

# 동계시설내 보광이 수경재배 착색단고추(*Capsicum annuum* L.)의 생육에 미치는 영향

김용범<sup>1</sup> · 배종향<sup>2</sup> · 박미희<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원, <sup>2</sup>원광대학교 원예·에완동식물학부

## Effects of Supplemental Lighting on Growth and Yield of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) in Hydroponic Culture under Low Levels of Natural Light in Winter

Yong Bum Kim<sup>1</sup>, Jong Hyang Bae<sup>2</sup>, and Me Hea Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Eumseong 369-873, Korea

<sup>2</sup>Division of Horticulture and Pet Animal-Plant Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

**Abstract.** This study was conducted to examine the effect of supplemental lighting on the growth and yield of hydroponically grown sweet pepper (*Capsicum annuum* L. cv. spirit) under low levels of natural light in winter. The plants were treated with natural light only (control), 3-hour supplemental lighting before sunrise, after sunrise and after sunset with high pressure sodium (HPS, 400W). As the result of these three treatments, the supplemental lighting promoted photosynthesis in the low light intensity condition and particularly photosynthesis was more active right after sun rise in the morning, 1.5-3.0  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  comparing to those of supplemental lighting after sunset, 0.5-1.5  $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Transpiration rate and stomatal conductance sharply increased with supplemental lighting after sunrise then they decreased again after turning the lights off. Stomatal size was observed 32.2  $\mu\text{m}^2$  after supplemental lighting, whereas the size of the natural light was almost closed at 7.7  $\mu\text{m}^2$ . The average plant height of sweet papper cv. spirit was 185 cm before sunrise, 188 cm after sunrise and 208 cm after sunset with supplemental lighting for 3hours while the control was 171 cm. With supplemental lighting a better number of fruit set per plant was measured 4.3 before and after sunrise, 3.7 after sunset but 2.6 in the control. Interestingly, there were no significant differences in the sugar content (°Brix) degree between treatment of supplemental lighting, whereas slight differences between seasons were seen. The marketable fruit yield of sweet pepper (cv. spirit) was 116.0 kg/ha with supplemental lighting, whereas the control (natural light only) was 75.8 kg/ha. Despite of spending electricity and depreciation cost, the economic analysis showed net income with supplemental lighting after sunrise was 51% higher than control treatment in cv. spirit.

**Additional key words:** low light intensity, paprika, photosynthesis

## 서 언

착색단고추(*Capsicum annuum* L.)는 비타민 C가 풍부하고 비타민 A의 전구물질인 베타카로틴과 철분 함량이 많아 영양학적인 가치가 높은 채소이다. 최근 매운 맛이 적고, 달콤하며, 신선한 느낌이 들어 국내뿐만 아니라 독일, 미국, 일본, 호주, 뉴질랜드 등 선진국에서 지속적으로 소비가 늘

고 있다. 착색단고추는 8월 하순경 정식하여 이듬해 7월까지 재배가 이루어지고 있으나, 겨울철에는 저일조, 환기량의 부족에 의한 CO<sub>2</sub> 부족 등 불량환경으로 인하여 상대적으로 생산성이 낮다. 특히 착색단고추의 주산지로 알려진 우리나라 서남부지방의 겨울철(11-2월) 평균 일조시간은 4.0시간 미만으로, 저일조 환경이 착색단고추의 생산량 및 품질향상의 가장 큰 제한요소로 작용하고 있다. 착색단고추는 광포화점이 30-40klx로 알려져 있으며, 극단적인 일조부족 환경을 제외하고는 조도의 영향이 적은 생리적 특성을 갖고 있으나 착색단고추의 재배가 이루어지고 있는 동안에 흐린 날

\*Corresponding author: poemmich@korea.kr

※ Received 19 August 2010; Accepted 1 June 2011.

이 많고 저조도, 저일조 환경이 계속되면 수확기간이 길어지고 착과율이 떨어지며 불량과율 발생이 높아 생산량과 품질이 크게 떨어지게 된다(Kim et al., 2005a; Wilson et al., 1992). 경영적인 측면에서도 11월에서 3월은 단경기로 착색 단고추의 가격이 연중 가장 높고, 난방비용도 가장 많이 소요되는 시기인 반면 저온, 저일조 등 재배환경의 영향으로 수확기간이 길어지고, 생산량도 떨어져 경영에 불리한 요인이 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여서는 보광 및 CO<sub>2</sub>공급 등 재배환경 개선에 대한 적극적인 노력과 관련 기술의 연구가 필요하다.

식물재배에 있어서 최적 광환경이란 식물의 종류, 성장단계, 기타 환경조건에 따라 다르며 시설내의 CO<sub>2</sub>와 조도수준의 증가는 식물의 형태적 변화뿐만 아니라 광합성에 영향을 미친다(Kim et al., 2005b; Park and Lee, 1999). 특히, 광조건은 온실 작물생산에 결정적인 제한 요인으로 시설 내 광의 강도를 높이기 위하여 자연광의 이용을 증대시키는 방법과 인공광원을 이용한 보광이 행해지고 있다. 예를 들어 보광은 어린 채소작물 묘 생산에 더 효과적이며, 샐러리와 토마토, 브로콜리와 상추의 육묘에서 신초와 뿌리의 건물중을 증가시킨다(Demers et al., 1991; Fierro et al., 1994; Masson et al., 1991). 또한 24시간 연속 보광처리에 따른 생육은 보광개시 1주일부터는 높은 신초 성장과 생체중 증가 경향을 보이다가 7-8주 이후부터는 14시간 보광보다 떨어지는 것으로 나타났으며, 엽 내부의 무기성분 변화는 관행 무처리와 차이가 없었으나 전분과 당함량은 증가되는 경향이 보고되었다(Demers and Gosselin, 1998). 착색단고추의 경우, 보광의 효과는 14, 16, 20시간 광주기 연장 시에 무처리에 비하여 생육과 생산량이 증가 하였으나 24시간 연속 보광처리는 감소된다(Both et al., 2002; Bruggink et al., 1992). 즉 효율적인 광처리를 통한 시설 내 작물생산성을 높이기 위해서는 시시각각으로 변하는 여러 가지 환경요인에 대한 식물체의 성장반응에 대한 정보의 종합적인 분석이 요구된다.

