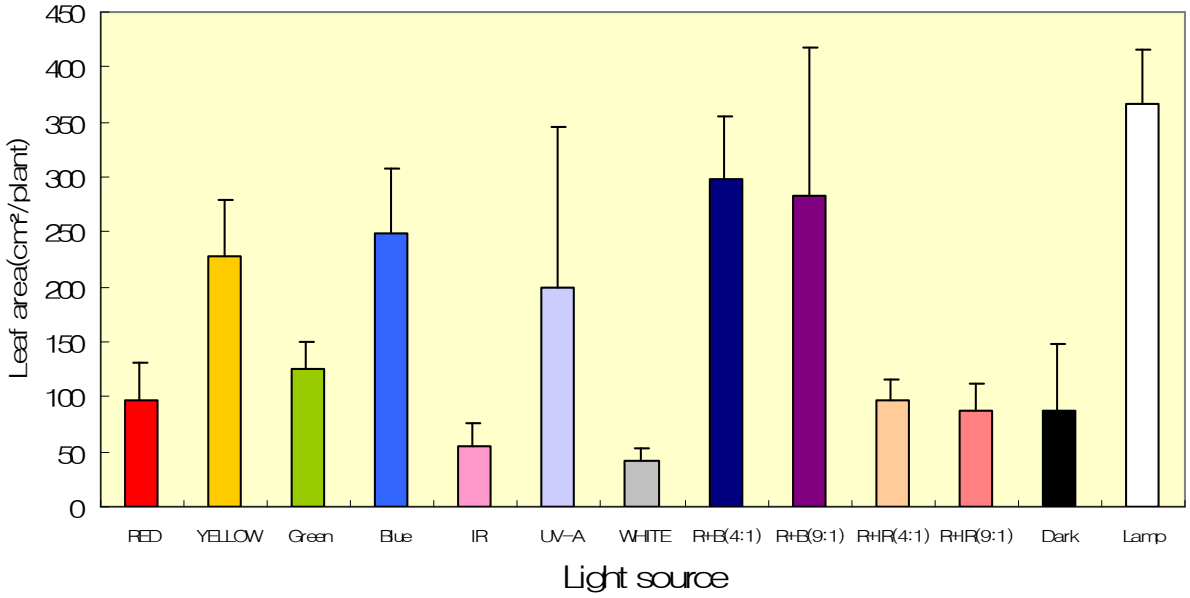


그림 9. 딸기 전조재배 4주 후 지상부 엽면적

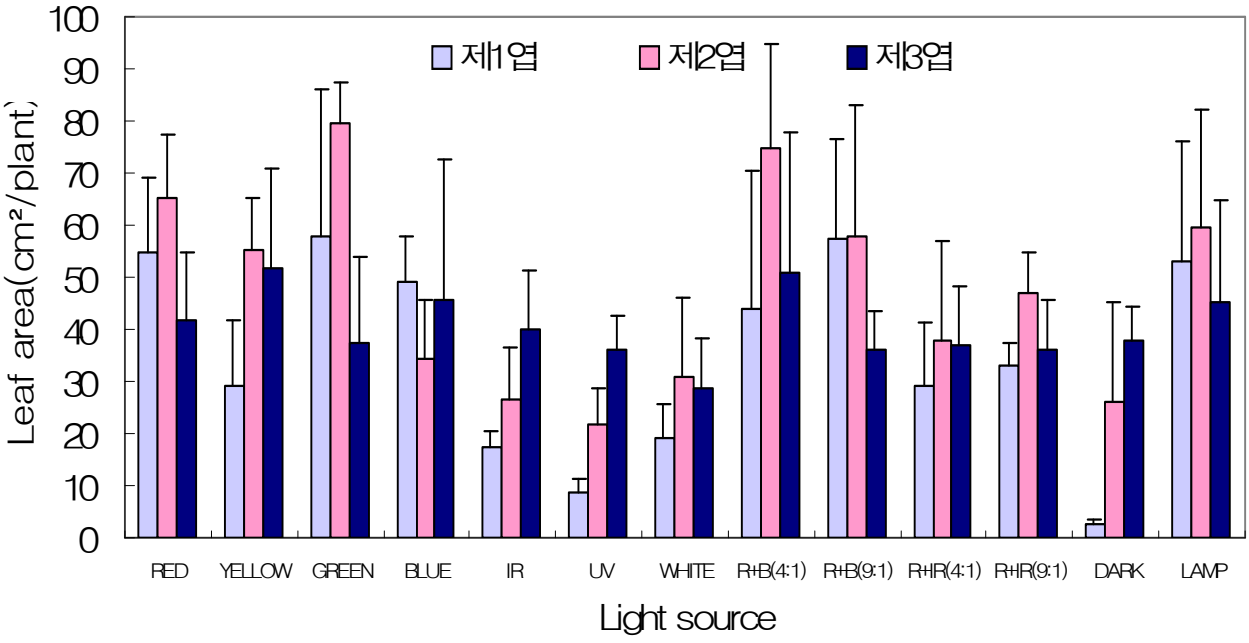


그림 10. 딸기 파장별 전조재배 4주 후 엽위별 엽면적 변화

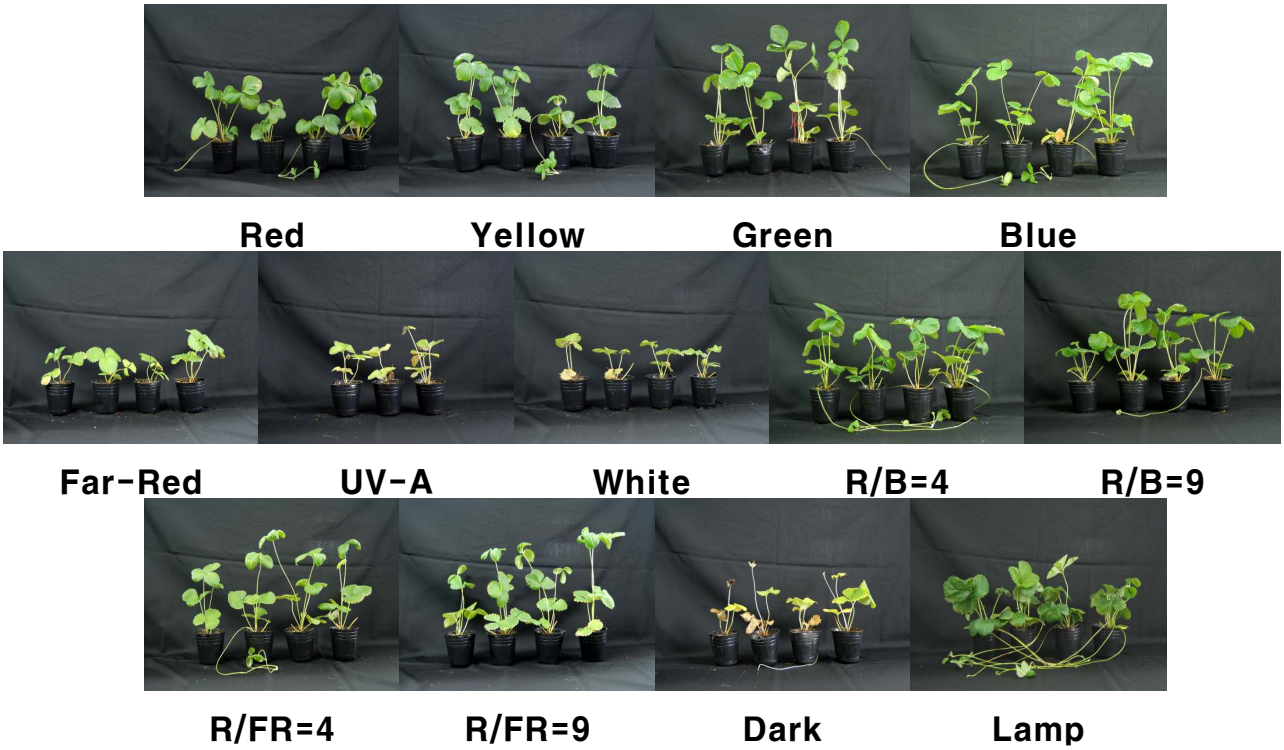


그림 11. 딸기 파장별 전조재배시 4주 후 생육상황

3. 적요

가. 전조재배시 LED 파장별 초장은 Green > Blue > Red/Far-Red 조합광원 순이며, 엽수는 Green, Red/Blue 조합광원이 LED 광원 중에서 2~3매 더 많이 발생하였다. 엽장과 엽폭 또한 Green, Blue, Red/Blue 조합광원이 가장 넓었으나, Green 광원은 잎이 말리는 증상이 많이 발생하였다.

나. 런너 발생 양상은 삼파장 램프 광원이 런너가 2.4개로 가장 많았으며, LED 광원 중에서는 Red/Blue=4 광원이 0.8개로 가장 많았다.

다. 지상부의 생체중과 건물중은 Green, Red/Blue 조합광원이 가장 무거웠고, 지하부의 경우는 Red/Blue 조합광원이 가장 무거웠다.

라. LED 파장별 총 chlorophyll 함량은 삼파장 램프, Red, Red/Far-Red=9 광원이 0.93~0.98mg $\cdot l^{-1}$ 으로 가장 많았으며, chlorophyll a와 chlorophyll b 모두 같은 경향을 나타내었다.

마. LED 파장별 광합성율은 삼파장 램프, Green, Red/Blue 조합광원이 다른 처리구보다 높았으며, 생장상 내에서 시간이 흐를수록 광합성율은 떨어지는 경향이었다.

바. 지상부의 엽면적은 LED 광원 중에서 Red/Blue 조합광원이 가장 넓었고, 엽위별로 엽면적의 변화에서도 상위엽에서 엽면적이 넓은 파장은 Red/Blue, Red, Green 광원 순이었다.

사. 따라서 딸기 전조재배용 LED 파장은 Red/Blue 조합광원이 가장 적합할 것으로 생각된다.

제2절 딸기 전조재배용 LED 이용 가능성 연구

1. 연구내용

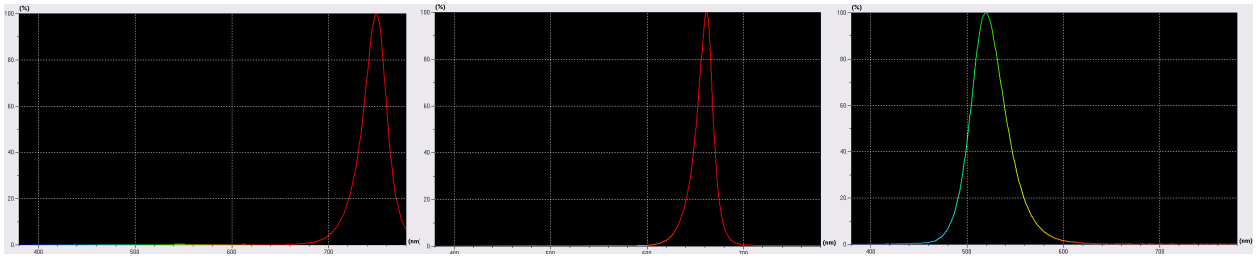
가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 식물재료로 하여 2009년 9월 14일에 자묘를 본포에 정식하였다. 본포는 성주과채류시험장 광폭형 하우스(2중 비닐)에 기비로 N-P-K-고토석회-퇴비를 3.5-4.9-5.6-200-2,000kg/10a를 넣고 경운 정지한 다음 폭을 120cm, 이랑높이를 45cm로 만든 후 재식거리를 주간 20cm, 조간 20cm로 정식하였고, 하우스 온도관리는 주간 25±2℃, 야간 5±2℃로 온풍보일러를 이용하여 난방하였다.

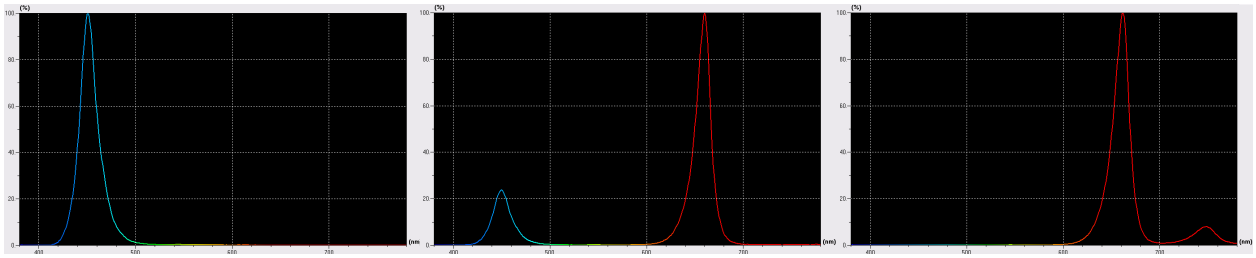
식물체 관리는 포기당 주경 1개를 남기고, 엽수는 5~7개를 기본으로 노엽을 제거하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 고휘도이며, 지향각이 120° 정도이고, Red/Blue=5, Red/Far-Red=5 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었다. LED의 PCB(printed circuit board) 크기는 58.6×9.4×3.2cm이며, 재질은 메탈(metal)이고, PCB 당 1W 램프를 18개 부착하였고, 2개의 PCB를 연결하여 사용하였다. 대조구로 무처리와 백열등(100W)을 설치하였고, 백열등(Incandescent lamp, INC)의 파장 스펙트럼 분포는 연속스펙트럼으로서 청색광에 비해 적색광과 원적색 광이 많이 포함되어 있어 식물의 도장 가능성이 높으므로 광합성용 광원으로는 부적합하고, 주로 작은 광 강도로서 국화의 개화 제어, 딸기의 휴면방지, 식물공장에서 발아촉진 등 광형태형성 제어용으로 사용된다.



InfraRed(750nm) Red(660nm) Green(530nm)



Blue(450nm) Red/Blue=5 Red/Far-Red=5

그림 1. LED 광원별 파장 스펙트럼 분포

그림 2. 실험에 사용된 고휘도 LED

다. 전조방법

전조 시작일은 정식 후 1화방 출현시 실시하였고, 2009년 12월 23일 시작하였다. 전조시간은 22:00~01:00(3시간) 연속 조명하였고, LED 광원의 광량은 식물체가 받는 선단부에서 100~150 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$이상이 되도록 높이를 조절하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 후 1주일 간격으로 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 및 런너 발생수의 변화를 4주간 조사하였고, 조사가 끝난 4주째에 지상부와 지하부의 생체중과 건물중의 무게를 측정하였다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정
(2) 엽수 : 완전 전개한 잎의 수를 측정(미 전개엽 제외)
(3) 엽장, 엽폭 : 완전 전개한 잎 중 가운데 잎의 길이와 폭을 엽위별로 측정
(4) 2화방출현일 : 전조 후 2화방 출현시까지 소요된 일수 계상

마. 온습도 및 광량 측정

딸기 이랑 위 식물체 선단 부근에 온습도 센서(TR-72U, Japan)를 설치하고, 1시간 간격으로 데이터를 수집하였으며, 주간(08:00~20:00)과 야간(20:00~08:00) 시간대를 평균하였다. 광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

바. 엽면적 측정

전조 60일째 엽면적 측정기(SI700, SKYE)를 이용하여 지상부의 완전 전개한 잎만을 채취하여 측정하였다.

사. 엽록소함량

전조 15일과 30일째 채취한 잎 1g을 acetone 80% 용액 50mL로 마쇄하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 652nm에서 흡광도를 측정한 후 Yoshita 등(1971)의 방법에 따라 total chlorophyll 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

아. 비타민 C

딸기 과실을 파장별로 수확하여 마쇄 후 deep freezer(-70℃)에 저장 후 분석시 1g씩 덜어서 5% metaphosphoric acid를 가하고 저온에서 신속히 추출한 후 원심분리기를 이용하여 2,000rpm에서 10분 동안 원심분리하여 상등액을 취한 후 0.22㎛ membrane filter로 여과한 다음 시험용액으로 사용하였다(Hwang 등, 2000). HPLC는 Jasco사(Japan)를 사용했으며, 분석에 사용된 column은 ZORBAX Eclipse XDB-C18(4.6cm×250mm, 5㎛, Acilent, USA), detector는 UV(265nm), 주입량은 20㎕, 이동상은 100% MeOH : 0.1M KH_2PO_4를 1:9로 혼합하여 사용하였고, flow rate는 1.0㎖/min이었다(Hua-bin과 Feng, 2001).

자. 안토시아닌

딸기 과실을 파장별로 수확하여 마쇄 후 deep freezer(-70℃)에 저장 후 분석시 1g씩 덜어서 ethanol 95%와 HCl 1.5N 용액을 85:15의 부피 비율로 혼합한 용매 10ml에 넣고 유봉으로 마쇄한 다음 parafilm으로 용기를 봉한 후 4℃ 냉장고에서 16시간 방치하였다. 이 혼합물을 여과지로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 515nm에서 흡광도를 측정한 후 Fuleki와 Francis(1968)의 방법에 따라 total anthocyanin 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

자. 과실 당도

딸기 파장별로 수확 즉시 과실을 절단하여 착즙 후 디지털 당도계(Atago PR-101, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2. 연구결과

작물재배에 있어 인공광은 크게 화성유도나 휴면방지 등 일장 반응 제어를 위한 전조재배와 광합성 촉진을 위한 보광재배에 이용된다(이석건, 1998). 과거 딸기 전조재배의 경우 휴면 방지를 위해서는 700~1,000nm의 근적외광이 효과적이나 인공광원으로서 형광등은 700nm 이상의 파장이 거의 방사되지 않는 단점이 있다. 그러나 백열등은 전술한 유효 파장이 방사되고, 연속적인 분광에너지를 가지고 있으며 또한 장파장 영역일수록 고 에너지가 방사되는 특성 외에 설치비가 저렴한 이점이 있어 전조재배의 인공광원으로 널이 이용되어 왔다(김태한 등, 1999).