인공광원을 이용한 보광방법은 겨울철 시설재배에 있어서 가장 효과적이기는 하지만 전기비용이 과다하게 소요되므로 육묘공장이나 식물공장 등에 주로 이용되어 왔다. 최근에는 유럽북부지방이나 캐나다에서 상추, 샐러리 등 엽채류와, 오이, 토마토, 착색단고추 등 과채류 및 절화류 생산시설에서 상용화되고 있다(Dorais et al., 2002). 캐나다의 알버타의 경우, 일반적으로 보광이 필요한 시기인 온실 채소작물의 육묘가 시작되는 11월에서 12월에 보광재배를 통해서 토마토와 착색단고추 묘의 중량을 저일조 기간에 자연광보다 증가시킬 수 있다고 보고했다(Demers et al., 1991; Fierro et al., 1994; Kim et al., 2005b). 특히 북위 35도 이상

의 지역에서는 늦가을부터 이른봄에 걸쳐 광부족으로 인해 작물 생산성이 현저히 감소한다. 따라서 북유럽과 북미 및 캐나다 등지에서는 일조 부족 시 작물의 광합성 및 성장을 촉진시키기 위하여 인공광을 사용하고 있으며, 네덜란드에서는 토마토의 경우 14-17시간의 광주기로 보광프로그램을 실시하여 수량을 높이고 있다. 이들 지역의 경우 겨울철 일조량이 우리나라보다 현저히 낮은 불리한 환경에서도 착색 단고추나 오이, 토마토 재배시 인공광과 난방과정에서 생산되는 CO<sub>2</sub>를 이용한 최적 환경조성으로 10a당 24톤 이상의 상품을 생산하고 있으나(Dorais et al., 2002), 우리나라는 이들 국가보다 더 좋은 기상여건에도 불구하고 착색단고추의 경우 단위면적당 생산량은 10a당 15톤 내외로 유럽의 60% 수준에 머물고 있다. 이상의 많은 문제들을 근본적으로 해결하기 위한 하나의 방법은 시설 내 환경요인의 변화에 따른 작물의 생육 및 수량의 상호관계를 밝히고, 최적의 환경조건을 제공하여 착색단고추의 성장 및 생산효율을 극대화시키는 것이다.

따라서 본 연구는 착색단고추의 겨울철 저일조 기간 동안 광합성 효율을 극대화 할 수 있는 적정 보광처리와 착색단고추의 성장반응을 조사하여 효율적인 생산성 증진의 모델을 제시하고, 경제성을 분석하여 생산성과 품질향상을 위한 기초자료를 얻고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 재배개요

본 연구는 농촌진흥청 작물과학원 목포시험장의 벤로형 유리온실에서 착색단고추 'Sprite'(Enza Zaden, The Netherlands)를 공시하여 2년간 실시하였다. 보광효과와 관련이 밀접한 광량, CO<sub>2</sub> 농도, 온도 등 환경조건의 차이에 따른 식물의 광합성 및 호흡율 측정은 재배온실과 실험실의 식물생육상(Conviron E-15, Conviron Co. Ltd., Canada)에서 가스교환 측정시스템(ADC-2250 and GHU, ADC Co. Ltd., England)과 광합성 측정기(LCA-4, ADC Co. Ltd., England)를 사용하여 조사하였다. 양액 처방은 네덜란드 PTG의 착색단고추 암면재배용 처방액(N 12.75, P 3.75, K 6.0, Ca 7.5, Mg 2.5mg·L<sup>-1</sup>)을 순환 점적된 방식으로 공급하였다. 배양액의 관리는 정식직후 생육초기(9월 중순-11월 중순)에는 공급 양액의 전기전도도(EC)를 1.8-2.0dS·m<sup>-1</sup>, pH 6.0 내외로 설정하여 관리하였고, 급액시 펄라이트 120mL, 암면 60mL을 기준으로 1회당 공급량은 많게, 공급회수는 1일 3회로 줄여 뿌리의 발육을 돕도록 하였다. 겨울철(11월 하순-2월 하순) 공급 양액 EC 관리는 3.0-3.5dS·m<sup>-1</sup>로 하였으며, 봄철(3월

상순-5월 하순)은 EC를 2.0-3.0dS·m<sup>-1</sup> 내외로 관리하였다. 온도관리는 주간 23-25°C, 야간 18-20°C로 하였다. CO<sub>2</sub> 공급관리는 흐린 날과 맑은 날의 겨울철 시설 내 CO<sub>2</sub>농도를 실시간 측정된 결과(자료 미 제시) 맑은 날은 흐린 날에 비해 광합성에 의한 CO<sub>2</sub>소모량이 많아서 농도가 낮게 나타났다. 착색단고추의 적정 CO<sub>2</sub>농도가 500-800μmol·mol<sup>-1</sup> 점을 감안하여 본 실험에서는 흐린 날은 500μmol·mol<sup>-1</sup> 맑은 날은 800μmol·mol<sup>-1</sup> 내외로 CO<sub>2</sub>를 공급하였다.

### 보광처리

보광처리를 위하여 HPS 램프(High pressure sodium lamp, 400 ± 10W)는 9.6 × 16.0m 크기의 벨로형 온실 내 지상 3.0m 위치에 4.0 × 2.5m 간격으로 베드 2열의 중앙에 1열로 3개씩 4개 구역으로 구분하여 램프를 설치하였고, 100% 알루미늄 차광스크린을 수직 롤 방식으로 설치하여 구역간 광 간섭을 차단하였다. 보광조건하에서 아침 08:30-09:30경 식물체 상엽(나트륨 등으로부터 2.0-2.5m)의 광량(250μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 내외)을 측정하여 처리에 따른 광량의 증가량을 검정하였다.