본 실험에 사용된 LED 광원은 고휘도이며, 1개당 전력소모량이 1W 정도이고, 저휘도 램프타입의 LED 칩을 3~4개 정도 합친 것과 같다고 할 수 있다. 사용 전류에 따라 광량이 다르기는 하지만 350mA에서 100㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 이상 광량이 발생한다. 기존의 설치 방법대로 백열등의 광량을 측정했을 때 2~6㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 정도이다. 그러나 잎을 세워 수광체제를 좋기 하기위한 목적으로 전조재배시 광량을 높여서 실험했을 때 식물체 생육과 과실에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

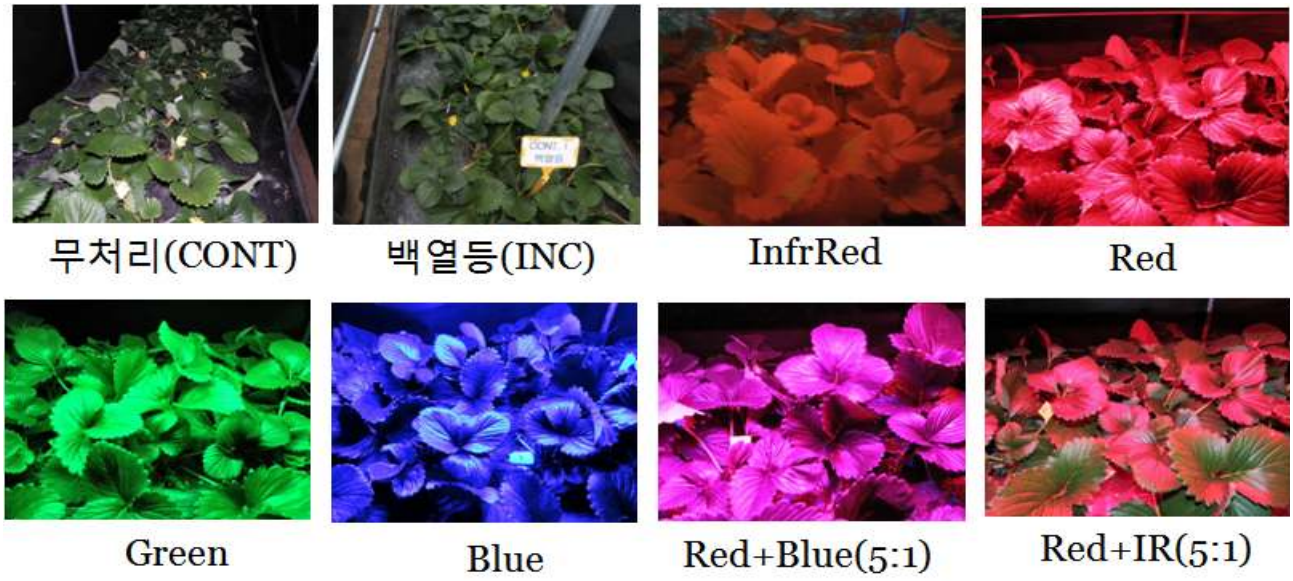
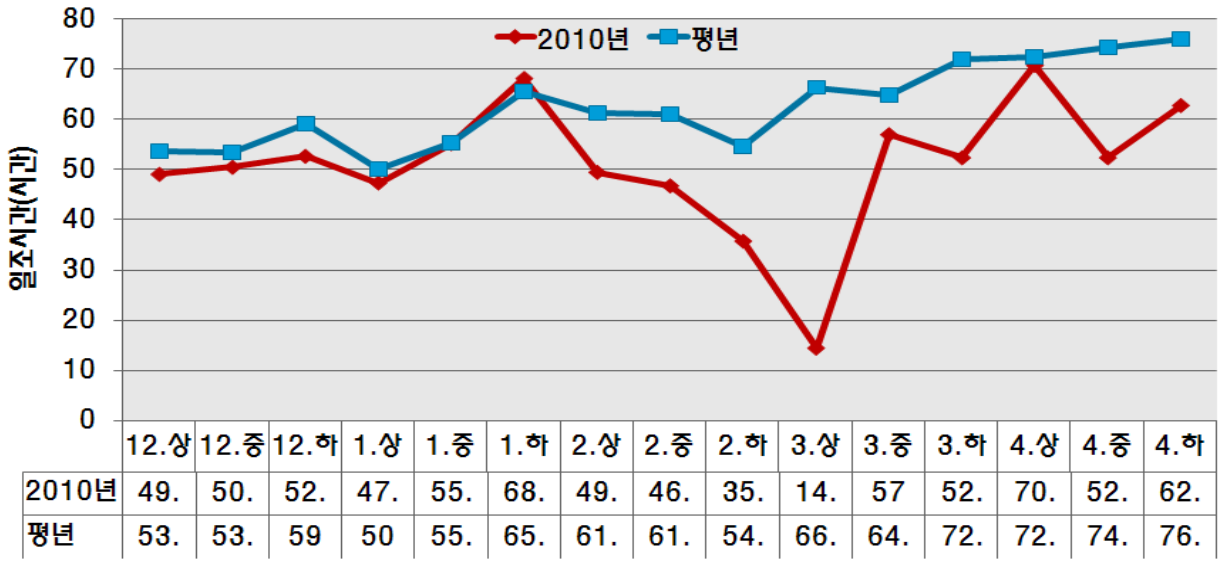


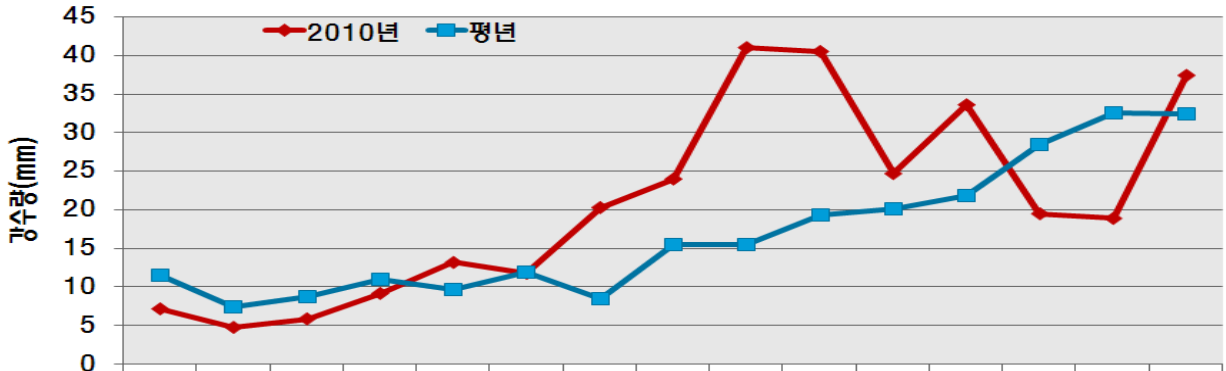
그림 3. 딸기 광원별 전조재배 실험 전경

본 실험이 시작된 2010년은 저일조로 인해 고령과 성주 지역이 큰 피해를 입었으며, 그 해의 강수량과 일조시간을 평년과 비교하여 조사한 결과(그림4, 5), 1월 중하순 경부터 잦은 강우로 인해 일조시간이 평년보다 낮은 경향이었으며, 3월 상순경에는 일조시간이 평년보다 무려 50시간 이상 부족하였다. 하우스 내 온도와 습도를 측정한 결과(그림 6, 7)에서도 하우스 내 온도 또한 강우로 인해 15℃ 이하로 낮아지고, 주간 습도는 높아지는 경향을 나타내었다. 일조 부족으로 저온 현상뿐만 아니라 자외선 차단으로 인해 수정벌 활동에 영향을 미쳐 기형과 또한 많이 발생하였고, 높은 습도로 인해 잿빛곰팡이병이 많이 발생하였다.



	12.상	12.중	12.하	1.상	1.중	1.하	2.상	2.중	2.하	3.상	3.중	3.하	4.상	4.중	4.하
2010년	49.	50.	52.	47.	55.	68.	49.	46.	35.	14.	57	52.	70.	52.	62.
평년	53.	53.	59	50	55.	65.	61.	61.	54.	66.	64.	72.	72.	74.	76.

그림 4. 2010년 성주지역 일조시간 비교



	12.상	12.중	12.하	1.상	1.중	1.하	2.상	2.중	2.하	3.상	3.중	3.하	4.상	4.중	4.하
2010년	7.2	4.8	5.9	9.2	13.	11.	20.	24	41	40.	24.	33.	19.	18.	37.
평년	11.	7.5	8.8	11.	9.7	12	8.6	15.	15.	19.	20.	21.	28.	32.	32.

그림 5. 2010년 성주지역 강수량 비교

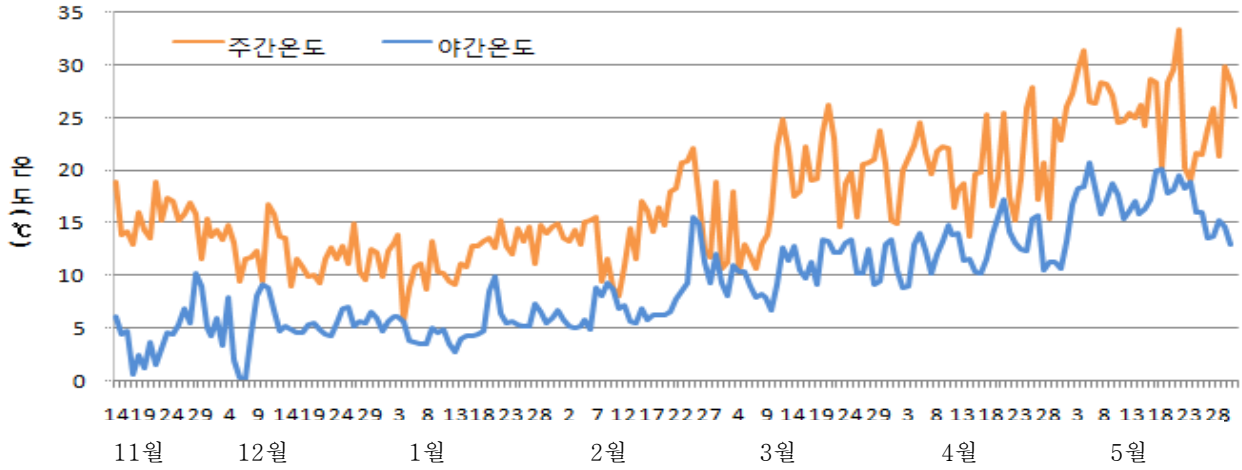


그림 6. 전조재배 하우스 내 온도 변화

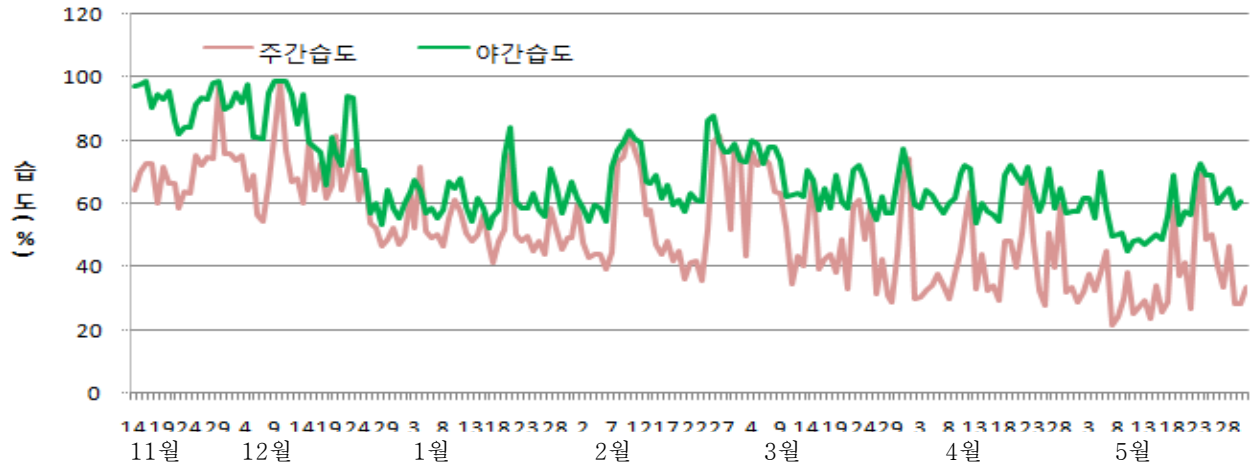


그림 7. 전조재배 하우스 내 습도 변화

그림 8. 딸기 전조재배 실험 전경

시기별로 광량을 노지와 시설 하우스(1중 비닐) 내에서 측정한 결과(표 1), 봄철 맑은 날은 하우스 내에서도 1,500μmol·m^{-2}·s^{-1} 이상을 유지하였고, 비 오는 날은 15~21μmol·m^{-2}·s^{-1} 급격하게 감소하였다. 하지만 여름철 비 오는 날은 190~218μmol·m^{-2}·s^{-1}로 봄철보다 광량이 10배가량 많았다. 태양광에서 나오는 자연적인 광량은 시기별로 차이가 있고, 특히 시설 내에서는 피복자재나 시설물에 의해 차단되는 경우가 많아서 동계 시설 내에서 작물을 재배하는 곳에서는 강우나 눈으로 인해 광량이 부족할 경우 보광을 실시하면 효과가 있을 것으로 생각된다. 딸기 또한 동계 작물로 저일조 시 보광에 대한 기준을 마련하는 것이 필요하다고 생각된다.

표 1. 노지와 시설하우스(1중 비닐) 내 시기별 광량 측정

측정일	날씨	장소	광량(μmol·m^{-2}·s^{-1})
3월 30일	맑음	노 지	1,835
		1중 비닐하우스	1,500
4월 1일	비	노 지	15
		1중 비닐하우스	21
6월 30일	흐림	노 지	520
		1중 비닐하우스	320
8월 3일	비	노 지	218
		1중 비닐하우스	190

딸기 광원별로 전조 후 15일 간격으로 식물체 생육 특성을 조사한 결과(표 2), 15일까지는 큰 유의성이 없었으나 30일 경부터 차이를 나타내기 시작하였으며, 45일 경 R/B=5 광원이 다른 처리구에 비해 초장은 길어졌으나, 60일 경에는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 엽수는 또한 45일 경 R/B=5 광원이 다른 처리구에 비해 많았으나, 60일 경에는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 엽위 별로 엽장과 엽폭을 전조 후 15일 간격으로 조사한 결과(표 3, 4)에서는 처리 간에 통계적인 유의성은 없었다.

전조는 딸기 잎의 생장에서 나타나는 장일성(단야성)을 이용한 기술이다. 그 때문에 전조에 의한 잎 생장 제어란 자연일장에 비해 생장을 촉진하는 방향 가운데에서 그 정도를 제어하는 것을 의미한다. 그러나 혹한기에는 신엽형성에 이용되는 동화산물이 절대적으로 부족하기 때문에 광합성량이 적은 혹한기, 이때 수용 부위 활성이 굉장히 큰 과실이 많은 양의 동화산물을 우선적으로 빼앗아가 버리기 때문에 신엽이 생장할 수 없다. 전조 반응은 동화산물을 매개로 하여 발현되기 때문에 전조에 의한 장일 처리는 잎의 생장촉진을 지시하는 의미가 있고, 그 지시가 실제로 실현되기 위해서는 잎의 구성재료인 동화산물이 충분히 있어야 한다고 생각한다. 따라서 최근에 주로 재배되고 있는 휴면이 얕은 품종의 경우, 혹한기에 온도를 높게 관리하고 전조처리를 강하게 해주면 비교적 쉽게 엽병을 신장시킬 수 있다. 그러나 엽면적의 확대는 쉽지가 않다. 따라서 동절기에 엽면적이 큰 잎을 형성시키기 위해서는 휴면이 얕은 품종이더라도 고온 장일 조건을 주는 것만으로는 충분치 않고 충분한 광합성량을 확보해 둘 필요가 있다고 생각된다(윤혜숙 등, 2010).

표 2. 딸기 광원별 전조재배시 생육 특성 변화

파장	초장				엽수			
	15일♪	30일	45일	60일	15일	30일	45일	60일
Control	0.67a[z]	2.06ab	2.64ab	3.33ab	0.57a	1.60a	2.57ab	3.87a
Incandescent lamp	0.45a	0.78c	2.25b	2.86b	0.67a	1.60a	2.27b	4.17a
InfraRed	0.64a	2.18ab	2.72ab	3.60a	0.50a	1.57a	2.37ab	4.53a
Red	0.40a	1.20c	2.21b	2.93ab	0.57a	1.60a	2.63ab	4.93a
Green	0.49a	2.12ab	2.57ab	3.38ab	0.50a	1.73a	2.63ab	4.47a
Blue	0.50a	1.85abc	2.41ab	3.18ab	0.57a	1.60a	2.63ab	4.70a
R/FR=5	0.70a	2.27ab	2.68ab	3.32ab	0.43a	1.53a	2.47ab	4.43a
R/B=5	0.71a	2.50a	2.97a	3.54ab	0.60a	1.67a	3.13a	5.30a

♪전조 후 생장변화의 정도를 나타냄

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

표 3. 딸기 광원별 전조재배시 엽위별 엽장 변화

파장	엽장											
	제1엽				제2엽				제3엽			
	15일♪	30일	45일	60일	15일	30일	45일	60일	15일	30일	45일	60일
Control	0.35a[z]	0.78a	1.08a	1.50a	0.23a	0.53a	0.96a	1.27a	0.31a	0.67a	0.92a	1.23a
Incandescent lamp	0.37a	0.85a	1.18a	1.53a	0.29a	0.57a	0.94a	1.21a	0.26a	0.57a	0.82a	1.05a
InfraRed	0.59a	1.01a	1.37a	1.74a	0.27a	0.55a	0.92a	1.20a	0.25a	0.53a	0.94a	1.26a
Red	0.49a	0.83a	1.11a	1.50a	0.25a	0.54a	0.80a	1.12a	0.20a	0.44a	0.77a	1.07a
Green	0.54a	0.90a	1.21a	1.70a	0.21a	0.49a	0.83a	1.25a	0.23a	0.63a	0.88a	1.32a
Blue	0.44a	0.87a	1.18a	1.56a	0.21a	0.52a	0.79a	1.18a	0.31a	0.67a	0.96a	1.32a
R/FR=5	0.51a	0.91a	1.23a	1.63a	0.20a	0.49a	0.80a	1.13a	0.32a	0.60a	0.87a	1.19a
R/B=5	0.51a	0.88a	1.17a	1.62a	0.23a	0.55a	0.85a	1.30a	0.14a	0.54a	0.82a	1.28a

♪전조 후 생장변화의 정도를 나타냄

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

표 4. 딸기 광원별 전조재배시 엽위별 엽폭 변화

파장	엽폭											
	제1엽				제2엽				제3엽			
	15일♪	30일	45일	60일	15일	30일	45일	60일	15일	30일	45일	60일
Control	0.53a[z]	0.87a	1.10a	1.33a	0.30a	0.63a	0.87a	1.13a	0.30a	0.67a	0.87a	1.10a
Incandescent lamp	0.43a	0.77a	1.10a	1.27a	0.20a	0.50a	0.80a	0.97a	0.27a	0.50a	0.80a	0.90a
InfraRed	0.53a	0.87a	1.13a	1.37a	0.20a	0.50a	0.67a	0.93a	0.13a	0.50a	0.63a	0.90a
Red	0.43a	0.73a	1.00a	1.20a	0.33a	0.60a	0.87a	1.00a	0.27a	0.50a	0.89a	0.97a
Green	0.53a	0.87a	1.13a	1.47a	0.23a	0.40a	0.57a	0.87a	0.20a	0.50a	0.63a	0.93a
Blue	0.43a	0.73a	1.00a	1.27a	0.27a	0.47a	0.67a	0.97a	0.33a	0.60a	0.83a	1.10a
R/FR=5	0.43a	0.80a	1.1a	1.27a	0.20a	0.43a	0.67a	0.90a	0.23a	0.47a	0.77a	0.93a
R/B=5	0.53a	0.87a	1.1a	1.37a	0.23a	0.47a	0.67a	0.93a	0.23a	0.50a	0.70a	1.10a

♪전조 후 생장변화의 정도를 나타냄

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

딸기 광원별로 전조재배시 개화 특성과 런너 발생량을 조사한 결과(표 5), 전조 후 2화방 출현 소요일수는 17~22일 경으로 무처리가 가장 빨리 출현했으나, 통계적으로 유의성은 없었다. 전조 60일 후 출현 화방수 또한 통계적으로 유의성은 없었으나, 전조 90일 후 런너 발생량을 조사한 결과 무처리는 식물체 당 1개 미만으로 가장 적었고, 백열등 처리구에서는 4개 이상으로 가장 많았다. 장파장인 Far-Red와 Red 계열이 함유된 광원에서 런너가 많이 발생하는 경향이었다.

표 5. 딸기 광원별 전조재배시 개화 특성 및 런너 발생량

파장	전조 후 2화방 출현 소요일수	전조 60일 후 출현 화방수	전조 90일 후 런너 발생량
Control	17.33a[z]	1.87a	0.93c
Incandescent lamp	21.60a	1.47a	4.20a
InfraRed	21.83a	1.73a	1.63bc
Red	19.97a	1.63a	2.60b
Green	21.13a	1.63a	1.83bc
Blue	21.77a	1.83a	0.97bc
R/FR=5	18.00a	2.03a	2.20bc
R/B=5	17.20a	1.63a	2.27bc

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

전조 60일 후 광원별로 엽면적을 조사한 결과(그림 9), R/B=5 광원이 가장 넓었으며, 무처리에 비에 전조를 실시한 것이 엽면적이 많은 경향이었다. 전조 15, 30일 후 엽록소 함량을 측정한 결과(그림 10) 또한 무처리에 비해 전조 처리구가 엽록소 함량이 더 많은 경향이었으며, 백열등 처리구가 가장 많았다. 엽록소는 광에너지를 흡수하는 가장 중요한 색소이며 광합성을 하는 장소이기도 하므로 엽록소 함량이 생장의 지표로 활용되기도 한다.

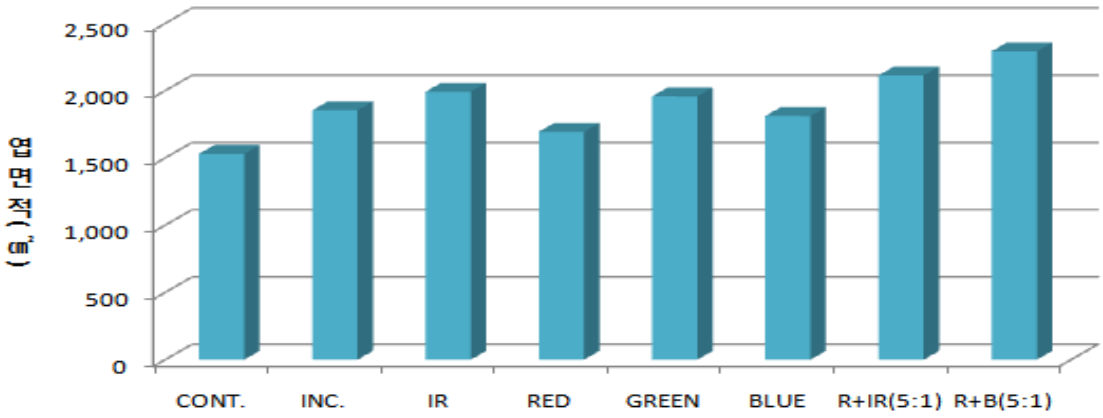


그림 9. 딸기 광원별 전조 60일 후 엽면적

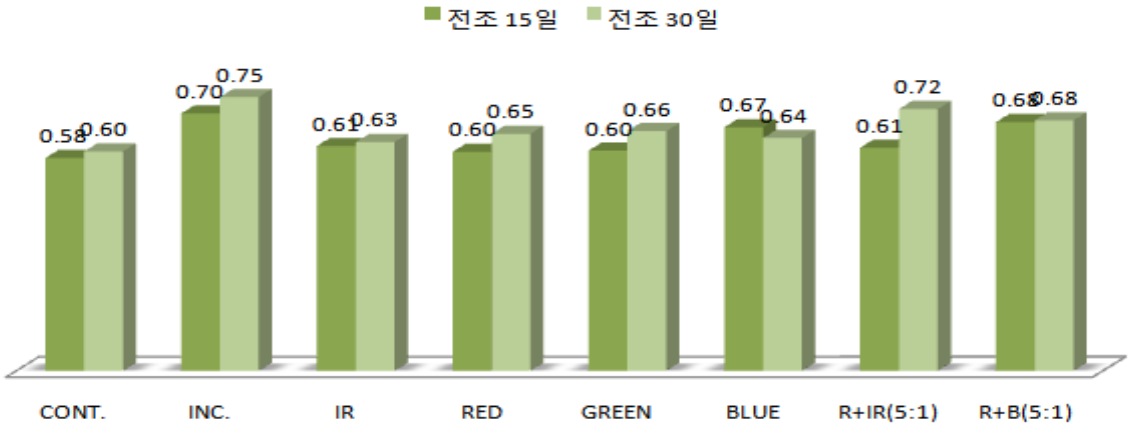


그림 10. 딸기 광원별 전조재배시 엽록소 함량 변화

딸기 광원별로 전조재배시 과실의 성분 변화에 대해 조사한 결과(그림 11), 비타민 C(Ascorbic acid) 함량은 장파장인 Far-Red, Red 계열이 함유된 광원에서 많은 경향이었고, Green 광원이 가장 낮았다.

비타민 C(Ascorbic acid, AsA)는 사람에 있어서 필수 불가결한 영양소로 성인 1일 필요량은 50~100mg 이지만 인간 등의 영장류는 체내에서 ascorbic acid를 합성할 수 없기 때문에 주섭취 원인인 채소류 등을 통해 외부로부터 섭취해야 한다. 인간 체내에서 ascorbic acid 기능은 항암효과, 신장질환 예방, 비만, 당뇨 예방, 노화 예방의 효과가 있어 기능적 가치가 큰 성분이다(박양호 등, 2005). 보통 식물체 내의 ascorbic acid 수준은 광의존적으로 증대하는데, 이는 L-galactono-1,4-lactone dehydorgenase가 광의존적이며(Smirnoff, 2000), 또한 광합성 증대에 의해 탄수화물 합성이 증대되기 때문이다. 광질과 광량에 따라 ascorbic acid 성분이 증대한다는 연구결과들을 뒷받침하고 있다.

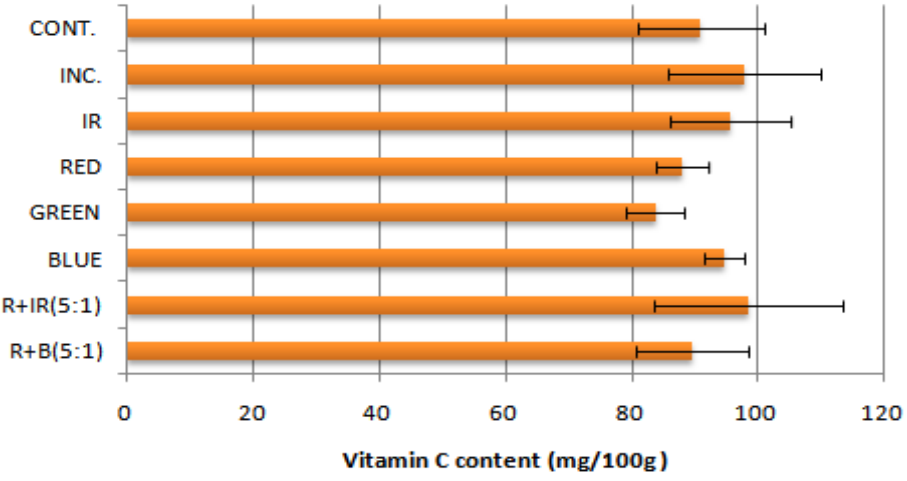


그림 11. 딸기 광원별 전조재배시 비타민 C 함량

딸기 광원별 전조재배시 수확한 과실의 안토시아닌 함량을 측정한 결과(그림 12), 단파장인 Blue 계열과 장파장인 Far-Red 계열에서 안토시아닌 함량이 많았고, 백열등이 가장 적었다.

안토시아닌은 적, 청, 자색을 나타내는 플라보노이드계의 수용성 색소로 안토시아닌이 다량 함유된 식품을 다량 섭취할 경우 항상화 및 항암효과, 함염증, 동맥경화, 심장질환, 망막퇴화 및 백내장 등의 발병률을 낮춘다고 보고되어 있다(박영은 등, 2009). 안토시아닌은 일반적으로 배당체로 존재하며, 가수분해하면 aglycone인 anthocyanidin과 당으로 분해되며, 2-phenyl-3,5-7-trihydroxyflavylium의 기본구조를 가지고 있고, anthocyanidin은 phenyl기의 OH의 위치에 따라 cyanidin, pelargonidin, delphinidin 등으로 구별되며, 딸기에는 pelargonidin이 안토시아닌의 주요 성분이다. Anthocyanidin 중에서도 cyanidin-3-glucoside(C3G)가 산화적 스트레스에 강하며, 항산화성이 있는 것으로 보고되고 있다.

안토시아닌은 투과광의 광질에 따라 색발현이 크게 달라지며 자외선이 안토시아닌의 발현을 촉진하는 경향이며, 그 외의 파장에서도 명자나무와 벚꽃에서는 청색이 효과가 있고, 녹색이 가장 낮다는 결과가 있다. 일반적으로 저온이 안토시아닌의 색발현을 촉진시키는 것으로 알려져 있으나 안토시아닌의 축적을 위해서는 우선 충분한 광합성의 조건이 요구되며, 이어서 호흡을 최소화 할 수 있는 야간의 저온이 필요하다(김종화, 1999). 따라서 본 실험에도 이와 유사한 결과를 나타내었으나, anthocyanidin에 대한 충분한 분석을 통해 기능적 가치에 대해서도 연구해 볼 필요성이 있다.

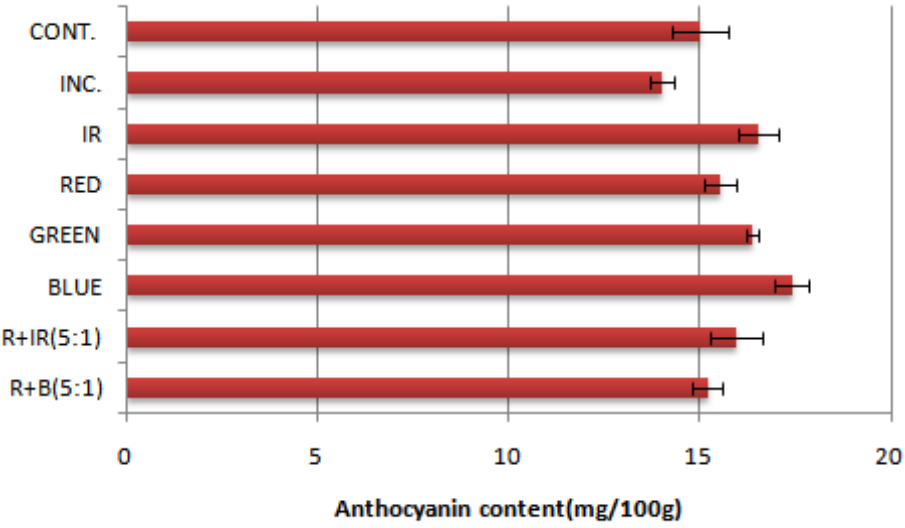


그림 12. 딸기 광원별 전조재배시 안토시아닌 함량

딸기 광원별 전조 120일 경(4월 중순) 수확한 과실의 당도를 측정한 결과(그림 13), Blue 광원이 11.7 Brix°로 가장 높았고, 무처리와 Red/Blue=5 광원이 10.5 Brix°로 가장 낮았으나, 과실의 당도는 광합성과 연과성이 높고, 4월 중순 경은 기후가 양호한 조건이므로. 광질에 따른 영향인지는 한번 더 검토가 필요한 부분으로 제3세부 과제에서 보완할 예정이다.

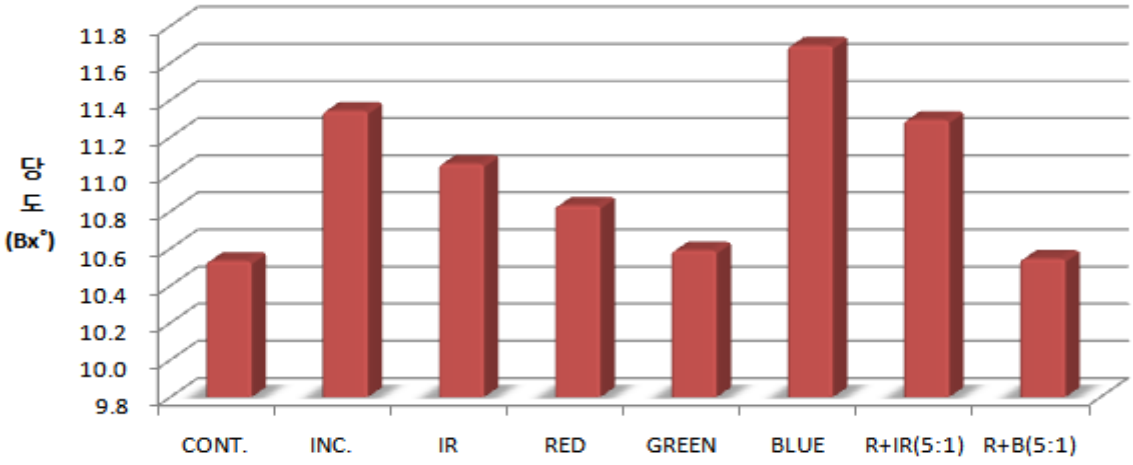


그림 13. 딸기 광원별 전조재배시 과실의 당도

3. 적요

가. 본 실험에 사용한 광원은 고휘도 LED 램프로 파장은 Far-Red(750nm), Red(660nm), Green(530nm), Blue(450nm)이며, 조합광원은 램프의 비율은 Red/Far-Red=5, Red/Blue=5 이었으나, 파장분포별 비율은 Red/Far-Red=10, Red/Blue=5이었고, 60cm 길이 조명등을 2개 직렬로 연결하여 식물체 선단부의 광량이 100~150㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이 되도록 설치하였고, 대조 광원으로는 기존 설치 방법인 백열등을 전조한 결과이다.

나. 딸기 재배기간 동안 강수량과 일조시간을 조사해 본 결과, 2월경부터 잦은 강우로 인해 일조시간 또한 평년보다 낮은 경향이었으며, 3월 상순경에는 일조시간이 평년보다 무려 50시간 이상 부족하였다. 하우스 내 온도 또한 강우로 인해 15℃이하로 낮아지고, 습도는 높아지는 경향을 나타내었다. 일조 부족으로 저온 현상뿐만 아니라 자외선 차단으로 인해 수정벌 활동에 영향을 미쳐 기형과 또한 많이 발생하였고, 높은 습도로 인해 잿빛곰팡이병이 많이 발생하였다.

다. 시기별로 광량을 노지와 시설 하우스 내에서 측정한 결과, 봄철 맑은 날은 하우스 내에서도 1,500㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 이상을 유지하였고, 비 오는 날은 15~21㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 급격하게 감소하였다. 하지만 여름철 비 오는 날은 190~218㎛ol·m^{-2}·s^{-1}로 봄철보다 광량이 10배가량 많았다.

라. 전조 후 15일 간격으로 식물체 생육 특성을 조사한 결과, 45일까지는 Red/Blue=5 광원이 다른 처리구에 비해 초장은 길어지고, 엽수는 많은 편이었으나 60일 경에는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 엽위 별로 엽장과 엽폭은 처리 간에 통계적인 유의성은 없었다.

마. 전조 후 2화방 출현 소요일수와 전조 60일 후 출현 화방수는 처리 간에 유의성이 없었으나 전조 90일 후 런너 발생량은 백열등 처리구가 무처리에 비해 4배 가량 많았다.

바. 전조 60일 후 광원별로 엽면적을 조사한 결과, Red/Blue=5 광원이 가장 많았으며, 무처리에 비에 전조를 실시한 것이 엽면적이 많은 경향이었다.

사. 전조 15, 30일 후 엽록소 함량을 측정한 결과, 무처리에 비해 전조 처리구가 함량이 더

많은 경향이었으며, 백열등 처리구가 가장 많았다.

아. 전조 후 수확과실의 비타민 C 함량은 백열등과 Red/Far-Red=5 광원이 높은 경향이며, Green 광원이 가장 낮았다. 오히려 안토시아닌 함량에서는 Blue 광원이 가장 높았으며, 백열등이 가장 낮았다.

자. 과실 당도는 Blue 광원이 무처리 보다 1°Brix 이상 높게 나왔으며, 다음으로 백열등과 Red/Far-Red=5 광원이 높았다.

차. 이상의 결과를 종합해 보면 식물체 생육과 관련하여 초장, 엽수, 엽면적 등은 Red/Blue=5 조합광원이 큰 영향을 미쳤으나, 과실의 당도, 비타민 C, 안토시아닌 등은 파장별로 차이가 있었다. 따라서 딸기의 전조 재배시 잎을 세워 생육을 양호하게 하기 위한 목적 뿐 만 아니라 과실의 기능성 성분과 관련한 연구도 보완이 필요할 것으로 생각된다.

<3세부과제 광 환경 개선을 위한 딸기재배 종합기술 체계확립>

제1절 LED 모주 런너 발생 촉진 농가 실증 검토

1. 연구내용

가. 식물재료 및 실증지역

국내육성 품종인 설향(*Fragaria × ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 이용하여 저온을 충분히 거친 모주를 재료로 연결포트에 원예 상토를 넣어 정식하였다. 재배조건은 1중 비닐하우스에서 터널을 설치하여 비닐과 보온덮개로 야간온도를 유지하였다. 실증지역은 고령 1개소에서 실시하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 Red/Blue=5 조합광원으로 비율은 스펙트럼 파장의 비율로 나타내었고, E26 소켓에 이용 가능한 PAR 타입의 광원을 이용하였으며, 대조광원으로 백열등(60W), 삼파장형광등(20W)을 이용하였다. 전조시간은 일몰 후 18:00~06:00까지 30분 간격으로 간헐조명하였고, 지표면에서 1m 높이의 터널하우스 안에 설치하였다.

다. 식물체 조사

전조 처리 40일 후 초장, 관부직경, 분주수, 런너수를 조사하였고, 생체중과 건물중은 조사 완료후 분석하였다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정
(2) 관부직경 : 모주 관부의 직경을 측정
(3) 분주수 : 모주 관부가 분주한 개수를 측정
(4) 런너수 : 모주에서 발생한 런너 개수를 측정
(5) 생체중, 건물중 : 관부를 중심으로 지상부와 지하부로 나누어서 생체중을 측정한 후 80℃, 48시간 열풍건조기로 건조 시킨 후 건물중을 측정

라. 유리당 함량

딸기 잎 1g에 ethanol 80% 25ml을 첨가하여 균질기로 마쇄한 다음, water bath를 이용하여 80℃에서 30분간 열탕 처리하였다. 처리된 시료액을 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상징액을 취하고, 잔사는 다시 ethanol 80%을 첨가하여 위의 과정을 2회 반복하여 최종적으로 얻은 상징액이 50ml가 되게 하였다. 획득한 상징액을 환저플라스크에 넣어 회전농축기를 이용하여 감압농축하였다. 농축액을 3차 증류수 2ml로 잘 섞은 다음, Sep-Pak C18 cartrige를 이용하여 1차 여과하였다. 여과된 액을 다시 0.45㎛ 구공의 PVDF 주사기용 필터를 이용하여 2차 여과하여 UPLC(Waters, USA)를 통해 분석하였다. 분석시의 조건은 zorbax carbohydrate column(HP사, 4.6mm ID×150mm, 5㎛)을 이용하였으며, 이동상은 acetonitrile 75%를 사용하였으며, 온도 30℃, injection volume 30㎕, 유속 1.0ml/min로 수행하였다.

2. 연구결과

딸기 설향의 모주 전조처리 실험은 고령 농가 1개소에서 실시하였고, 농가에서는 아주 어린 묘를 모주로 이용하고 있었다. 본 실험의 전경은 그림 1과 같다. 딸기 설향의 광원별 생육특성을 조사한 결과(표 1), 무처리 보다는 전조처리구에서 초장이 길어지는 경향이었고, 삼파장 형광등이 21.71cm로 가장 길었으나 관부직경은 백열등과 LED PAR 처리구에서 9.60mm와 9.79mm로 가장 두꺼웠으며, 초기에 발생한 런너 수 또한 무처리보다 2배 가량 많았다.