보광시간대 조절은 24시간 타이머를 이용하여 일출 전 3시간 보광은 05:00부터 08:00까지 보광처리하였고, 일출 후 3시간은 08:00시부터 11:00까지, 일몰 후 3시간은 17:00부터 20:00까지 보광을 실시하였다. 보광처리 기간은 11월 중순에서 익년 3월 하순까지 실시하였으며, 무처리(자연일장)는 방을 달리하여 식재한 후 처리간 광합성속도와 생육특성 및 과실품질 특성을 조사하였다.

### 광합성반응 측정 및 분석

벨로형 유리온실에서 생육중인 착색단고추의 보광처리 효과를 분석하기 위하여 일출 전과 일출 후, 광합성은 흐린 날과 맑은 날, 인공광의 경우 광량의 차이 별로 조사하였다. 이때 나트륨 등으로부터 2.0-2.5m 거리에서의 식물체 상엽의 광합성을 조사하였다

광합성율, 증산률, 기공전도도는 휴대용 광합성 측정기(LCA-4, ADC BioScientific Ltd., UK)와 PLC 4-002(Broad type leaf chamber : 6.25cm<sup>2</sup>)와 PLC 4-004(Narrow type leaf chamber : 11.35cm<sup>2</sup>)를 사용하여 광합성량을 측정하였다. 측정조건은 재배온실에서는 착색단고추 식물체 상단에서 엽령이 같은 5번째 완전엽을 선택하여 기상조건에 따른 일중 광합성량 및 호흡량의 변화를 10분 간격으로 조사하여 시간대별 기상환경에 따른 광합성 패턴을 조사하였다. 보광 유무, 보광방법에 따른 광합성량은 조사지점을 이동하면서 실시하였고, 고정시는 LCA-4의 자동모드를 사용하여 10분 간격으로 데이터를 자동저장 시킨 후 사용하였다.

광합성유효광량, 기공전도도 등은 광합성측정계의 엽 챔버에 부착된 광 센서(ADC LCA-4)와 기계내부의 CO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 감지기를 이용하여 조사하였다. 광합성 속도조사를 위한 광도조절은 자동 휴대용 광원을 이용하여 PPF(photosynthetic photon flux)를 광도는 PAR(photosynthetic active radiation)을 기준으로 100μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 단위로 1,500μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>까지 조사하였다.

### 기공의 개도

기공특성은 보광처리와 자연일장간 기공특성을 관찰하기 위하여 07:00, 08:20, 09:30, 11:00 등 시간대별로 관찰하였다. 기공 열림의 면적 및 길이 측정은 Weyers and Travis(1981)의 방법을 약간 변형한 것으로 시료는 엽 표피의 탈수를 방지하기 위해 Ø10 × 12cm 배양병에 증류수를 채우고, 착색 단고추 엽은 상위엽으로부터 5번째의 완전한 엽을 선택하여 자른 즉시 거꾸로 넣은 후 잎자루가 마르지 않게 병뚜껑을 닫은 후 실내로 이동하여 즉시 조사를 실시하였다. 샘플조제는 슬라이드글라스에 증류수를 한 방울 떨어뜨린 후 엽 뒷면의 표피를 벗겨 커버글라스로 옮겨 덮은 후 물기를 닦아내고 투명 매니큐어로 밀봉한 뒤 즉시 광학현미경(E-600, Nikon, Japan) 하에서 400배율로 관찰하였다. 기공관찰은 Image pro express V4.5(Media Cybernetic, Ni-con Inc., USA) 프로그램을 이용하여 단위면적당 기공 수와 기공의 열림 상태를 컴퓨터에 영상을 전송 저장한 후 프로그램의 측정메뉴에서 기공 열림의 폭, 길이, 면적 등을 측정하였다.

### 엽록소 형광반응 측정

엽록소의 형광반응측정은 휴대용 엽록소 형광반응측정기(ADC OSI-30, Chlorophyll Fluorometer, UK)를 이용하여 온실에서는 흐린 날이 많은 12월과 1월에 보광처리 20일 후에 광합성이 왕성한 오전부터 오후 2시까지 형광반응을, 식물체 상엽(미성숙 완전엽)과 중간엽(성숙엽), 주간 사이의 내부엽을 조사하였다. 조사방법은 주간에는 광 차단용 클립을 측정 20분전에 암기상태가 되도록 앞에 물린 다음 측정기의 형광반응 자극원(Solid state 685nm source)을 사용하였고. 일몰 후에 암기상태가 1시간 정도 경과한 후 형광반응 값(Fo, Fm, Fv/Fm, Ft값)을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 보광 방법에 따른 광합성 및 광합성속도

시설내의 정확한 보광효과를 추정하기 위하여, 겨울철 시설내의 자연광량을 조사하였다. 그 결과 맑은 날 일사량의

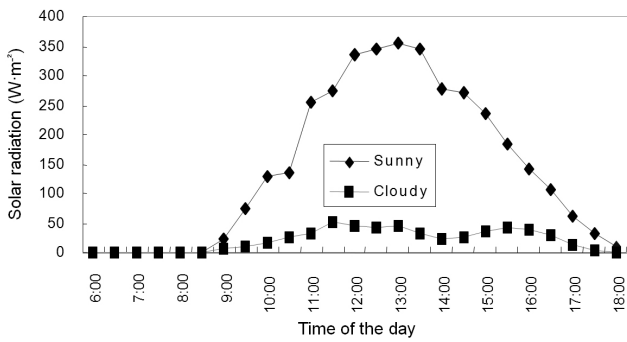


Fig. 1. Changes of solar radiation in a glasshouse measured in a sunny day and cloudy day in winter.