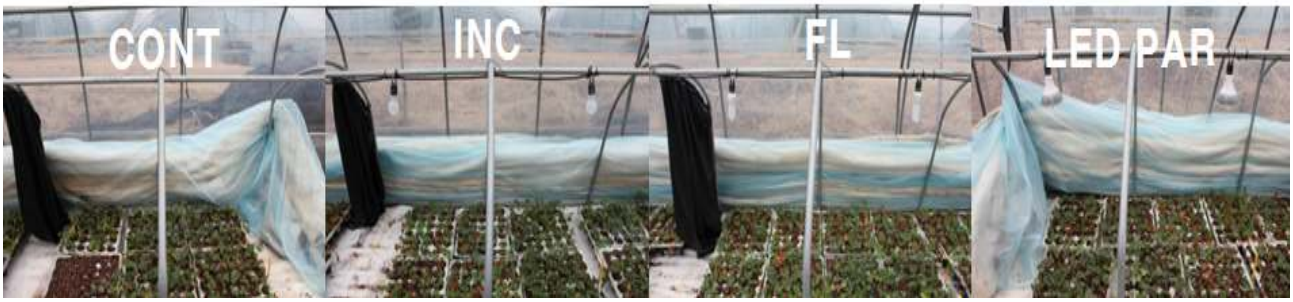


그림 1. 딸기 설향 LED 모주 전조처리시 전경(고령)

표 1. 딸기 설향 LED 모주 전조처리시 광원별 생육 특성

광원	초장 (cm)	관부직경 (mm)	엽수 (개/주)	분주수 (개/주)	런너수 (개/주)
무처리	15.89	9.25	4.20	0.10	0.20
백열등	16.58	9.60	4.20	0.10	0.25
형광등	21.71	9.21	4.00	0.00	0.40
LED PAR	19.85	9.79	3.70	0.20	0.40

LED모주 전조처리시 광원별 생체중과 건물중을 조사한 결과(표 2) 역시 무처리 보다 전조처리구가 지상부에서는 생체중과 건물중 모두 무거운 편이었으나, S/R율을 비교해 보았을 때 백열등 처리구를 제외하고는 비슷하였다. 백열등 처리구에서는 뿌리 생장이 저조하여 S/R율이 높아지게 되었다.

표 2. 딸기 설향 LED 모주 전조처리시 광원별 생체중과 건물중

광원	생체중(g)			건물중(g)		
	Shoot	Root	S/R	Shoot	Root	S/R
무처리	7.14	9.81	0.73	1.65	1.48	1.11
백열등	7.26	8.81	0.82	1.77	1.33	1.34
형광등	8.21	10.87	0.76	1.76	1.57	1.12
LED PAR	8.30	10.72	0.77	1.88	1.58	1.19

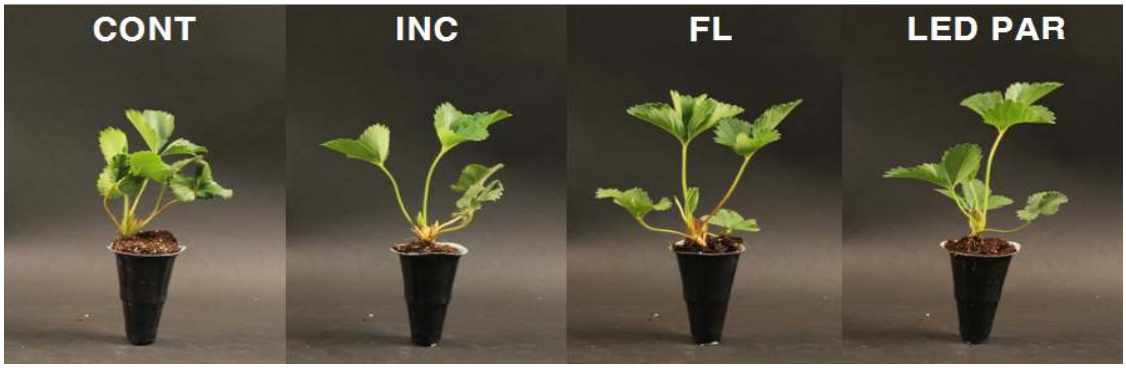


그림 2. 딸기 설향 LED 모주 전조처리시 식물체 모습

모주 전조처리별 지상부 엽의 유리당 함량을 분석한 결과(그림 3), sucrose > glucose > fructose 순으로 존재하였고, 무처리 보다 전조처리구에서 총 당함량 또한 감소하는 경향을 나타내었다.

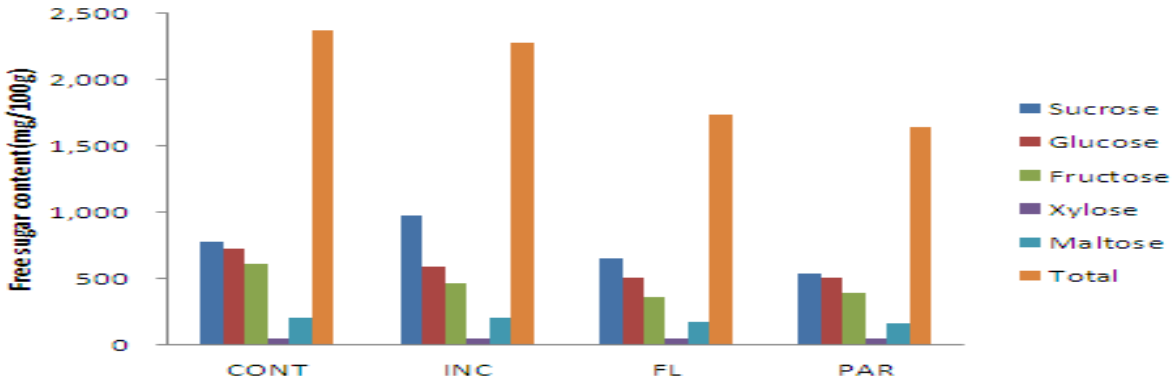


그림 3. 딸기 설향 LED 모주 전조처리시 엽 유리당 함량

모주 전조처리 후 정식하였고, 정식 67일 경 자묘 발생량을 조사한 결과(그림 4), 무처리 보다 전조처리구가 자묘 발생량이 9.0~9.7개로 많은 편이었다.

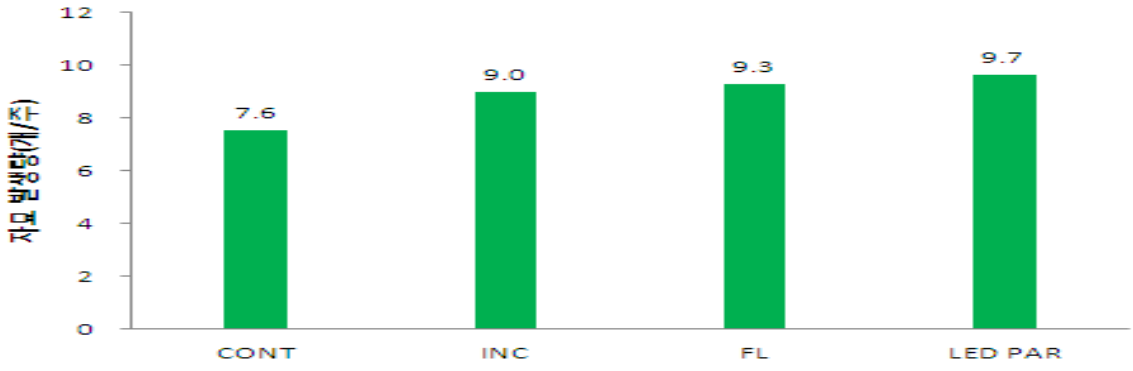


그림 4. 딸기 설향 LED 모주 전조재배 정식 후 자묘 발생량(2011. 6. 30, 정식 후 67일)

그림 5. 딸기 설향 LED 모주 정식 후 자묘 발생량 모습(2011. 6. 30, 정식 후 67일)

3. 적요

가. 무처리 보다는 전조처리구에서 초장이 길어지는 경향이었고 삼파장 형광등이 21.71cm로 가장 길었으나 관부직경은 백열등과 LED PAR 처리구에서 9.60mm와 9.79mm로 가장 두꺼웠으며, 초기에 발생한 런너 수 또한 무처리보다 2배 가량 많았다.

나. 무처리 보다 전조처리구가 지상부에서는 생체중과 건물중 모두 무거운 편이었으나, S/R율을 비교해 보았을 때 백열등 처리구를 제외하고는 비슷하였으며, 백열등 처리구에서는 뿌리 생장이 저조하여 S/R율이 높아지게 되었다.

다. 모주 전조처리별 지상부 엽의 유리당 함량은 sucrose > glucose > fructose 순으로 존재하였고, 무처리 보다 전조처리구에서 총 당함량 또한 감소하는 경향을 나타내었고, 모주 전조처리 후 정식하여 정식 67일 경 자묘 발생량을 조사한 결과, 무처리 보다 전조처리구가 자묘 발생량이 9.0~9.7개로 많은 편이었다.

제2절 LED 전조재배 농가 실증 검토

1. 연구내용

가. 식물재료 및 실증지역

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 식물재료로 하여 2010년 9월 14일에 자묘를 본포 정식하였다. 실증지역은 고령 1개소와 안동 1개소에서 실시하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 고휘도이며, Red/Blue=5 파장을 이용하여 E26 소켓에 적용 가능한 PAR 타입(지향각 90°)과 1m 길이의 BAR 타입(지향각 120°)을 설치하였고, 대조구로 백열등(100W)을 이용하였다.

LED PAR 타입 LED BAR 타입

다. 전조방법

전조 시작일은 정식 후 1화방 출현시 실시하였고, 2010년 12월 5일 시작하였다. 전조시간은 22:00~01:00(3시간) 연속조명하였고, LED 광원의 광량은 식물체가 받는 선단부에서 백열등과 LED PAR 타입은 2~4㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이고, LED BAR 타입은 100~120㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이 되도록 높이를 조절하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 후 30일째 초장, 엽병장을 조사하였고, 조사기준은 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 엽신까지의 길이를 측정하였다.

마. 엽록소함량

전조 15일과 30일째 채취한 잎 1g을 acetone 80% 용액 50mL로 마쇄하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 652nm에서 흡광도를 측정한 후 Yoshita 등(1971)의 방법에 따라 total chlorophyll 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

바. 안토시아닌

딸기 과실을 파장별로 수확하여 마쇄 후 deep freezer(-70℃)에 저장 후 분석시 1g씩 덜어서

ethanol 95%와 HCl 1.5N 용액을 85:15의 부피 비율로 혼합한 용매 10ml에 넣고 유봉으로 마쇄한 다음 parafilm으로 용기를 봉한 후 4℃ 냉장고에서 16시간 방치하였다. 이 혼합물을 여과지로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 515nm에서 흡광도를 측정한 후 Fuleki와 Francis(1968)의 방법에 따라 total anthocyanin 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

사. 과실 당도

딸기 파장별로 수확 즉시 과실을 절단하여 착즙 후 디지털 당도계(Atago PR-101, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2. 연구결과

작물재배에 있어 인공광은 크게 화성유도나 휴면방지 등 일장 반응 제어를 위한 전조재배와 광합성 촉진을 위한 보광재배에 이용된다(이석건, 1998). 과거 딸기 전조재배의 경우 휴면 방지를 위해서는 700~1,000nm의 근적외광이 효과적이나 인공광원으로서 형광등은 700nm 이상의 파장이 거의 방사되지 않는 단점이 있다. 그러나 백열등은 전술한 유효 파장이 방사되고, 연속적인 분광에너지를 가지고 있으며 또한 장파장 영역일수록 고 에너지가 방사되는 특성 외에 설치비가 저렴한 이점이 있어 전조재배의 인공광원으로 널이 이용되어 왔다(김태한 등, 1999).

본 실험에 사용된 LED PAR 타입의 광원은 농가의 실용성을 위해 기존에 백열등에서 사용하고 있는 E26 소켓을 그대로 사용할 수 있는 타입으로 설치하였고, 광량 역시 식물체가 받는 면에서 2~4㎛ol·m^{-2}·s^{-1}로 설치하였다. 기존의 설치 방법대로 백열등의 광량을 측정했을 때 2~6㎛ol·m^{-2}·s^{-1} 정도이다. 그러나 잎을 세워 수광체제를 좋기 하기 위한 목적으로 전조재배시 광량을 높여서 실험했을 때 식물체 생육과 과실에 미치는 영향을 알아보기 위해 안동 1개소와 고령 1개소를 선정하여 실시하였다.

백열등 LED PAR LED BAR

그림 1. 인공광원별 전조재배 전경

인공광원별로 전조재배 30일 후 농가별 생장량의 변화를 조사한 결과(표 1), 고령에서는 엽병장과 초장이 LED PAR 타입에서 가장 작았으나, 안동에서는 LED BAR 타입이 가장 작았다. 지역별로 처리 효과가 다르게 나타났으며, 이것은 재배적인 차이에 의한 요인이 큰 것으로 생각된다.

표 1. 인공광원별 전조재배 30일 후 농가별 생장량 변화

광원	고 령		안 동	
	엽병장(cm)	초장(cm)	엽병장(cm)	초장(cm)
백열등	1.51♪	1.10	1.62	1.44
LED PAR	0.89	0.83	1.80	1.77
LED BAR	1.51	1.35	0.96	0.68

♪전조 후 생장변화의 정도를 나타냄

전조처리 후 30일과 90일 경 엽록소 함량을 조사한 결과(그림 2)에서도 고령은 처리 30일까지는 증가하다가 90일 경에는 LED BAR 타입만 증가하고 나머지는 감소하였으며, 안동에서는 30일까지 감소하다가 90일 경에는 모두 증가하는 경향을 나타내었다.

엽록소는 광에너지를 흡수하는 가장 중요한 색소이며 광합성을 하는 장소이기도 하므로 엽록소 함량이 생장의 지표로 활용되기도 한다. 엽록소 함량에 영향을 미치는 다양한 요인들로 인해 지역 간에 차이가 나타난 것으로 생각된다.

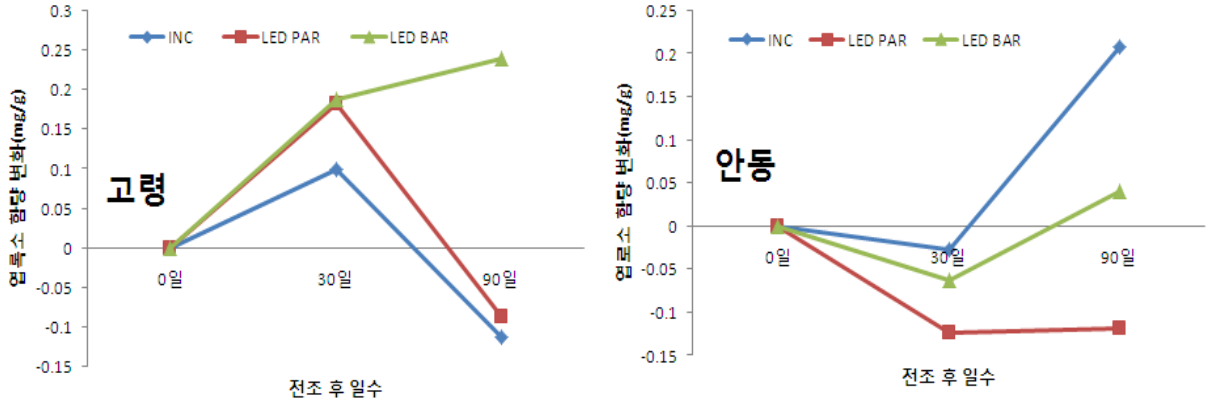


그림 2. 인공광원별 전조재배시 엽록소 함량 변화

인공광원별로 전조재배 후 정화방 과실의 수확량을 조사한 결과(표 2), 두 지역 모두 처리 간에는 큰 차이가 없었고, 수확시기별 안토시아닌 함량에서는 고령 지역은 LED PAR 처리가 많은 편이었고, 안동 지역 또한 이와 유사하였다.

안토시아닌은 적, 청, 자색을 나타내는 플라보노이드계의 수용성 색소로 안토시아닌이 다량 함유된 식품을 다량 섭취할 경우 항상화 및 항암효과, 함염증, 동맥경화, 심장질환, 망막퇴화 및 백내장 등의 발병률을 낮춘다고 보고되어 있다(박영은 등, 2009). 안토시아닌은 일반적으로 배당체로 존재하며, 가수분해하면 aglycone인 anthocyanidin과 당으로 분해되며,

2-phenyl-3,5-7-trihydroxyflavylium의 기본구조를 가지고 있고, anthocyanidin은 phenyl기의 OH의 위치에 따라 cyanidin, pelargonidin, delphinidin 등으로 구별되며, 딸기에는 pelargonidin이 안토시아닌의 주요 성분이다. Anthocyanidin 중에서도 cyanidin-3-glucoside(C3G)가 산화적 스트레스에 강하며, 항산화성이 있는 것으로 보고되고 있다.

안토시아닌은 투과광의 광질에 따라 색발현이 크게 달라지며 자외선이 안토시아닌의 발현을 촉진하는 경향이며, 그 외의 파장에서도 명자나무와 벚꽃에서는 청색이 효과가 있고, 녹색이 가장 낮다는 결과가 있다. 일반적으로 저온이 안토시아닌의 색발현을 촉진시키는 것으로 알려져 있으나 안토시아닌의 축적을 위해서는 우선 충분한 광합성의 조건이 요구되며, 이어서 호흡을 최소화 할 수 있는 야간의 저온이 필요하다(김종화, 1999). 따라서 본 실험에도 이와 유사한 결과를 나타내었으나, anthocyanidin에 대한 충분한 분석을 통해 기능적 가치에 대해서도 연구해 볼 필요성이 있다.

표 2. 인공광원별 전조재배시 농가별 수확량 변화(12월~2월 수확과수)

광원	과실수량(g/주)	
	고 령	안 동
백열등	283.6	122.2
LED PAR	276.1	129.3
LED BAR	263.2	115.5

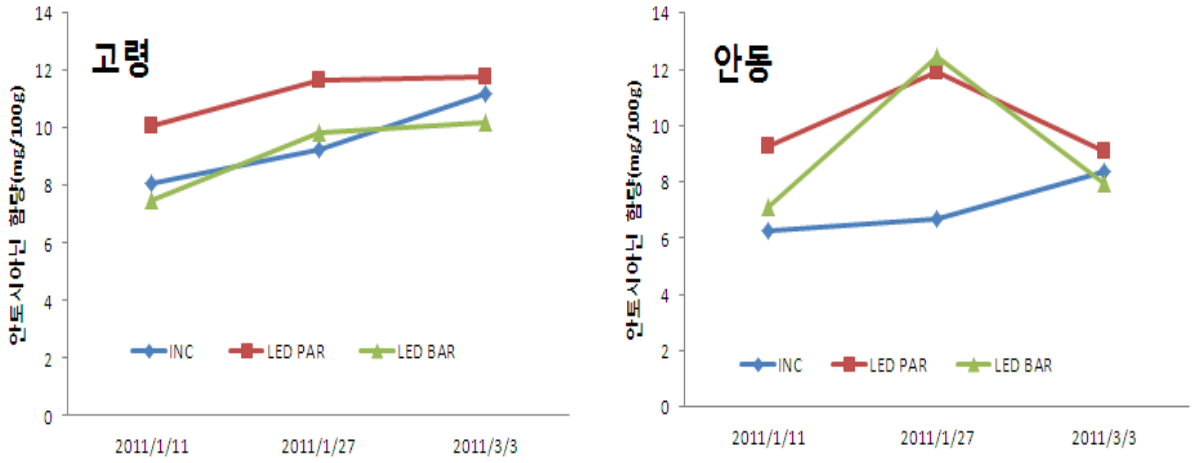


그림 3. 인공광원별 전조재배시 수확시기별 안토시아닌 함량 변화

인공광원별 전조재배시 수확시기별로 과실의 경도와 당도를 조사한 결과(표 3), 두 지역 간에 처리 간에 큰 차이는 없었으나 광질에 따라 과실의 품질에 미치는 영향에 대해 정밀하게 분석해 볼 필요성이 있다.