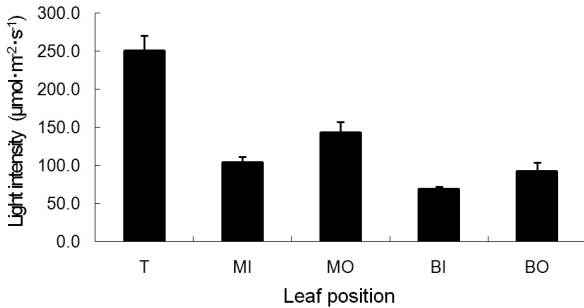


Fig. 2. Distribution of illumination intensity of sweet pepper at different leaf position under the lighting condition 8:30-9:30 in the morning in winter (T: Top, MI: Middle inside, MO: Middle outside, BI: Bottom inside, BO: Bottom outside).

경우 오전 09:30에  $75\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 에서 광량이 증가하기 시작하여 13:00에는  $355\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 최고에 달하였고 13:30부터 감소하였다. 그러나 흐린 날은 09:30경  $10\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  내외로 광량이 맑은 날에 비하여 현저하게 낮게 나타났으며, 광량이 증가하는 11:30-13:00에도  $45\text{-}50\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 광량을 보여 맑은 날의 1/7수준으로 낮게 나타났다(Fig. 1).

겨울철 흐린 날 시설 내에서 보광수준에 따른 광합성율을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 보광조건을  $40\text{-}50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 하였을 때는  $4.0\text{-}5.0\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  범위의 광합성율을 보였고, 보광광량을  $230\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 까지 증가시켰을 때  $6.3\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광합성율을 나타내어 낮은 증가율을 보였다. 이러한 결과로 보아 단순한 광량 요인 하나의 증가만으로 광합성 속도의 증가가 어려우며,  $\text{CO}_2$ , 온도 등 복합적인 요인이 작용하였을 때 광합성율의 증가가 가능한 것으로 판단되었다. 보광을 통하여 광합성 효율을 높이기 위해서는 착색단고추의 광보상점인 20-30klx이상의 광강도가 필요하며 보광중에서는 기온을 적온 가까이 유지하고, 공기중의  $\text{CO}_2$  농도를 3-4배 높여야 광합성 효율을 증진시킬 수 있다고 하였다(Both, 2002).

겨울철 맑은 날 시설 내에서 보광시간대별 광합성 속도를 측정된 결과(Fig. 4)는, 아침 일출 전  $41\text{-}47\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 나

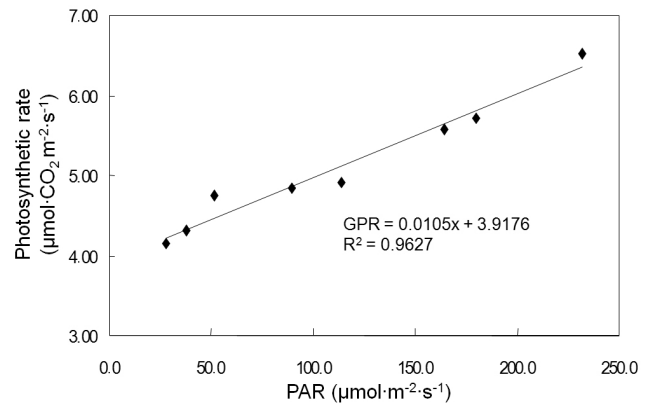


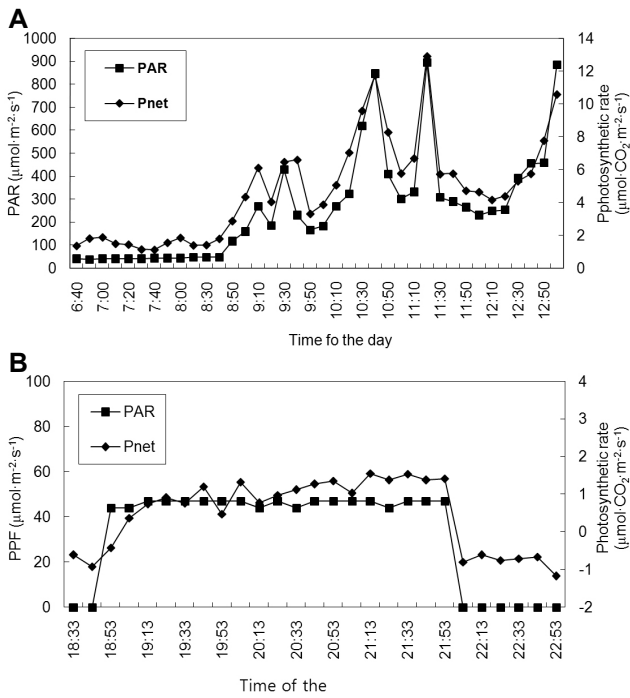
Fig. 3. Relationship between gross photosynthetic rate and photosynthetically active radiation (PAR) as affected by supplemental lighting in the sweet pepper plants using hydroponic system under the low intensity day in the glass house (Measured on  $6.25\text{ cm}^2$  PLC).

트륨등 보광하의 순광합성 속도는  $1.5\text{-}3.0\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  수준을 나타냈다. 일출후인 08:30 이후부터 자연광의 증가에 따라 광합성 속도도 급격하게 증가하였다(Turcotte et al., 1989). 그리고 10:30-11:30경 광량이  $850\text{-}950\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 에 도달하였을 때 광합성속도는  $6.0\text{-}12.0\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  내외로 크게 증가하였으며, 일몰 후 보광 처리시 광합성 속도는  $0.5\text{-}1.5\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  정도로 일출 전 보광에 비하여 다소 낮은 속도를 나타내었다(Fig. 4B). 이는 일몰 후 초저녁에는 식물이 휴식을 하면서 호흡작용과 양분의 전이가 이루어지는 시간대로서, 보광시에는 일출 시나 주간에 비하여 광합성이 떨어지는 것으로 나타났다.