표 3. 인공광원별 전조재배시 수확시기별 과실 경도 및 당도 변화

광원	고 령		안 동	
	경도(g/Φ5mm)	당도(°Brix)	경도(g/Φ5mm)	당도(°Brix)
백열등	233.1	10.2	366.1	11.9
LED PAR	283.4	9.9	371.9	10.8
LED BAR	279.9	10.8	331.8	10.9

※ 1월 10일, 1월 26일 2회 수확과실 조사결과

3. 적요

가. 인공광원별로 전조재배 30일 후 고령에서는 엽병장과 초장이 LED PAR 타입에서 가장 작았으나, 안동에서는 LED BAR 타입이 가장 작았고, 지역별로 처리 효과가 다르게 나타났으며, 이것은 재배적인 차이에 의한 요인이 큰 것으로 생각된다.

나. 전조처리 후 30일과 90일 경 엽록소 함량은 고령에서는 처리 30일까지는 증가하다가 90일 경에는 LED BAR 타입만 증가하고 나머지는 감소하였으며, 안동에서는 30일까지 감소하다가 90일 경에는 모두 증가하는 경향을 나타내었다.

다. 인공광원별로 전조재배 후 정화방 과실의 수확량 역시 두 지역 모두 처리 간에는 큰 차이가 없었고, 수확시기별 안토시아닌 함량에서는 고령 지역은 LED PAR 처리가 많은 편이었고, 안동 지역 또한 이와 유사하였다.

라. 인공광원별 전조재배시 수확시기별로 과실의 경도와 당도 역시 두 지역 간 처리 간에 큰 차이는 없었으나 광질에 따라 과실의 품질에 미치는 영향에 대해 정밀하게 분석해 볼 필요성이 있다.

제3절 LED 전조재배 기술

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 식물재료로 2010년 9월 상순에 본포 정식하였다. 본포는 성주과채류시험장 광폭형 하우스(2중 비닐)에 기비로 N-P-K-고토석회-퇴비를 3.5-4.9-5.6-200-2,000kg/10a를 넣고 경운 정지한 다음 폭을 120cm, 이랑높이를 45cm로 만든 후 재식거리를 주간 20cm, 조간 20cm로 정식하였고, 하우스 온도관리는 주간 25±2℃, 야간 5±2℃로 온풍보일러를 이용하여 난방하였다.

식물체 관리는 포기당 주경 1개를 남기고, 엽수는 5~7개를 기본으로 노엽을 제거하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 고휘도이며, Red/Blue=5 파장을 이용하여 E26 소켓에 적용 가능한 PAR 타입(지향각 90°)과 1m 길이의 BAR 타입(지향각 120°)을 설치하였고, 대조구로 백열등(60W)을 이용하였다.

LED PAR 타입 LED BAR 타입

다. 전조방법

전조 시작일은 정식 후 1화방 출현시 실시하였고, 2010년 12월 16일 시작하였다. 전조시간은 22:00~01:00(3시간) 연속조명하였고, LED 광원의 광량은 식물체가 받는 선단부에서 백열등과 LED PAR 타입은 2~4㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이고, LED BAR 타입은 100~120㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이 되도록 높이를 조절하였다.

라. 식물체 조사

전조 처리 후 30일과 60일째 초장, 엽병장을 조사하였고, 조사기준은 아래와 같다.

(1) 초장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 선단부까지 길이를 측정

(2) 엽병장 : 완전 전개한 잎 중 길이가 가장 긴 줄기의 지표면에서 엽신 기부까지의 길이를 측정

마. 광량 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

바. 엽면적 측정

전조 60일째 엽면적 측정기(SI700, SKYE)를 이용하여 지상부의 완전 전개한 잎만을 채취하여 측정하였다.

사. 엽록소함량

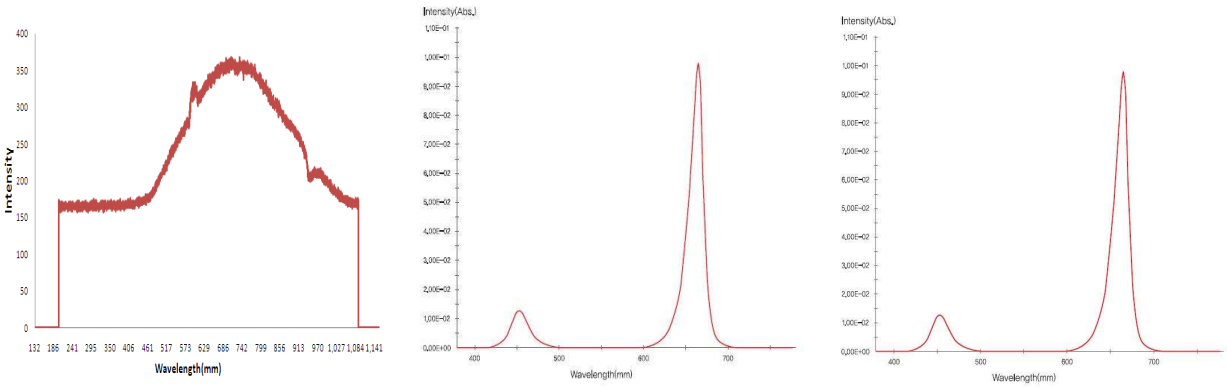
전조 15일과 30일째 채취한 잎 1g을 acetone 80% 용액 50mL로 마쇄하여 여과지(Whatman No. 2)로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 652nm에서 흡광도를 측정한 후 Yoshita 등(1971)의 방법에 따라 total chlorophyll 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

2. 연구결과

딸기는 과거에 휴면이 깊은 「보교조생」등을 촉성재배하는 데는 휴면을 억제할 목적으로 전조가 행하여 졌었다. 현재 이용되고 있는 주요 품종은 휴면이 얕고, 장일 환경으로 하지 않더라도 휴면하지 않는 경향이 있기 때문에 일반적으로는 휴면을 전조를 필요로 하지 않지만 전조에 의해 엽병이 서고, 엽신도 서는 경향이 있어, 광합성 산물이 다량 생산된다. 그 때문에 전조 기술은 휴면 억제의 목적이 아니라 잎의 수광체제를 개선하는 목적으로 행하여지는 것이다(윤혜숙 등, 2010).

일반적으로 딸기 전조재배는 품종, 작형 및 전조 목적에 따라 결정되며, 전조에 사용되는 광원은 가정용 백열등이 대부분이며, Z형과 W형으로 1열식 또는 2열식으로 배치하고, 지면으로부터 1.5m 높이에 220V, 100W 백열등을 10a 당 50개 정도 설치하는 농가가 대부분이다.

본 실험에 사용된 인공광원은 백열등 60W와 LED PAR 16W와 LED BAR 25W의 광원을 이용하여 전조재배를 실시하였다(그림 1).



백열등(60W) LED PAR LED BAR

그림 1. 인공광원 파장스펙트럼

인공광원별로 전조재배시 설향 딸기의 초장과 엽병장의 생장량 변화를 살펴본 결과(그림 2), 전조처리 후부터 1~2cm 정도 서서히 생장 후 60일경 급격하게 생장하였으며, 무처리보다 전

조처리구가 생장량이 많았으며, 그 중에서 백열등이 가장 많이 생장하였다.

백열등은 열복사에 의해서 발광이 이루어지는 램프로써 텅스텐 필라멘트에 전기가 흐르면서 고온과 함께 백열이 이루어진다. 백열전구의 분광분포는 연속스펙트럼으로서 청색광에 비해 적색광이 많이 포함되어 있어 식물의 도장 가능성이 높으므로 광합성용 광원으로는 부적합하고, 주로 낮은 광강도로 국화의 개화 제어, 딸기의 휴면방지, 식물공장에서 발아촉진 등 광형태형성 제어용으로 사용되어 왔다. 본 결과에서도 백열등은 장파장 계열이 많아 식물을 도장하게 하는 경향이 있었다.

전조 후 40일까지 초장 생장량이 저조한 것은 딸기의 생육단계가 정화방 수확시기이기 때문에 대부분의 영양분이 지상부의 생장보다는 과실로 많이 전이되었기 때문이다.

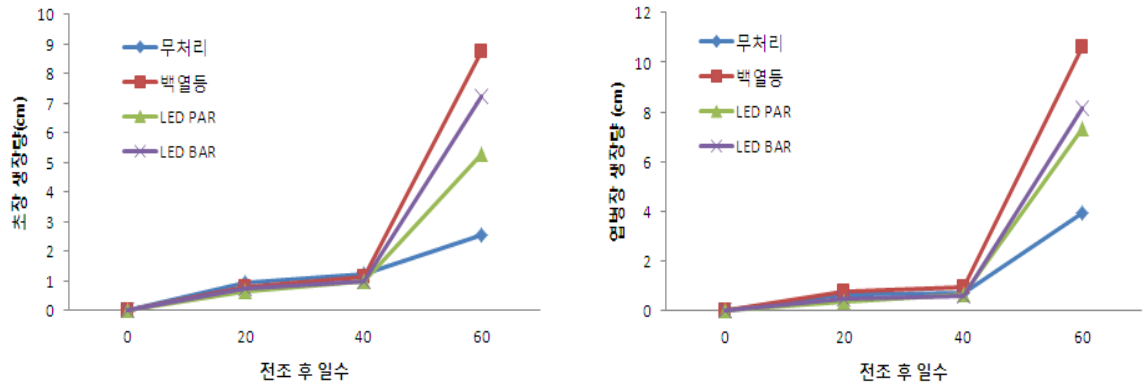


그림 2. 인공광원별 전조재배시 딸기 초장과 엽병장 생장량 변화

인공광원별 전조재배 후 지상부의 생체중과 건물중의 생장량 변화를 살펴본 결과(그림 3), 백열등 처리구에서 초장과 엽병장의 생장량에 비해 생체중과 건물중은 크게 증가하지 않았고, LED PAR 처리구에서 생체중과 건물중이 가장 많았다. 지상부의 엽면적 생장량에서는 무처리보다는 전조처리구가 엽면적이 증대하는 경향이었고, LED PAR 처리가 가장 엽면적이 넓었다(그림 4).

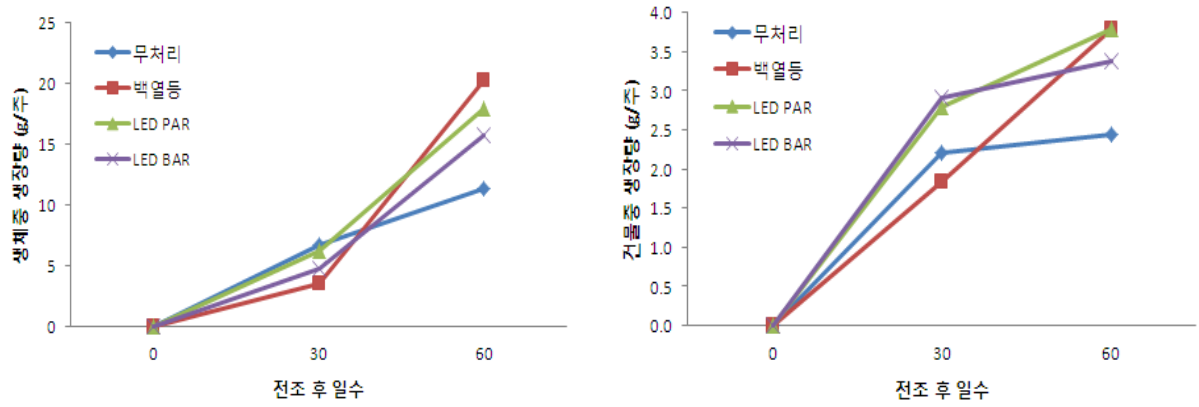


그림 3. 인공광원별 전조재배시 딸기 지상부 생체중과 건물중 생장량 변화

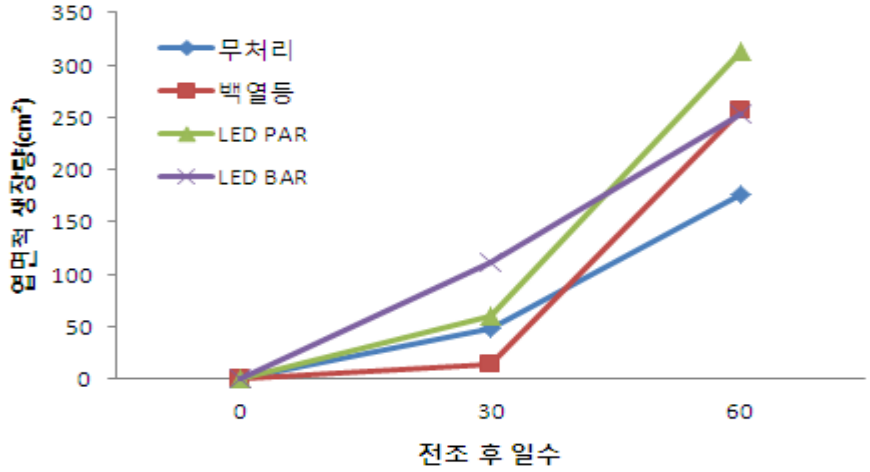


그림 4. 인공광원별 전조재배시 딸기 지상부 엽면적 생장량 변화

지상부의 엽록소 함량은 전조 30일경 LED 처리구 모두 증가하였고 60일 경에는 LED PAR를 제외하고는 모두 감소하는 경향이었다. 엽록소는 광에너지를 흡수하는 가장 중요한 색소이며 광합성을 하는 장소이기도 하므로 엽록소 함량이 생장의 지표로 활용되기도 한다.

엽록소는 적색과 청색 부근의 광을 가장 잘 흡수한다. 녹색광은 흡수하지 않고 반사하기 때문에 식물의 잎이 녹색으로 보인다. 엽록소의 파장별 흡광도를 도시한 것을 광흡수스펙트럼이라 하고, 각각 다른 파장의 단색광을 사용하여 측정한 파장별 광생물학적 반응의 크기(예컨대, 광합성률)를 도시한 것을 작용스펙트럼이라고 한다. 엽록소의 광흡수스펙트럼과 작용스펙트럼은 일치하는데, 이것은 엽록소가 잘 흡수하는 적색광과 청색광이 광합성에 가장 효과적인 광선이라는 뜻이다. 엽록소는 적색과 청색 부근에서 흡광도가 높고, 녹색 부근은 거의 흡수하지 않는다. 카로티노이드계 색소는 적황색 부근에서 흡수가 이루어지지 않는다. 엽록소의 흡광도가 높은 영역에서 광합성률도 높게 나타난다(문 등, 2000).

본 실험에 사용된 LED 광원의 조합이 Red와 Blue의 파장대로 엽록소가 가장 잘 흡수하는 파장대와 일치하여 함량에 영향을 미친 것으로 생각된다.

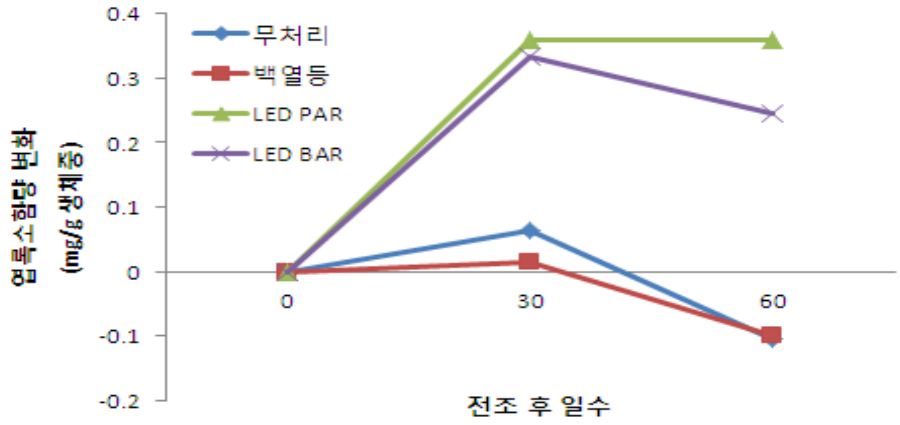


그림 5. 인공광원별 전조재배시 딸기 지상부 엽록소 함량 변화

지상부 엽에 함유된 유리당 함량의 변화를 살펴보면(그림 6), sucrose함량이 가장 많은 비중을 차지하고 있지만 전조 후 일수가 지날수록 급격하게 감소하는 경향을 나타내었으나, glucose와 fructose는 전조 30일 이후 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다.

Sucrose(자당)는 glucose(포도당)와 fructose(과당)가 결합한 이당류이며, 당의 주성분이다. 본 실험에서는 sucrose의 가수분해로 인해 glucose와 fructose로 분해된 것으로 생각된다.

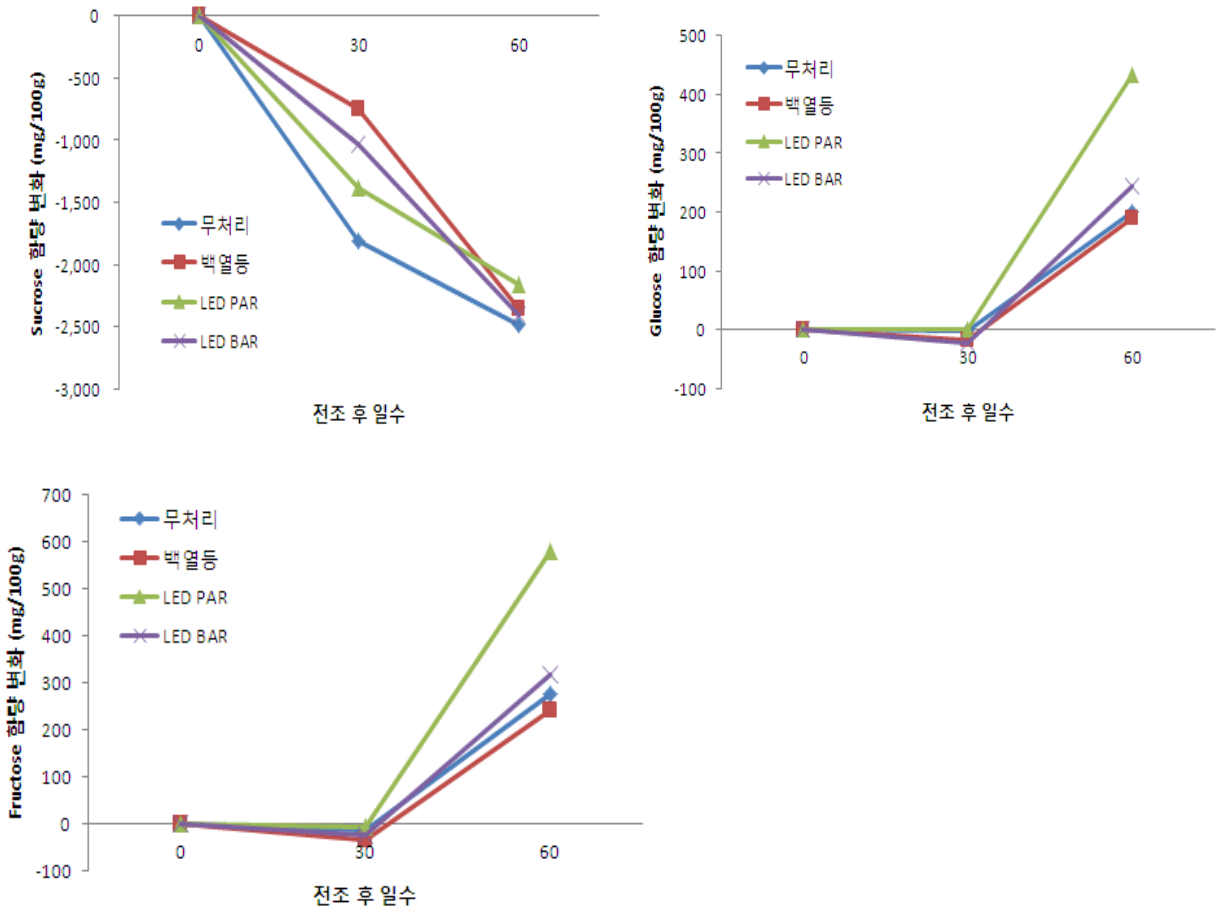


그림 6. 인공광원별 전조재배시 엽 유리당 함량 변화

광원별로 전조재배 후 정화방 과실의 수량은 처리 간에 통계적으로 유의성이 없었으나 평균 과중은 무처리보다 전조처리구에서 통계적으로 유의성 있게 증가하였고, 농산물 표준 무게 규격에서 특품은 17~25g으로 상품성이 높은 과실을 수확할 수 있게 되었으며, 당도 역시 무처리 보다 전조 처리구가 높았으며, 그중에서도 LED 처리구에서 가장 높았다.