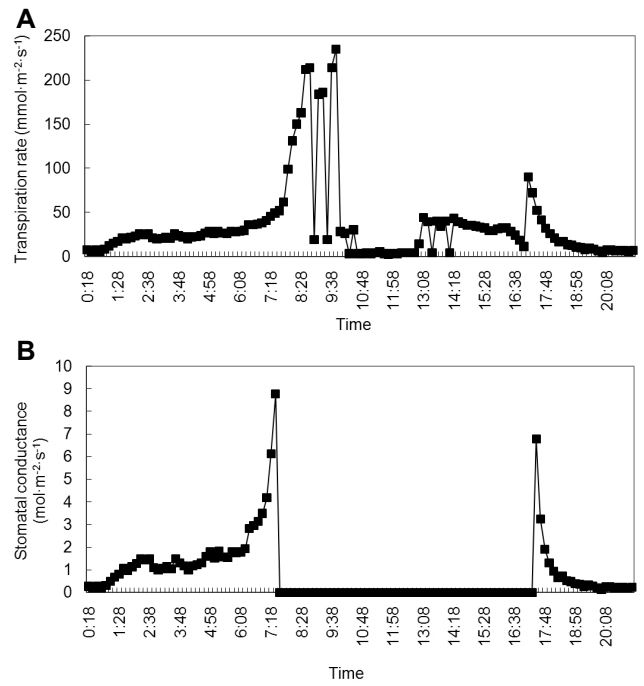
겨울철 아침 08:30-09:30경 시설 내 보광조건에서 엽 위치에 따른 광량분포를 측정된 결과, 착색단고추 엽위치별 조도는 상위엽(T)과 통로측 외엽(MO)은  $250\text{-}142.5\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며 안쪽 하엽(BI)과 안쪽 중엽(MI)은  $68.3\text{-}91.3\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  내외로 낮게 나타나 상엽의 그늘로 인해 수광량이 크게 떨어지는 것으로 나타났다(Fig. 2).

### 보광에 따른 증산율과 기공의 변화

광합성 속도, 증산율 및 기공전도도는 서로 관계가 깊은 것으로 알려져 있는데(Barradas et al., 1994), 기공행동은 광합성이 진행되는 동안 대기의  $\text{CO}_2$  이용효율 및 증산작용에 영향을 미치게 된다(Raschke, 1986). 이에 따라, 야간과 흐린 날 3시간 보광 후 증산율과 기공전도도를 측정된 결과(Fig. 5)에 따르면 00:18-06:18까지 완만한 증산율 증가를 보이다가 07:00 보광처리와 일출직후 크게 상승하였으며, 10:00에 보광이 완료된 후 다시 감소하였고, 기공전도도도 같은 경향을 나타내었다. 식물의 호흡에 의한 증산율은 시설재배 오이에 연속적인 보광과 불연속적인 보광처리를 하



**Fig. 4.** Changes of photosynthetic rate ( $P_{net}$ ) and photosynthetically active radiation (PAR) in the sweet pepper plants grown under the supplemental lighting before the sun rise in the morning (A), after sun set (B) in the glass house.



**Fig. 5.** Comparisons of transpiration rate (A) and stomatal conductance (B) of the sweet pepper grown in the glass house after 3-hour supplemental lighting between 05:00 to 08:00.

였을 때 증산량과 기공전도도가 증가하였으며, CO<sub>2</sub>공급과 보광에 따른 광주기의 연장으로 순광합성율이 증가하였다는 보고(Turcotte et al., 1989)와, 본 실험 결과 착색단고추도 이와 비슷한 결과가 나타난 것으로 판단되었다.

기공의 개도는 식물의 광합성과 호흡과정을 해석하는데 가장 중요한 형태적 특성의 하나이다. 일출 전 보광처리 한 것과 무처리(자연일장) 상태에서 잎의 기공열림 면적을 시간대별로 측정된 결과는 Table 1과 같다. 일출 전 보광처리 한 것은 07:10에 기공면적이 32.2μm<sup>2</sup>로 나타나 기공을 통한 가스교환이 일어나고 있음을 확인할 수 있었으나(Fig. 6A),

무처리(자연일장)는 07:10에 7.7μm<sup>2</sup>로 현미경상에서 거의 닫힌 상태를 보였으며, 야간의 호흡을 위하여 일부 기공이 열려있는 것으로 관찰되었다(Fig. 6B). 그러나 08:20, 09:30, 11:00 조사에서도 보광 처리구에 비하여 무처리는 기공면적이 적었다(자료 미제시). 기공폭은 07:10 조사에서 보광처리 는 3.43μm이었으나 자연일장은 2.32μm로 좁게 나타났고, 08:20-11:00까지 다른 측정시간대도 보광처리가 무처리에 비하여 기공폭이 높게 나타났으며, 기공의 길이와 둘레도 같은 경향이였다. 단위면적(60,000μm<sup>2</sup>)당 기공수 관찰 시 보광 처리구의 경우 일출직전인 07:10에 비하여 08:20-11:00 시간대에 기공수가 많았다. 보광 처리구와 무처리간의 비교

**Table 1.** Comparisons of stomatal size of the sweet pepper grown under supplemental lighting and natural light only.

Treatment	Measured time	Stomatal pore			No of stomatal <sup>z</sup>
		Width (μm)	Length (μm)	Girth (μm)	
Supplemental lighting	07:10	3.43 ± 0.64	15.3 ± 1.99	34.1 ± 5.3	11.3a <sup>y</sup>
	08:20	3.79 ± 0.66	14.1 ± 2.17	33.8 ± 7.1	14.1b
	09:40	3.62 ± 0.69	13.8 ± 1.98	32.7 ± 5.7	14.9b
	11:00	4.00 ± 1.0	15.0 ± 2.30	32.8 ± 6.8	14.3b
Natural light only	07:10	2.32 ± 0.87	12.1 ± 1.84	26.8 ± 5.3	12.2a
	08:20	3.02 ± 0.96	13.8 ± 2.24	32.7 ± 6.3	11.9a
	09:40	3.19 ± 0.96	13.4 ± 1.9	29.8 ± 5.4	11.8a
	11:00	2.54 ± 0.77	13.7 ± 2.24	30.1 ± 7.1	14.2b

<sup>z</sup>Measurement area: 60,000 μm<sup>2</sup>

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

시는 보광 시간대에 따라 다르게 나타났으나 평균적인 단위 면적당 기공수가 보광 처리구는 13.6, 무처리구는 12.5개로 보광처리구가 더 많은 것으로 나타났다(Table 1).