일반적으로 과즙에 함유되고 있는 당의 비율(농도)를 당도라고 부른다. 당도의 표시방법은 가용성 고형물 함량, Brix값, 당조성에 의한 각 성분의 함량 등으로 표시하는 방법이 있다. 가용성고형물은 과즙 중에 녹아 있는 당, 산, 아미노산, 수용성 펙틴 등을 함유하여 측정하고 있다. 그러나 과즙 중에는 당이 대부분을 차지하고 있기 때문에 가용성 고형물 함량으로 당도의 대체처리를 하고 있다. Brix값은 당용굴절계를 사용하여 자당의 중량 백분율에 상당하는 굴절률로부터 당도를 측정한다. Brix값은 측정이 간이하고 측정에 필요한 양도 1ml 이하의 적은

양으로 가능하기 때문에 당도의 대체치로서는 아주 편리하다. 그러나 산도 빛을 굴절하기 때문에 레몬 등 산 함량이 높은 과일, 토마토 가공품과 같이 식염을 첨가한 것, 시차 굴절계의 당 성분이 많은 스위트콘 등에서는 당도에 오차가 크게 나타난다. 당조성을 정확하게 하게 분석하기 위해서는 고속액체크로마토그래피(HPLC)법에서 styrene, divinylbenzene 계 강산성 양이온 교환수지를 충전한 칼럼을 사용하여 시차굴절계로 분석하는 것이 필요하다.

표 1. 딸기 전조재배시 광원별 정화방 과실 특성

광원	수확 과실 수량 (g/주)	평균 과중 (g)	과실 당도 (°Brix)
무처리	169.9 a[z]	16.9 b	9.89 b
백열등	169.1 a	19.8 a	10.26 ab
LED PAR	160.8 a	21.1 a	10.82 a
LED BAR	156.4 a	21.2 a	10.82 a

[z] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

※ 농산물 표준 무게 규격 : 특품-17~25g 미만, 상품-12~17g미만

본 실험에서는 백열등을 대체할 LED 광원 설치시 딸기 전조재배 광 환경의 최적화 조건을 구명하기 위해 광원별 딸기 전조재배 농가 실증 실험에 사용할 광원의 제품 규격을 검토해 보았다(표 2). 기존의 60W 백열등에 비해 LED 광원이 16W로 소비전력이 낮았다. 광원의 형태 또한 기존의 백열등 E26 소켓에 설치할 수 있는 PAR 타입으로 실시하였다.

표 2. 광원별 제품 특성

광 원	제 품 규 격
	○ 제품명 : 백열등(Incandescent lamp) ○ 소비전력 : 60W ○ 파장구성 : White ○ 크기(mm) : 80(Φ) × 130(H) ○ 지향각 : -
	○ 제품명 : LED PAR 38 ○ 소비전력 : 16W ○ 파장구성 : Red/Blue = 5(R 660nm, B 450nm) ○ 크기(mm) : 120(Φ) × 160(H) ○ 지향각 : 120°

딸기 하우스에 적합한 전조재배시 광환경 및 최적화 조건을 알아보고자 기존의 백열등 방법으로 하우스 내 설치시 식물체가 받는 기준 조도는 50 lux 정도이며. 이것을 LED R/B=5 광원으로 환산하면 1.2μmol·m^{-2}·s^{-1}로 약 8.75 lux 정도가 되며, 하우스 내 전체 작물에 8.75 lux 이상이 균일하게 조사되도록 조명의 높이와 간격을 조정하여 설치하는 것이 중요하다.

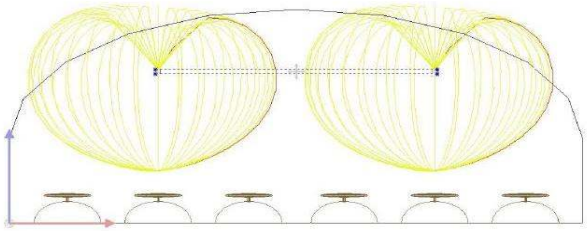
표 3. 딸기 하우스 전조재배시 광환경 및 최적화 규격

백열등 (관행)	LED PAR (최적화)
○ 설치높이 : 바닥면 1.8m ○ 설치간격 : 3m ○ 배치형태 : Z 타입 ○ 용수량 : 64개(100m 기준) ○ 소비전력 : 3,840W = 60W ×64개	○ 설치높이 : 바닥면 2m ○ 설치간격 : 3.75m ○ 배치형태 : W 타입 ○ 용수량 : 52개(100m 기준) ○ 소비전력 : 832W = 16W ×52개

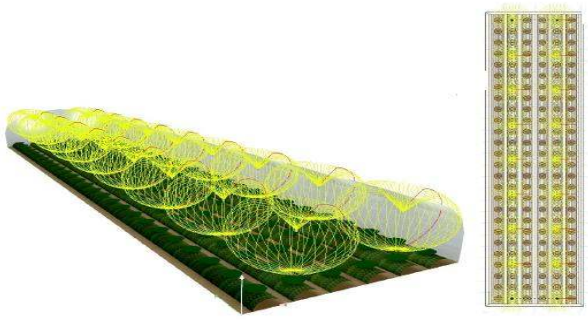
광원별로 하우스 내 광 환경을 시뮬레이션한 결과(그림 7), 백열등 배광곡선이 원형에 가까워 전조시 하우스 위쪽으로 많이 발광되었다. LED Par 타입을 기존의 방법으로 설치했을 때는 조명의 중심이 40 lux 이상이며 좁은 지향각과 낮은 설치 위치로 인해 좁은 지역에 집광되는 현상이 나타나 조명과 조명사이의 기준조도 이하의 음영지역이 발생하였다. 따라서 조명의 설치 높이를 2m로 높이고 설치 간격도 3.75m로 조절하였고, 배치형태는 W 타입으로 변경하여 전체 식물에 12 lux 이상이 조사될 수 있도록 하여 기준조도와 균제도를 만족하도록 최적화하였다.

이상의 결과를 검토해 본 결과 딸기 하우스의 전조재배시 기준조도와 균제도를 만족시키는 방법으로 설치할 경우 소비전력을 절감할 수 있는 LED PAR 타입으로 설치하여 근접광원과의 효율성을 검토해 볼 필요가 있다.

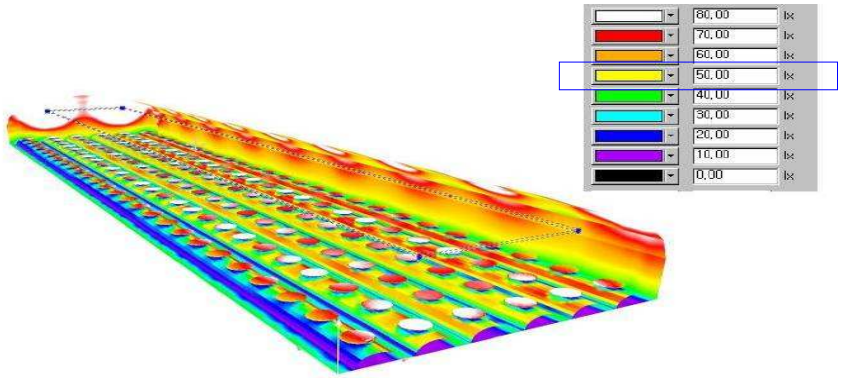
<백열등>



백열등 배광곡선



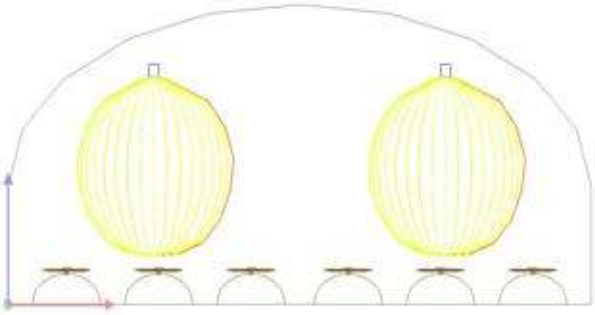
백열등 조명설치 규격



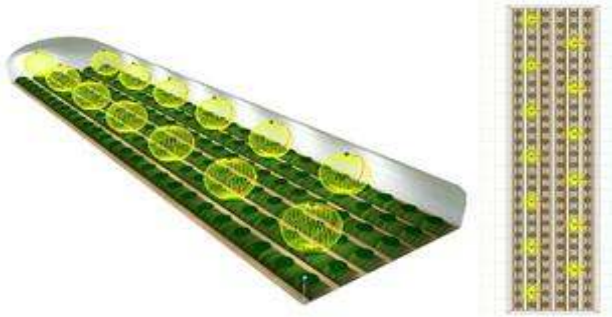
백열등 기존 광환경 Colour Display

<LED PAR 38>

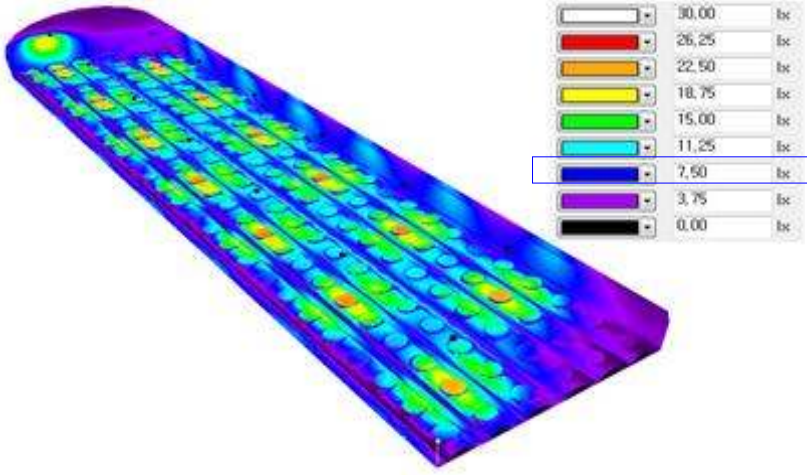
* 환산조도 : 백열등 50Lux ≒ 1.199㎛ol·m^{-2}·s^{-1} ≒ LED PAR 8.75Lux



LED PAR 38 배광곡선



LED PAR 38 조명설치 최적화 규격



LED PAR 38 최적화 광환경 Colour Display

그림 7. 광원별 하우스 내 광환경 시뮬레이션

딸기 전조재배시 최적의 광환경으로 설치할 경우 광원별 전력 사용량을 비교해 본 결과(표 4), 하우스 1동 기준 10a 당 3시간씩 연속조명을 이용할 경우 백열등은 용수량이 3,840W이고, LED PAR 타입은 832W이며, 이것을 농사용(병)을 기준으로 부가세 10%와 전력기금 3.7%를 가산하여 전기요금을 계산한 결과, 3만 7천원(Δ78%) 정도 절감되는 효과가 있었다.

표 4. 전조광원별 전력 사용 비교

인공광원	전력량 (W/개)	용수량 (W/10a)	전기사용량 (kW/90일)	전기요금[z] (원/10a)	증감율 (%)
백열등	60	3,840	1,037	47,785	-
LED PAR	16	832	225	10,529	Δ78

[z] 전기요금 : 농사용(병) 기준, 부가세 10%, 전력기금 3.7% 가산

3. 적요

가. 인공광원별로 전조재배시 설향 딸기의 초장과 엽병장은 전조처리 후부터 1~2cm 정도 서서히 생장 후 60일경 급격하게 생장하였으며, 무처리보다 전조처리구가 생장량이 많았으며, 그 중에서 백열등이 가장 많이 생장하였다.

나. 인공광원별 전조재배 후 지상부의 생체중과 건물중은 증가하지 않았고, LED PAR 처리구에서 생체중과 건물중이 가장 많았다.

다. 지상부의 엽면적 생장량에서는 무처리 보다는 전조처리구가 엽면적이 증대하는 경향이었고, LED PAR 처리가 가장 엽면적이 넓었다.

라. 지상부의 엽록소 함량은 전조 30일경 LED 처리구 모두 증가하였고 60일 경에는 LED PAR를 제외하고는 모두 감소하는 경향이었다.

마. 지상부 엽에 함유된 유리당 함량은 sucrose함량이 가장 많은 비중을 차지하고 있지만 전조 후 일수가 지날수록 급격하게 감소하는 경향을 나타내었으나, glucose와 fructose는 전조 30일 이후 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다.

바. 기존의 백열등 방법으로 설치하면 식물체가 받는 기준 조도는 50lux 정도이며, 이것을 LED R/B=5 광원으로 환산하면 1.2㎛ol·m^{-2}·s^{-1}로 약 8.75lux 정도가 되면 전체 작물에 8.75lux 이상이 조사되도록 조명의 높이와 간격을 조정하여 설치하는 것이 중요하다.

마. 광원별로 광 환경을 시뮬레이션한 결과, 백열등 배광곡선이 원형에 가까워 전조시 하우스 위쪽으로 많이 발광되는 것을 볼 수 있다.

바. LED PAR 타입을 설치했을 때는 조명의 중심이 40lux 이상이며 좁은 지향각과 낮은 설치 위치로 인해 좁은 지역에 집광되는 현상이 나타나 조명과 조명사이의 기준조도 이하의 음영지역이 발생하였다. 따라서 조명의 설치 높이를 2m로 높이고 설치 간격도 3.75m로 조절하였고, 배치형태는 W 타입으로 변경하여 전체 식물에 12lux 이상이 조사될 수 있도록 하여 기준조도와 균제도를 만족하도록 최적화 하였다.

사. 이상의 결과를 검토해 본 결과 딸기 하우스의 전조재배시 기준조도와 균제도를 만족시키는 방법으로 설치할 경우 소비전력을 절감할 수 있는 LED PAR 타입으로 설치하여 근접광원과의 효율성을 검토해 볼 필요가 있다.

제4절 LED 전조재배시 광질별 과실 성분 변화

1. 연구내용

가. 식물재료 및 재배조건

국내육성 품종인 설향(*Fragaria* × *ananassa* Duch cv. Sulhyang)을 식물재료로 2010년 9월 상순에 본포 정식하였다. 본포는 성주과채류시험장 광폭형 하우스(2중 비닐)에 기비로 N-P-K-고토석회-퇴비를 3.5-4.9-5.6-200-2,000kg/10a를 넣고 경운 정지한 다음 폭을 120cm, 이랑높이를 45cm로 만든 후 재식거리를 주간 20cm, 조간 20cm로 정식하였고, 하우스 온도관리는 주간 25±2℃, 야간 5±2℃로 온풍보일러를 이용하여 난방하였다.

식물체 관리는 포기당 주경 1개를 남기고, 엽수는 5~7개를 기본으로 노엽을 제거하였다.

나. 인공광원

실험에 사용된 인공광원 LED(Light Emitting Diode)는 고휘도이며, 지향각이 120° 정도이고, Red/Blue=5, Red/Far-Red=5 조합광원의 비율은 램프의 비율로 나타내었다. LED의 PCB(printed circuit board) 크기는 58.6×9.4×3.2cm이며, 재질은 메탈(metal)이고, PCB 당 1W 램프를 18개 부착하였고, 2개의 PCB를 연결하여 사용하였다. 대조구로 무처리와 백열등(100W)을 설치하였고, 백열등(Incandescent lamp, INC)의 파장 스펙트럼 분포는 연속스펙트럼으로서 청색광에 비해 적색광과 원적색 광이 많이 포함되어 있어 식물의 도장 가능성이 높으므로 광합성용 광원으로는 부적합하고, 주로 작은 광 강도로서 국화의 개화 제어, 딸기의 휴면방지, 식물공장에서 발아촉진 등 광형태형성 제어용으로 사용된다.

다. 전조방법

전조 시작일은 정식 후 1화방 출현시 실시하였고, 2010년 12월 16일 시작하였다. 전조시간은 22:00~01:00(3시간) 연속조명하였고, LED 광원의 광량은 식물체가 받는 선단부에서 백열등과 LED PAR 타입은 2~4㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이고, LED BAR 타입은 100~120㎛ol·m^{-2}·s^{-1}이 되도록 높이를 조절하였다.

라 . 광량 측정

광량은 휴대용 광량자 측정기(HD2101.2)로 측정하였고, LP471 PAR 400~700nm 측정 가능한 센서를 이용하였다.

마. 비타민 C

딸기 과실을 파장별로 수확하여 마쇄 후 deep freezer(-70℃)에 저장 후 분석시 1g씩 덜어서 5% metaphosphoric acid를 가하고 저온에서 신속히 추출한 후 원심분리기를 이용하여 2,000rpm에서 10분 동안 원심분리하여 상등액을 취한 후 0.22㎛ membrane filter로 여과한 다음 시험용액으로 사용하였다(Hwang 등, 2000). HPLC는 Jasco사(Japan)를 사용했으며, 분석에 사용된 column은 ZORBAX Eclipse XDB-C18(4.6cm×250mm, 5㎛, Acilent, USA), detector는 UV(265nm), 주입량은 20㎕, 이동상은 100% MeOH : 0.1M KH_2PO_4를 1:9로 혼합하여 사용하

였고, flow rate는 1.0㎖/min이었다(Hua-bin과 Feng, 2001).

바. 안토시아닌

딸기 과실을 파장별로 수확하여 마쇄 후 deep freezer(-70℃)에 저장 후 분석시 1g씩 덜어서 ethanol 95%와 HCl 1.5N 용액을 85:15의 부피 비율로 혼합한 용매 10ml에 넣고 유봉으로 마쇄한 다음 parafilm으로 용기를 봉한 후 4℃ 냉장고에서 16시간 방치하였다. 이 혼합물을 여과지로 여과하여 분석하였다. 추출액은 UV/VIS Spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan)를 이용하여 515nm에서 흡광도를 측정한 후 Fuleki와 Francis(1968)의 방법에 따라 total anthocyanin 함량을 계산하였으며, mg/g fresh wt.로 표시하였다.

사. 과실 당도

딸기 파장별로 수확 즉시 과실을 절단하여 착즙 후 디지털 당도계(Atago PR-101, Japan)를 이용하여 측정하였다.