### 보광에 따른 공변세포의 반응과 엽록소형광반응

공변세포는 기공의 형태와 유사한 모양으로 변하는 특징이 있는데 기공이 완전히 열리게 되면 원형에 가까워지게 된다(Wallace et al., 1991). 보광처리에 따른 공변세포의 반응을 관찰한 결과 07:10 관찰 시 보광 처리구의 공변세포의 폭은 28.3 $\mu\text{m}$ 였으며 자연일장에서는 25.8 $\mu\text{m}$ 로 나타났다. 08:10, 09:30, 11:00 관찰에서도 보광처리의 공변세포 폭은 자연일장에 비하여 더 넓은 것으로 나타났으며, 길이, 둘레, 면적 등도 기공의 개도 값과 같은 경향을 보였다(Table 2).

보광처리에 의한 엽록소 형광반응을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 보광을 하였을 때 광합성 능력의 지표인 Fv/Fm(광계 2의 최대양자수율) 값이 0.8로 정상적인 수준이었으며 (Jung and Lee, 2000), 자연일장은 0.781로 보광처리보다 약간 낮은 경향을 보였다. 그리고 Fo값은 543-546으로 서로 비슷하게 나타났으며, Fm(최대형광값)값은 보광처리가 2,741로 무처리 2,491보다 높게 나타나 광합성반응이 더 높은 것으로 판단되었다.

### 보광시기에 따른 생육특성 및 과실특성

겨울철(12월-2월) 보광처리에 따른 착색단고추, 스프리트 품종의 생육특성을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 스프리트 품종의 초장은 일출 전 3시간 보광이 평균 185cm였고, 일출 후 3시간 보광은 평균 188cm, 일몰 후 3시간 보광은 평균 208cm로서 보광처리가 무처리(자연일장)의 초장 평균 171cm에 비해 모두 초장이 긴 것으로 나타났다. 특히 일몰 후 3시간 보광은 일출 전·후 3시간 보광에 비해 20cm 이상 크게 나타났다. 주당 착과수는 일출 전 3시간, 일출 후 3시간 보광이 2년간 평균 4.3개로 나타났고, 일몰 후 3시간 보광은 3.7개였으며, 무처리(자연일장)는 2.6개 순이었다. 이와 같은 결과로 저일조 기간 동안 보광처리는 무처리에 비하여 생육과 결실이 양호한 것으로 나타났다. 보광처리 방법간 비교에서는 Fig. 4에서 광합성이 왕성한 것으로 보여진, 오전 보광처리가 착과수가 많았고, 일몰 후 보광처리는 영양생장이 왕성한 반면, 생식생장은 낮아지는 것으로 나타났는데(Table 4), 이는 초저녁 양분의 전이 시간대 보광은 동화 양분을 잎이나 줄기로 이동시켜 도장을 조정하고 착과에 불리하게 작용했을 가능성이 제시되었다. 보광이 오이와 토마토 육묘의 신장의 조절에 효과적이라는 보고도 있다 (Kim et al., 2008).

**Table 2.** Specific guard cell size of sweet pepper leaves grown under supplemental lighting and natural lighting only.

Time		Width ( $\mu\text{m}$ )			Length ( $\mu\text{m}$ )			Girth ( $\mu\text{m}$ )			Area <sup>z</sup> ( $\mu\text{m}^2$ )		
		Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.	Max.	Ave.	Min.
Supplemental lighting	A <sup>y</sup>	30.5	28.3	26.4	35.5	34.0	30.7	127	118	107	881	759	637
	B	31.1	28.2	24.1	35.8	32.7	32.3	126	117	100	889	746	562
	C	33.3	29.2	26.7	42.2	34.0	28.6	139	119	112	1023	754	650
	D	31.1	29.6	27.4	36.8	33.8	29.3	130	120	107	864	772	629
Natural light only	A	27.0	25.8	23.5	30.8	29.6	26.9	106	101	88	612	582	569
	B	29.7	27.6	25.4	37.7	33.5	31.0	131	117	108	880	739	626
	C	29.6	28.1	26.5	35.7	32.0	28.2	119	111	104	741	691	572
	D	30.7	27.5	24.1	36.4	32.8	28.7	123	115	100	793	691	533

<sup>z</sup>Measurement area: 60,000  $\mu\text{m}^2$ .

<sup>y</sup>Measurement time: A, 07:10; B, 08:20; C, 09:30; D, 11:00 a.m.

**Table 3.** Leaf chlorophyll fluorescence of sweet pepper plants grown under supplemental lighting and natural light only from 10:40 a.m. till 13:50 p.m.

Parameters	Fo <sup>z</sup>	Fm <sup>y</sup>	Fv/Fm <sup>x</sup>	Fmo <sup>w</sup>	Ft <sup>v</sup>
Supplemental lighting	546 $\pm$ 25.8	2,741 $\pm$ 41.3	0.800 $\pm$ 0.008	2,548 $\pm$ 38.6	0.199
Natural light only	543 $\pm$ 31.6	2,491 $\pm$ 98.7	0.781 $\pm$ 0.007	2,295 $\pm$ 75.3	0.189

<sup>z</sup>Fo: Ground state value (increase at low intensity or heat stresses on plants).

<sup>y</sup>Fm: Maximum fluorescence (decrease under stress condition).

<sup>x</sup>Fv/Fm = (Fm-Fo)/Fm: potential of photosynthesis.

Fv (maximum variable fluorescence) = Fm - Fo.

<sup>w</sup>Fmo (Fm/Fo): Index of stresses on plants.

<sup>v</sup>Ft: fluorescence intensity at the steady-state T level.

**Table 4.** Plant height, number of leaves, stem diameter and number of fruits per plant in sweet pepper grown under supplemental lighting and natural light only.

Year	Treatment	Plant height (cm)	No. of leaves	Stem diameter (mm)	No. of fruits (ea/plant)
1st year (16. Mar.)	T1 <sup>z</sup>	152ab <sup>y</sup>	29.6a	17.0a	4.5a
	T2	137bc	29.2a	18.1a	4.6a
	T3	167a	29.6a	17.4a	3.5b
	T4	131c	27.5a	17.1a	3.2b
2nd year (11. Mar.)	T1	218ab	37.9a	16.9a	4.2a
	T2	239ab	40.0a	16.6a	4.0a
	T3	249a	39.0a	17.6a	3.9a
	T4	211b	36.5a	17.1a	2.0b

<sup>z</sup>T1: 3-hour lighting before sun rise (05:00-08:00), T2: 3-hour lighting after sun rise (08:00-11:00), T3: 3-hour lighting after sun set (17:00-20:00), T4: Natural light only.

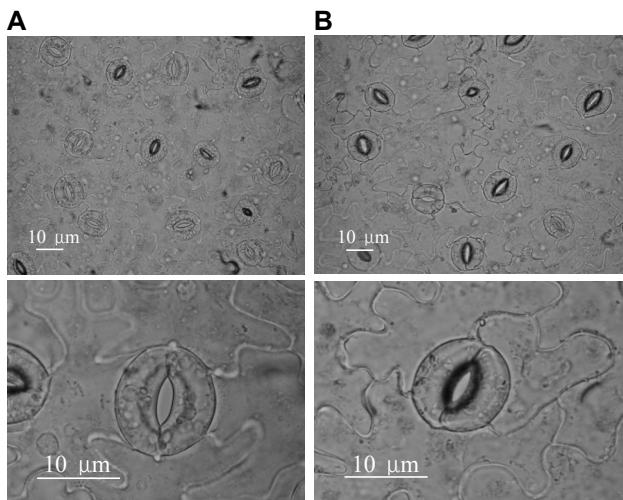
<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .

**Table 5.** Fruit weight, sugar content of sweet pepper grown under supplemental lighting and natural light only.

Investigation years	Treatment	Fruit weight (g/fruit)				Sugar content (°Brix)			
		Nov.-Dec.	Jan.-Feb.	Mar.-Apr.	Mean	Nov.-Dec.	Jan.-Feb.	Mar.-Apr.	Mean
1st year (16. Mar.)	T1 <sup>z</sup>	183.3	209.9	196.3	196.5a <sup>y</sup>	8.8	8.0	8.2	8.3a
	T2	197.5	207.3	219.8	208.2a	7.1	7.9	7.6	7.5a
	T3	168.5	223.5	212.3	201.4a	7.3	8.7	8.5	8.2a
	T4	208.5	201.4	212.7	207.6a	7.7	8.1	8.1	8.0a
2nd year (11. Mar.)	T1	213.4	193.6	189.0	198.7a	7.5	7.7	8.0	7.8a
	T2	218.1	185.2	183.2	195.5a	7.6	7.6	7.7	7.6a
	T3	203.8	195.9	191.8	197.2a	8.0	7.7	7.9	7.9a
	T4	211.8	197.9	179.6	196.4a	7.5	7.8	8.6	8.0a

<sup>z</sup>T1: 3-hour lighting before sun rise (05:00-08:00), T2: 3-hour lighting after sun rise (08:00-11:00), T3: 3-hour lighting after sun set (17:00-20:00), T4: Natural light only.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .



**Fig. 6.** Stomatal pore opening in sweet pepper leaves at 7:10 a.m. under the supplemental lighting (A) and natural light only (B) in the glass house (Images were captured using a Nikon eclips E-600 attached to a compound microscope 400x).

과실특성 조사에서 과중 평균은 1년차의 경우 일출 전 3시간 보광이 196.5g, 일출 후 3시간 보광은 208.2g, 일몰 후 3시

간 보광은 201.4g, 자연일장은 207.6g으로 보광처리와 자연일장과의 차이는 없었다. 2년차 시험에서도 일출 전 3시간 보광이 199g, 일출 후 3시간 보광은 196g, 일몰 후 3시간 보광은 197g, 자연일장은 196g으로 처리간 과중의 차이가 없었다. 수확시기에 따른 과중은 1년차의 경우 11-12월이 190g, 1-2월과 3-4월 수확에서는 210g 정도로 비슷하게 나타났다. 2년차 시험에서는 11-12월 수확이 211.8g이었으며 1-2월 193g, 3-4월은 186g으로 재배일수 경과에 따라 과중이 작아지는 경향이었으나, 보광처리한 과중의 차이는 없었다(Table 5).

과실의 당도는 1차년도에는 일출 전 보광이 8.3°Brix로 가장 높게 나타났고, 일출 후 3시간 보광은 7.5°Brix, 일몰 후 3시간 보광은 8.2°Brix, 자연일장은 8.0°Brix로 나타났으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 그리고 2년차와 종합성적에서도 7.6-8.0°Brix 범위로 비슷한 경향을 나타냈다(Table 5). 수확시기별 당도는 11월-12월 수확은 7.7°Brix 1월-2월 수확은 8.2°Brix, 3월-4월 수확은 8.1°Brix로, 1-2월과 3-4월이 11월-12월 수확보다 높게 나타났다(Table 5). 이상의 결과로 보광

**Table 6.** Grade level of sweet pepper fruits grown under supplemental lighting and natural light only.

Cultivars	Treatment	Commercial grade level					Commercial yield (kg)	Total yield (kg)	Ratio (%)
		below 130 g	130-160 g	160-180 g	above 180 g	Non-marketable fruits			
Spirit	T1 <sup>z</sup>	8.0	13.2	11.5	30.2a	0.3	62.8	63.1	164
	T2	11.3	16.0	13.5	19.9b	0.4	60.7	61.1	158
	T3	7.6	7.5	7.8	18.2b	0.5	41.1	41.5	107
	T4	5.6	6.8	6.1	19.9b	0.7	38.4	39.1	100
	mean	8.1	10.9	9.7	22.0	0.4	50.8	51.2	

<sup>z</sup>T1: 3-hour lighting before sun rise (05:00-08:00), T2: 3-hour lighting after sun rise (08:00-11:00), T3: 3-hour lighting after sun set (17:00-20:00), T4: Natural light only.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at  $p = 0.05$ .  
Yield unit: kg/21 plants.