아. 유리당 함량

딸기 잎 1g에 ethanol 80% 25ml을 첨가하여 균질기로 마쇄한 다음, water bath를 이용하여 80℃에서 30분간 열탕 처리하였다. 처리된 시료액을 3,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상징액을 취하고, 잔사는 다시 ethanol 80%을 첨가하여 위의 과정을 2회 반복하여 최종적으로 얻은 상징액이 50ml가 되게 하였다. 획득한 상징액을 환저플라스크에 넣어 회전농축기를 이용하여 감압농축하였다. 농축액을 3차 증류수 2ml로 잘 섞은 다음, Sep-Pak C18 cartrige를 이용하여 1차 여과하였다. 여과된 액을 다시 0.45㎛ 구공의 PVDF 주사기용 필터를 이용하여 2차 여과하여 UPLC(Waters, USA)를 통해 분석하였다. 분석시의 조건은 zorbax carbohydrate column(HP사, 4.6mm ID×150mm, 5㎛)을 이용하였으며, 이동상은 acetonitrile 75%를 사용하였으며, 온도 30℃, injection volume 30㎕, 유속 1.0ml/min로 수행하였다.

자. 폴리페놀

과실 2g을 80% 에탄올로 균질화한 후 85℃ 3시간 반응 후 여과하여 Folin-Denis 변법으로 UV-spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan) 760nm에서 흡광도를 측정하고 표준곡선은 tannic acid를 이용하여 계산하였다.

차. 전자공여능

과실 2g을 80% 에탄올로 추출하여 여과한 다음 DPPH 용액을 넣고 30분간 반응 후 UV-spectrophotometer(Hitach UV-2001, Japan) 515nm에서 흡광도를 측정한 후 DMSO를 대조구로 하여 대조군에 대한 라디칼 소거능을 백분율로 계산하였다.

2. 연구결과

LED의 광원의 농업적 이용시 장점으로는 종래의 인공광원에 비하여 식물의 광합성 및 생장에 필요한 파장역만을 갖는 단색광이며, 소형으로 판넬화가 가능하여 생장상(Growth chamber)

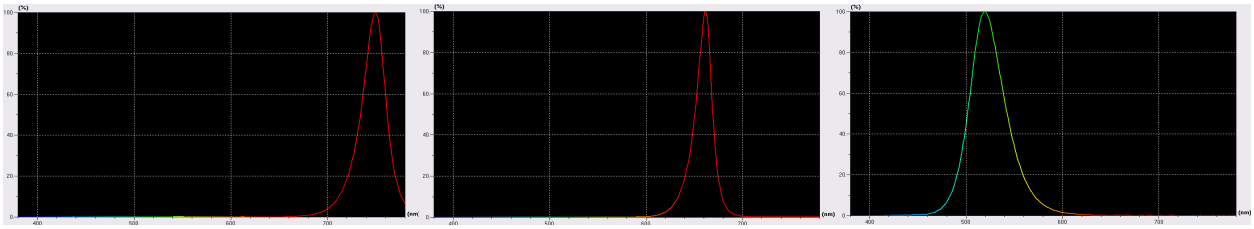
과 같이 비교적 좁은 공간에서도 활용이 가능하다. 또한 전력 소모량이 적으며, 열선을 방사하지 않아 근접조명이 가능하다. 수명 또한 반영구적(5만~10만 시간)이며, 특정파장만을 갖는 광질 선택이 가능하다.

LED 조명의 농업적 활용 목적은 잎들깨의 개화지연, 국화의 개화조절을 위한 작물의 개화시기 조절과 일조부족시 보조광원, 전조재배로 인한 생산량 증대에 많이 이용된다. 또한 색소 형성에 관여하는 파장대 및 기능성분 증대에 관여하는 파장대의 사용으로 품질 개선 효과가 있다고 알려져 있다. 이러한 여러 가지 목적으로 농가 소득 증대에 획기적인 기술로 이용될 것이며, 본 실험에서는 딸기의 과실성분에 미치는 광질의 영향을 검토해 보고자 한다.

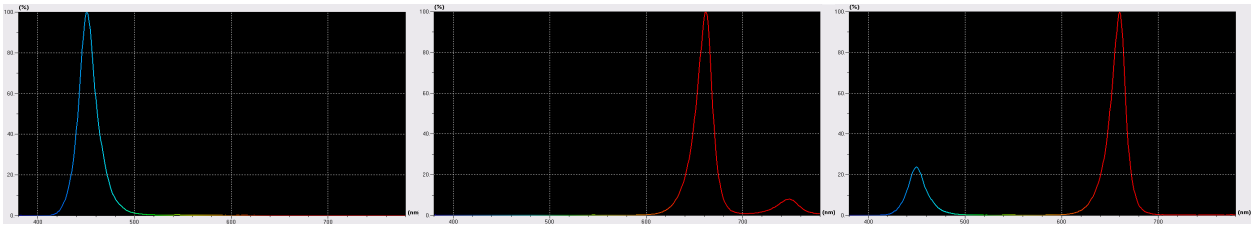
실험에 사용된 전조광원은 그림 1과 같고 광원의 파장 스펙트럼은 그림 2와 같다.

60cm LED 2개 연결　　전원 공급장치　　시험포장 설치 전경

그림 1. 실험에 사용된 전조광원



Far-Red(750nm)　　Red(660nm)　　Green(530nm)



Blue(450nm)　　Red/FR=10　　Red/Blue=5

그림 2. 인공광원의 파장 스펙트럼

파장별로 과실의 당도를 조사해 본 결과(그림 3), R/FR=10 광원이 11.2°Brix로 가장 높았으며, Green 광원이 9.7°Brix로 가장 낮았다. 일반적으로 과즙에 함유되고 있는 당의 비율(농도)를 당도라고 부른다. 당도의 표시방법은 가용성 고형물 함량, Brix값, 당조성에 의한 각 성분의 함량 등으로 표시하는 방법이 있다. 가용성고형물은 과즙 중에 녹아 있는 당, 산, 아미노산, 수용성 펙틴 등을 함유하여 측정하고 있다. 그러나 과즙 중에는 당이 대부분을 차지하고 있기 때

문에 가용성 고형물 함량으로 당도의 대체처리를 하고 있다. Brix값은 당용굴절계를 사용하여 자당의 중량 백분율에 상당하는 굴절률로부터 당도를 측정한다. Brix값은 측정이 간이하고 측정에 필요한 양도 1ml 이하의 적은 양으로 가능하기 때문에 당도의 대체치로서는 아주 편리하다. 그러나 산도 빛을 굴절하기 때문에 레몬 등 산 함량이 높은 과일, 토마토 가공품과 같이 식염을 첨가한 것, 시차 굴절계의 당성분이 많은 스위트콘 등에서는 당도에 오차가 크게 나타난다. 당조성을 정확하게 하게 분석하기 위해서는 고속액체크로마토그래피(HPLC)법에서 styrene, divinylbenzene 계 강산성 양이온교환수지를 충전한 칼럼을 사용하여 시차굴절계로 분석하는 것이 필요하다.

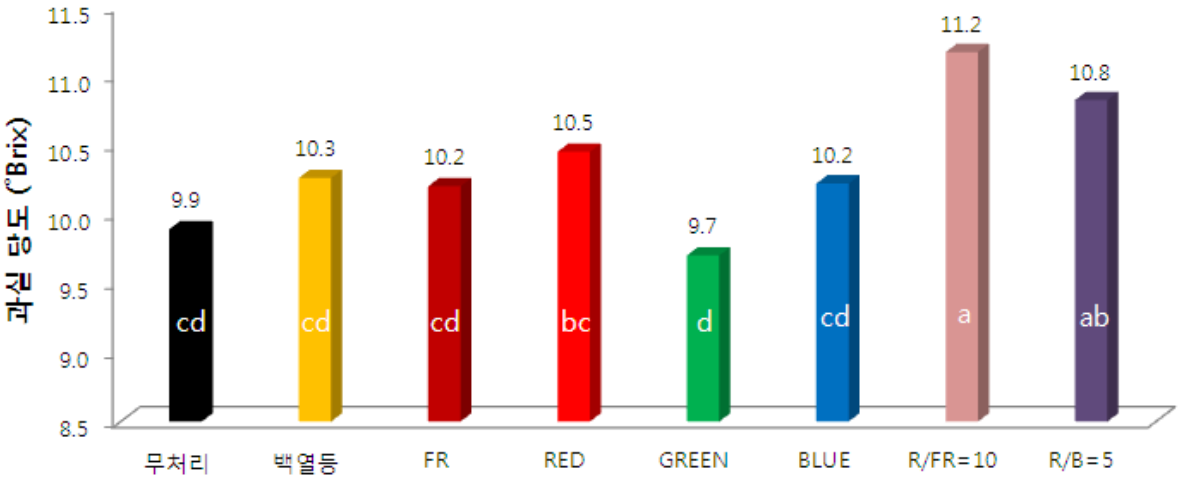


그림 3. 광원 파장별 과실 당도

광원 파장별로 안토시아닌과 비티민 C 함량을 2010년과 2011년에 걸쳐 조사한 결과(그림 4), 안토시아닌은 Blue와 R/FR=10 광원에서 가장 많았으며, 비타민 C 또한 R/FR=10 광원에서 가장 많았다.

안토시아닌은 적, 청, 자색을 나타내는 플라보노이드계의 수용성 색소로 안토시아닌이 다량 함유된 식품을 다량 섭취할 경우 항상화 및 항암효과, 함염증, 동맥경화, 심장질환, 망막퇴화 및 백내장 등의 발병률을 낮춘다고 보고되어 있다(박영은 등, 2009). 안토시아닌은 일반적으로 배당체로 존재하며, 가수분해하면 aglycone인 anthocyanidin과 당으로 분해되며, 2-phenyl-3,5-7-trihydroxyflavylium의 기본구조를 가지고 있고, anthocyanidin은 phenyl기의 OH의 위치에 따라 cyanidin, pelargonidin, delphinidin 등으로 구별되며, 딸기에는 pelargonidin이 안토시아닌의 주요 성분이다. Anthocyanidin 중에서도 cyanidin-3-glucoside(C3G)가 산화적 스트레스에 강하며, 항산화성이 있는 것으로 보고되고 있다.

안토시아닌은 투과광의 광질에 따라 색발현이 크게 달라지며 자외선이 안토시아닌의 발현을 촉진하는 경향이며, 그 외의 파장에서도 명자나무와 벚꽃에서는 청색이 효과가 있고, 녹색이 가장 낮다는 결과가 있다. 일반적으로 저온이 안토시아닌의 색발현을 촉진시키는 것으로 알려져 있으나 안토시아닌의 축적을 위해서는 우선 충분한 광합성의 조건이 요구되며, 이어서 호흡을 최소화 할 수 있는 야간의 저온이 필요하다(김종화, 1999). 따라서 본 실험에도 이와 유사한

결과를 나타내었으나, anthocyanidin에 대한 충분한 분석을 통해 기능적 가치에 대해서도 연구해 볼 필요성이 있다.

비타민 C(Ascorbic acid, AsA)는 사람에 있어서 필수 불가결한 영양소로 성인 1일 필요량은 50~100mg 이지만 인간 등의 영장류는 체내에서 ascorbic acid를 합성할 수 없기 때문에 주섭취 원인인 채소류 등을 통해 외부로부터 섭취해야 한다. 인간 체내에서 ascorbic acid 기능은 항암효과, 신장질환 예방, 비만, 당뇨 예방, 노화 예방의 효과가 있어 기능적 가치가 큰 성분이다(박양호 등, 2005). 보통 식물체 내의 ascorbic acid 수준은 광의존적으로 증대하는데, 이는 L-galactono-1,4-lactone dehydorgenase가 광의존적이며(Smirnoff, 2000), 또한 광합성 증대에 의해 탄수화물 합성이 증대되기 때문이다. 광질과 광량에 따라 ascorbic acid 성분이 증대한다는 연구결과들을 뒷받침하고 있다.

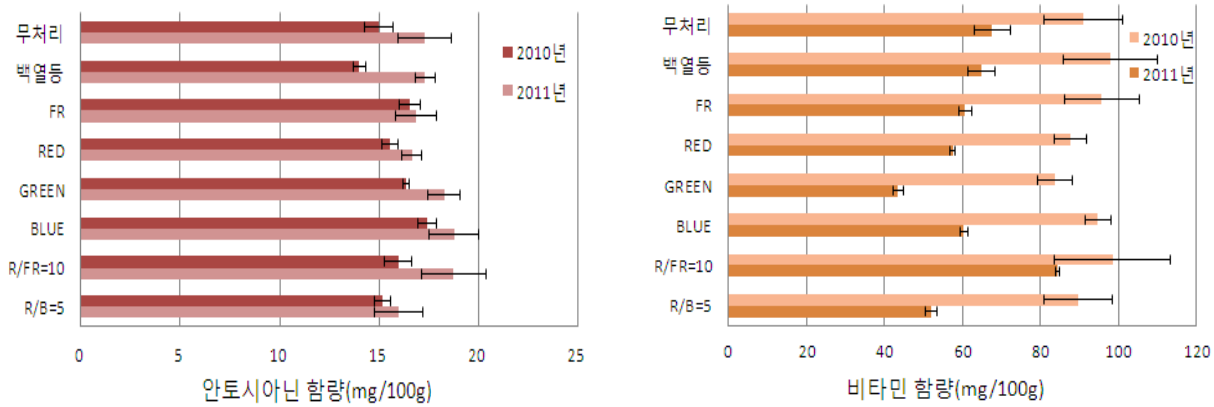


그림 4. 광원 파장별 안토시아닌과 비타민 C 함량
* 2010~2011년 2년간 재배 수확과실 분석 결과

좀 더 정밀한 당 함량을 조사하기 위해 UPLC를 이용하여 파장별 유리당 함량을 조사한 결과(표 1), 딸기 과실은 fructose와 glucose가 90% 정도를 차지하고, fructose와 glucose 함량이 높은 Far-Red 광원이 총 당함량 또한 가장 많았다.

표 1. 인공광원 파장별 유리당 함량 변화(mg/100g)

광원	Sucrose	Glucose	Fructose	총 당함량
무처리	90	5,239	8,457	13,785
백열등	49	4,131	6,086	10,267
Far-Red	99	5,646	9,408	15,154
Red	48	4,088	6,200	10,336
Green	14	4,408	6,958	11,380
Blue	42	4,534	6,970	11,546
R/FR=10	32	5,305	8,230	13,567
R/B=5	106	3,976	5,799	9,881

항산화물질의 가장 특징적인 역할은 oxidative free radical과 반응하는 것으로 이점을 이용하여 항산화능을 측정한다. DPPH는 안정한 free radical로 cysteine, glutathione과 같은 황 함유 아니노산과 ascorbic acid, tocopherol 등의 항산화 물질에 의해 환원되어 탈색되므로 항산화물질의 항산화능을 측정할 때 DPPH 라디칼 소거능 측정법이 많이 이용된다(Ramarathnam N 등, 1995).

광원 파장별 전자공여능을 조사한 결과(그림 5), FR, Green, Blue 광원이 낮은 것을 제외하고는 다른 광원에서는 무처리와 큰 차이를 나타내지 않았다.

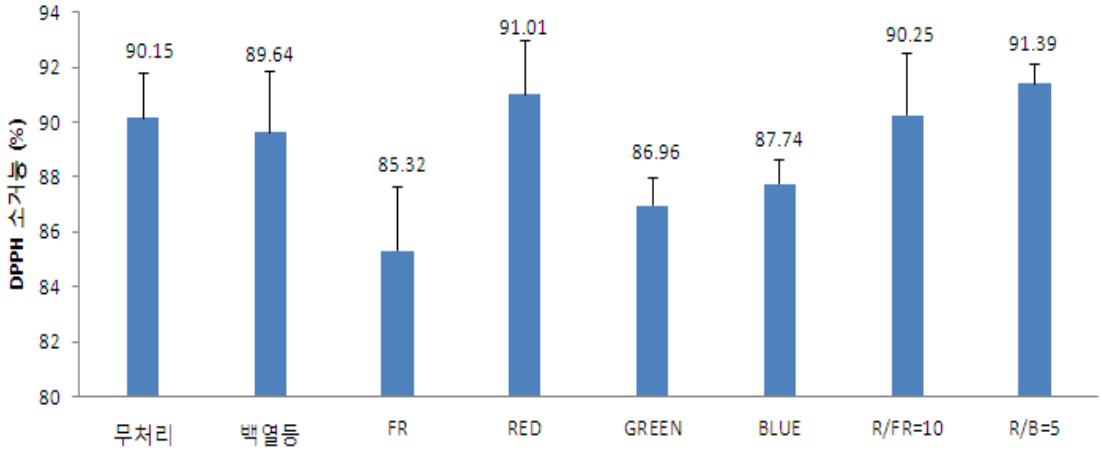


그림 5. 광원 파장별 전자공여능

폴리페놀은 우리 몸에 있는 활성산소(유해산소)를 해가 없는 물질로 바꿔주는 항(抗)산화물질 중 하나이다. 폴리페놀의 종류는 수천 가지가 넘는다. 이중 비교적 널리 알려진 것은 녹차에 든 카테킨, 포도주의 레스베라트롤, 사과.양파의 쿼세틴 등이다. 과일에 많은 플라보노이드와 콩에 많은 이소플라본도 폴리페놀의 일종이다.

폴리페놀은 활성산소에 노출되어 손상되는 DNA의 보호나 세포구성 단백질 및 효소를 보호하는 항산화 능력이 커서 다양한 질병에 대한 위험도를 낮춘다고 보고되고 있다. 또한 폴리페놀은 항암작용과 함께 심장질환을 막아주는 것으로 알려져 있다.

광원 파장별로 총 폴리페놀 함량을 조사한 결과(그림 6), 전자공여능의 결과와 유사하게 FR, Green, R/B=5, Blue 광원이 가장 낮았으며, 무처리보다 증가된 파장은 없었다.

이상의 결과 LED를 이용한 파장별로 전조재배시 적색과 근적색광(Red/Far-Red=10) 조합광원에서 딸기 과실 품질의 가장 중요한 요소인 당도는 백열등 대비 8% 증가하였고, 대표적인 항산화 물질인 비타민 C의 함량 또한 증가하였고, 과실 색소의 주성분인 안토시아닌은 청색(Blue) 광원에서 증가하였다.

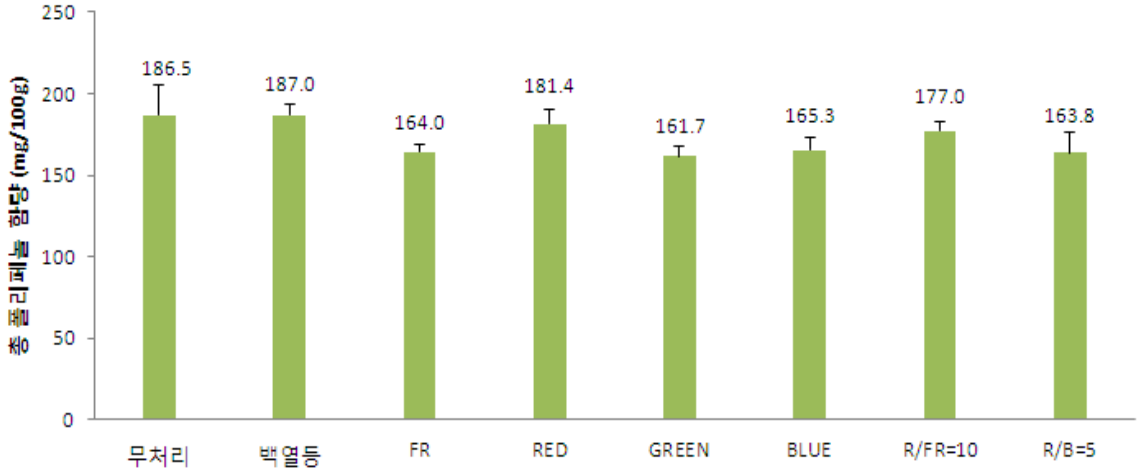


그림 6. 광원 파장별 총 폴리페놀 함량

3. 적요

가. 파장별로 과실의 당도는 R/FR=10 광원이 11.2°Brix로 가장 높았으며, Green 광원이 9.7°Brix로 가장 낮았다.

나. 안토시아닌과 비티민 C 함량은 Blue와 R/FR=10 광원에서 가장 많았으며, 비타민 C 또한 R/FR=10 광원에서 가장 많았다.

다. 딸기 과실의 유리당 함량은 fructose와 glucose가 90% 정도를 차지하고, fructose와 glucose 함량이 높은 Far-Red 광원이 총 당함량 또한 가장 많았다.

라. 광원 파장별 전자공여능은 FR, Green, Blue 광원이 낮은 것을 제외하고는 다른 광원에서는 무처리와 큰 차이를 나타내지 않았고 폴리페놀 함량 또한 이와 유사하였다.

제4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제1절 목표대비 달성도

연구개발 목표	연구개발내용	달성도(%)
□ 제1세부과제 : LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발		
○ LED를 이용한 딸기 우량묘 생산기술	- 딸기 LED 모주 런너 발생 및 화아분화 유도 촉진	100
□제2세부과제 : LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선		
○ 딸기 LED 전조재배 기술	- 딸기 LED 전조재배 기술 확립 - 딸기 비타민C, 안토시아닌 함량 증대 : R/FR=10, Blue	100
□제3세부과제 : 광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립		
○ LED 이용 딸기 농가 실용화 가능성 검토	- LED 이용 딸기 재배기술 농가 검토 - 딸기 LED를 이용한 광 환경 최적화 모델 제시	100

제2절 정량적 성과

세부(협동)과제명	과제 책임자	성과물 유형	성과물명	성과물 주담당자	적용 년월	승인 여부
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	영농활용 채택	딸기 육묘시 런너 발생 및 화아분화 유도 LED 파장 선발	이지은	2010년 2월	승인
LED를 이용한 딸기 전재배시 광 환경 개선	이지은	영농활용 기관제출	LED 전조재배용 LED 파장별 광원 효과	이지은	2009년 12월	승인
LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선	이지은	학술발표 (국내)	LED 광원이 딸기의 생장, 광합성 및 광형태형성에 미치는 영향	이지은	2009년 10월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	홍보	LED로 식물공장 시대를 연다(대구 MBC)	최성용	2009년 4월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	홍보	경상북도농업기술원, 농업에도 LED 광원으로 에너지 절감(코리아 뉴스, 한국농어민신문)	최성용	2009년 1월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	홍보	빛으로 재배(대구MBC)	최성용	2009년 9월	승인

세부(협동)과제명	과 제 책임자	성과물 유 형	성 과 물 명	성과물 주담당자	적용 년월	승인 여부
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	홍보	LED 산업 허브 대구·경북' 뜬다 (etnews)	최성용	2009년 8월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	최성용	국내외 기술협력	농업용 LED 기술개발 교류협약 체결(카스트엔지니어링)	최성용	2009년 9월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	서동환	홍보	LED 이용한 딸기, 참외 등 신기술 개발 본격 착수(코리아뉴스)	서동환	2010년 3월	승인
LED를 이용한 딸기 전조재배시 광 환경 개선	이지은	홍보	반도체 광원 LED의 농업적 이용 (과학영농)	이지은	2010년 9월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	영농활용 채택	백열등 대체용 적청색 LED를 이용한 딸기 전조재배 기술	이지은	2012년 01월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	영농활용 기관제출	LED 광원별 전조재배시 딸기 과실 품질 및 성분 변화	이지은	2011년 11월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	학술발표 (국내)	딸기 전조재배시 광질별 과실 성분 변화	이지은	2011년 11월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	학술발표 (국내)	딸기 전조재배시 광 환경개선을 위한 LED 조명의 최적화	이지은	2011년 11월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	학술발표 (국내)	딸기 전조재배시 광질별 생육에 미치는 영향	이지은	2011년 11월	승인
광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합 기술 체계 확립	이지은	학술발표 (국내)	딸기 전조재배시 인공광원별 생장 및 과실 수량의 변화	이지은	2011년 11월	승인
LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산 기술 개발	서동환	학술발표 (국내)	인공광원을 이용한 딸기 모주 조명시 생육에 미치는 영향	이지은	2011년 11월	승인

제5장 연구개발결과의 활용계획

작물의 생장, 형태형성 및 색소형성 등에 대하여 광은 에너지원으로서 또는 조절인자로서 중요한 역할을 하고 있다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 광이 광화학반응을 중개하여 여러 가지 작용을 나타내는 경우 어떤 것이든지 광수용체에 흡수된 후 반응을 일으킨다.

그러나 온실 내로 투과되는 태양복사 에너지는 기상조건에 따라 변동이 클 뿐만 아니라 장파 복사가 많이 포함되어 있으므로 작물을 완전하게 제어하기가 쉽지 않다. 따라서 불량 환경에 대한 극복, 계획적인 생산, 정확한 재배관리, 생산물의 품질 등을 고려할 때 작물의 광질 제어는 중요한 작용인자이다.

작물의 광합성과 광형태형성 반응 등을 촉진하고자 하는 여러 종류의 인공광원 중 LED는 거의 모든 산업을 대상으로 하는 차세대 조명 산업으로 그 중 농업적으로도 유용한 가치가 있다. LED는 반도체 소자로서 매우 좁은 파장영역을 가지고 있어 특정한 색의 발광을 방출하는 특성이 있으며, 열선을 방사하지 않고, 전력소모량이 적으며, 수명이 반영구적인 장점을 가지고 있다.

LED의 농업적 활용 가능성은 기존의 전조용, 보광용, 조직배양실 및 식물공장의 대체 광원으로 교체가 가능하고, 특정 파장을 이용하여 기능성 물질 함량의 증대로 고부가가치 농산물을 생산 가능하며, 병해충 예방을 통해 안전 농산물 생산이 가능한 기술을 개발할 수 있다.

그러나 농업적으로 LED가 실용화되기 위해서는 선행되어야 할 문제들이 몇 가지 있다. 아직은 고가의 LED로 초기 투자비용이 부담이 되고, 노지, 시설하우스 등 열악한 환경 속에서의 안전성 및 안정성의 검토 과정이 필요하며, 근접 조명을 위한 방열 기술 또한 한층 더 업그레이드되어야 한다.

앞으로 LED 광을 이용하여 농업분야 전기에너지 절감, 시설채소와 과수 등 원예작물의 생산량 증대와 품질향상 기술, 식물 조직배양용 인공광 시스템, 식물생산 자동화 공장, 빌딩 농업 및 지하식물생산 공장 등의 미래농업을 위한 LED 적용 기술개발 연구 등을 계속 추진하여 농업현장에 적용함으로서 개방화 시대에 우리 농업의 경쟁력을 획기적으로 높여 줄 것으로 기대하고 있다.

가. 백열등 대체용 LED를 이용한 딸기 전조재배 기술

- 딸기 촉성재배시 휴면이 얕은 품종을 이용하여 전조재배가 감소하는 추세에 있으나, 현재 전조재배의 목적은 엽병이 서고, 엽면적도 증가하는 경향이 있어 휴면 억제가 아니라 잎의 수광 체제를 개선하는 목적으로 시행
- 전조를 실시하는 시기는 정화방이 개화하는 시점인 11월 중하순경이 적합하며 전조를 중단하는 시기는 기온이 상승하는 3월 이전에 완료
- 전조방법은 여러 가지 방법 중 광중단법(22:00~01:00, 3시간)을 이용하였으나, 딸기 품종에 따라 반응도의 차이가 있으므로 이에 따른 전조시간과 전조량을 조절해야 함
- 전조광원으로는 기존의 백열등을 대체하기 위해 LED(R660nm/B450nm=5, E26 소켓용) 광원으로 소비전력 16W, 지향각 120°정도이며 설치 및 보관 용이
- 설치 방법은 길이 100m 하우스의 경우 지표면에서 2m 높이, 3.75m 간격으로 W형으로 배

치하며, 전체 광량이 식물체 선단부 2~4μmol·m^{-2}·s^{-1} 정도 균일하게 이루어지도록 해야 함

나. LED 광원별 전조재배시 딸기 과실 품질 및 성분 변화

- 딸기 과실 품질의 중요한 요소인 당도는 적색과 근적색광(R660nm/FR750nm=10) 조합광원에서 무처리 대비 13%, 백열등 대비 8% 증가, 비타민C 또한 증가하는 경향
- 딸기 과실 색소의 주성분인 안토시아닌은 청색(B450nm) 광원에서 증가하는 경향
- 광량을 식물체 선단부 100~120μmol·m^{-2}·s^{-1} 정도 균일하게 설치하고, 기존의 전조방법에 준하여 실시

다. 딸기 육묘시 런너 발생 및 화아분화 유도 LED 파장 선발

- 딸기 공정육묘 생산에 적합한 LED 광원 중 모주의 런너 발생량을 많게 하기 위해 Red/Blue와 Red/Far-Red 조합광원을 이용하고, 자묘의 화아분화 유도율을 높이기 위해서는 Red/Far-Red 조합광원을 이용하는 것이 유리함

제6장 참고문헌

김종화. 1999. 화색의 본질. 도서출판 진솔. pp. 318-329.

김태한, 장익주, 이경진. 1999. 딸기 전조재배 온실의 인공광 설치 실태 및 조도 분포 조사분석. 한국농업기계학회지 24:19-24.

문원, 이승구, 2000, 재배식물생리학, 한국방송통신대학교출판부. pp.189-194.

박양호, 이주영, 장병춘, 이기상. 2005. 식물의 Ascorbic Acid의 기능과 대사경로. 한국작물학회 50:457-461.

박영은, 조지홍, 조현묵, 이정윤, 서효원, 정명근. 2009. Anthocyanin 함량이 높은 감자 신품종 “자영”. 한국육종학회 41:51-55.

윤혜숙, 전하준, 김태일. 2010. 딸기야놀자. 도서출판 일일사. pp. 73-75.

이석건 역. 1998. 농업 환경 조절공학. 도서출판 좋은 사람들. pp. 135-146.

장우진, 홍창희, 황명근, 한수빈, 정봉만, 이주성, 2006. 고출력 LED 및 고체광원 조명기술. 아진 도서출판. pp. 21-28.

전하준. 2010. 고품질 딸기 재배관리 매뉴얼. 경북딸기산학연협력단. pp. 45.

충북대학교 첨단원예기술개발연구센터. 2003. 원예식물의 생장 및 광형태형성에 미치는 LED의 효과. 농림부. pp. 22-24.

최영환. 2003. 적색, 청색 및 원적색 LEDs를 이용한 광중단 처리가 들깨의 생장, 개화 및 광합성에 미치는 영향. 한국원예학회 44:442-446.

최영환, 안종길, 손병구, 강점순, 최인수, 김용철, 이영근, 김근기, 김용균, 손길우. 2003. 적색과 청색의 LEDs광 및 광도가 들깨의 생장, 광합성 및 광형태 형성에 미치는 영향. 한국원예학회 44:281-286.

한국식품양양학회. 2000. 식품영양실험핸드북. 도서출판 효일. pp.279-280

Balegh, S.E. and O. Biddulph. 1970. The photosynthetic action spectrum of the bean plant. Plant Physiol. 46:1-5.

Fuleki, T. and F.J. Francis. 1968. Quantitative Methods for athocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. J. Food Sci. 33:72-77.

Hua-bin, L. and Feng, C. 2001. Simultaneous determination of nine water-soluble vitamins in pharmaceutial preparations by high-performance liquid chromatography with diode array detection. J. Sep. Sci. 24:271-274.

Hwang, B.H., J.H. Cho, S.S. Ham, and H.Y. Kang. 2000. Chemical analysis of *Pinus* Leaves. J. Kor. Soc. FoodSci. Nutr. 26:6-9.

Ramarathnam N, Osawa T, Ochi H, Kawakishi S. 1995. The contribution of plant food antioxidants to human health. Trends Food Sci Tech. 6(3):75-82.

Sachs, T. 1972. The induction of fiber differentiation in peas. Ann. Bot. 36:189-197.

Smirnoff, N. 2000. Ascorbate biosynthesis and function in photoprotection. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Biological Sciences 355:1455-1464.

Yoshita, S., A.F. Douglas, and H.C. James. 1971. Determination of chlorophyll in plant

tissue. pp. 36-37.

<참고 1> 연차평가 지적사항 및 조치결과

지 적 사 항	수 정 보 완 사 항
○ 농가실용화 관점에서 접근 필요('10) ○ 과제 수행시기를 3월경으로 활용('10)	○ LED를 이용한 기술의 실용화를 위해 농가 실증 2개소 검토 ○ 촉성재배에 적합한 모주 정식 시기를 3월경으로 실시
○ 연구결과를 토대로 종합모델을 만들 필요('11)	○ 백열등을 대체할 딸기 LED 전조재배 기술 영농활용

LED를 이용한 딸기 재배 기술 체계 확립

□ 연구 배경

○ 백열등을 대체할 수 있는 차세대 광원인 LED(Light Emitting Diode)의 이용 개발 필요성 요구

- 딸기 전조재배시 이용되고 있는 백열등은 전기소모량이 많고 수명이 짧아 전구 교체의 번거로움이 있음
- 전기 소모량이 적은 LED를 이용한 딸기 전조재배 기술 개발 필요

□ 주요 연구성과

○ 딸기 재배에 적합한 LED 파장 선발

- 모주 육묘시 런너발생 촉진 파장 : Red/Blue=5
- 자묘 화아분화 유도 촉진 파장 : Red/Far-Red=10
- 전조재배에 적합한 파장 : Red/Blue=5

○ 딸기 생육 단계별 LED 이용 기술 체계 확립

- 모주 런너 발생 및 화아분화 촉진 파장 선발(영농활용)
- 백열등 대체용 LED 전조재배 기술 개발(영농활용)
- 파장별 전조재시 딸기 과실 품질 및 성분 함량 변화(영농활용)

모주 런너 발생 촉진	LED 전조재배 전경	LED R/B=5 상세 모습

□ 파급효과

○ 전기 사용량 절감 : 백열등(60W) 대비 78% 절감(37천원/10a)

○ 기존 소켓(E26)을 그대로 이용하여 설치 편리 및 보관 용이

주요 결과 요약서

□ 과제명 : 딸기 안정생산을 위한 LED 이용 기술 개발

▶ 연구목적 :

○ LED(Light-Emitting Diodes)는 식물에 필요한 광 파장을 효율적으로 조사(照射)할 수 있어, 환경이나 기후의 변화에 좌우되지 않고 식물 재배 가능하며, 백열등과 형광등의 1/10 전기사용량, 5~10배의 수명 등으로 에너지 절감에 큰 효과가 있어 농가의 전조재배나 식물체 육성 등을 대체할 수요가 많음

○ 딸기 촉성재배를 위한 효율적인 육묘체계를 구축하고자 LED 인공광원을 이용한 모주 조명시 런너 발생과 자묘의 화아분화 촉진에 미치는 영향을 알아보고, LED를 이용하여 딸기 전조재배시 식물의 생장, 과실 생산량 및 품질 등에 미치는 영향을 조사하여 현재 사용 중인 백열등의 대체 가능성 검토

▶ 주요연구내용 :

○ 1세부과제명 : LED를 이용한 딸기 공정육묘 생산기술개발

- 육묘시 LED 파장별 모주의 런너 발생수는 6시간 조사시 무처리 2.25개 보다 R/FR=4, R/FR=9, R/B=9 조합광원이 1.5배 많았고, 24시간 조사에서는 White, R/B=4 광원이 3.75개로 가장 많았으나, LED 광원 모든 처리구에서 3개 이상 발생하였다. 모주의 런너 발생에는 단색광원보다 조합광원이 효과적이었다.
- 조명 후 15, 30일째 생장변화를 살펴본 결과, 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 모두 유의성은 없었고, 런너 발생량에서 초기 2주째에는 R/B=5 광원이 발생량이 많았으나, 3주 이후에는 유의성이 없었다.
- 런너 발생 후 모주를 정식하여 자묘 발생량을 조사한 결과, 설향에서는 처리 간에 큰 차이가 없었으나 레드펄은 무처리 보다 전조처리구가 5개 정도 더 많이 획득하였다.
- 딸기 자묘의 정식기를 결정하는 화아분화 단계는 화아분화기(Stage Ⅲ)이며, LED 파장은 Red, Yellow, Green, R/FR=4, R/FR=9 광원이 무처리 보다 1주일 정도 빨리 분화하였다.
- R/FR=10 처리 일수별 화아분화 단계를 검경한 결과, 10일 이상 처리에서는 미분화기(Ⅰ) 단계는 발생하지 않았고, 관부의 단백질 함량에서도 처리 일수가 높을수록 단백질 함량이 낮았으며, 유리당 함량에서는 엽과 관부에서 처리일수가 높을수록 유리당 함량 역시 증가하였다.
- 8월 30일 정식 후 화방 출현 및 개화율을 조사한 결과 20일 처리시 화방출현율 79%와 개화율 69%로 가장 높았다.

○ 2세부과제명 : LED를 이용한 딸기 전조재배시 광환경 개선

- 전조재배시 LED 파장별 초장은 Green > Blue > Red/Far-Red 조합광원 순이며, 엽수는 Green, Red/Blue 조합광원이 LED 광원 중에서 2~3매 더 많이 발생하였다. 엽장과 엽폭 또한 Green, Blue, Red/Blue 조합광원이 가장 넓었으나, Green 광원은 잎이 말리는 증상이 많이 발생하였다.
- 런너 발생 양상은 삼파장 램프 광원이 런너가 2.4개로 가장 많았으며, LED 광원 중에서는 Red/Blue=4 광원이 0.8개로 가장 많았다.
- 전조 후 15일 간격으로 식물체 생육 특성을 조사한 결과, 45일까지는 Red/Blue=5 광원이 다른 처리구에 비해 초장은 길어지고, 엽수는 많은 편이었으나 60일 경에는 처리 간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 엽위 별로 엽장과 엽폭은 처리 간에 통계적인 유의성은 없었다.

○ 3세부과제명 : 광 환경 개선을 위한 딸기 재배 종합기술 체계 확립

- 농가 실증 검토시 무처리 보다는 전조처리구에서 초장이 길어지는 경향이었고 삼파장 형광등이 21.71cm로 가장 길었으나 관부직경은 백열등과 LED PAR 처리구에서 9.60mm와 9.79mm로 가장 두꺼웠으며, 초기에 발생한 런너 수 또한 무처리보다 2배 가량 많았다.
- 인공광원별로 전조재배시 설향 딸기의 초장과 엽병장은 전조처리 후부터 1~2cm 정도 서서히 생장 후 60일경 급격하게 생장하였으며, 무처리보다 전조처리구가 생장량이 많았으며, 그 중에서 백열등이 가장 많이 생장하였다.
- LED PAR 타입을 설치했을 때는 조명의 중심이 40lux 이상이며 좁은 지향각과 낮은 설치 위치로 인해 좁은 지역에 집광되는 현상이 나타나 조명과 조명사이의 기준조도 이하의 음영지역이 발생하였다. 따라서 조명의 설치 높이를 2m로 높이고 설치 간격도 3.75m로 조절하였고, 배치형태는 W 타입으로 변경하여 전체 식물에 12lux 이상이 조사될 수 있도록 하여 기준조도와 균제도를 만족하도록 최적화 하였다.
- 파장별로 과실의 당도는 R/FR=10 광원이 11.2°Brix로 가장 높았으며, Green 광원이 9.7°Brix로 가장 낮았고, 안토시아닌은 Blue와 R/FR=10 광원에서 가장 많았으며, 비타민 C 또한 R/FR=10 광원에서 가장 많았다.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「농업현장실용화기술개발 지역특화작목기술개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용·발표할 때는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「농업현장실용화기술개발 지역특화작목기술개발사업」의 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.