**Table 7.** The potential impact on commercial yield and net income by supplemental lighting cultivation in sweet pepper cv. Spirit.

Treatment	Commercial Yield kg·10a <sup>-1</sup> (%)	Gross income (1,000 won/10 a)	Management cost (1,000 won/10 a)			Net income (10 a)	Income ratio (%)
			Requirements	Electrical	Total		
T1 <sup>z</sup>	10,073(133)	35,799	18,702	1,864	20,566	15,233	113
T2	11,605(153)	41,244	19,013	1,864	20,877	20,367	151
T3	8,164(108)	29,015	19,719	1,864	20,584	8,431	62
T4	7,578(100)	26,932	16,207	935	17,142	13,529	100

<sup>z</sup>T1: 3-hour lighting before sun rise (05:00-08:00), T2: 3-hour lighting after sun rise (08:00-11:00), T3: 3-hour lighting after sun set (17:00-20:00), T4: Natural light only.

Facility cost for supplemental lighting: 8,500,000 won/10 a = facilities for electric power supply 4,000 chonwon/30 kw + installing lights 4,500 1,000 won (HPS lamp: 80,000 won/1 set).

Facility cost for internal electric power: kw/per 100,000 won.

Capacity of electric power: 40 kw/10 a.

Consumed electric cost/month (for agricultural): 929,400 won = 4 month × 232,350 won = (Basic 100 kw × 1,060 won) + (using for monthly 3,500 kw × 36.1 won).

Consumed electric power/month: 3,600 kw.

의 효과는 어느 정도 엽면적이 확보되었을 때 보광을 실시하였을 경우 과일의 당도가 증가하는 것으로 판단되었다.

### 보광시간에 따른 수량효과 및 경제성분석

보광시간에 따른 수량효과 및 경제성을 분석하기 위해 착색단고추를 무게별로 상품등급을 나누고 상품과와 비상품과의 수량을 조사하였다. 착색단고추 21주당 무게를 측정한 결과 상품과의 수량은 일출 전 3시간 보광이 62.8kg, 일출 후 3시간 보광이 60.7kg로 무처리 38.4kg에 비하여 64-58% 높게 나타났다. 또한 일출 전 3시간 보광이 과중이 180g 이상 대과의 수량이 가장 높게 나타났으며, 130-180g 수량은 일출 후 3시간 보광이 29.9kg, 일출 전 3시간 보광은 24.7kg으로 일몰 후 보광이 15.3kg, 무처리 12.9kg에 비하여 높게 나타났다(Table 6). 일몰 후 3시간 보광이 다른 보광 처리구에 비해 수량이 크게 떨어진 원인은, 초저녁에 광합성 산물의 전이를 억제하고 도장 현상이 나타났으며, 과실의 착과수는 떨어지고 과실의 비대를 나쁘게 하여 수량에 영향을

미친 것으로 생각되었다(Table 4). 그리고 연차간 생육과 수량에서 1년차가 생육이 저조한 반면 수량이 높게 나타났고, 2년차는 생육이 좋은 반면 수량은 1년차보다 낮게 나타나 반대의 경향을 보였다(Table 4).

이러한 결과로 보아 광포화점이 비교적 낮은 착색단고추는 일조량이 좋을 때는 보광효과가 적었으나, 일조량이 부족한 기간에는 효과가 큰 것을 알 수 있었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 적정 보광시간은 광합성이 가장 활발한 일출 전·후 3시간, 순간일사량이 100Wh 이하인 흐린 날에 실시하는 것이 유리할 것으로 판단되었다. 특히 일출 후 3시간 보광은 11,605kg·10a<sup>-1</sup>로 무처리에 비하여 53% 증수효과가 있었으며 자연일장에 비하여 상품수량이 증가하여 조수입이 가장 높게 나타났다. 따라서 보광시설에 대한 시설투자비의 감가상각비, 월간 전력사용요금 등 제반 경영비를 공제하더라도, 10a당 소득이 20,367천원에 달하여 자연일장 13,529천원보다 51%정도 높게 나타나 경제성이 높은 것으로 판단되었다(Table 7).



## 초 록

본 연구는 보광이 착색단고추의 수량과 품질에 미치는 영향을 구명하여 생산성과 품질향상을 위한 착색단고추 재배 기술 확립의 기초 자료를 얻고자 수행하였다. 보광시간대별 광합성은 아침 일출 전 보광에서는  $1.5\text{-}3.0\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광합성속도를 나타냈으며, 일몰 후 보광은  $0.5\text{-}1.5\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광합성속도를 보여 일출 전 보광이 더 효과적인 것으로 나타났다. 보광에 따른 증산율과 기공전도도는 일출 직후 보광과 함께 높게 상승한 후 소등 후 다시 감소하였다. 보광에 따른 기공면적은  $32.2\mu\text{m}^2$ 로 나타났으며, 자연일장(무처리)은  $7.7\mu\text{m}^2$ 로 현미경상에서 거의 닫힌 상태를 보였다. 보광에 따른 생육특성에서 스피리트 품종의 경우 초장은 일출 전 후 3시간 보광에 비하여 일몰 후 3시간 보광이 크게 나타났으며, 보광처리가 자연일장에 비하여 모두 초장이 높은 것으로 나타났다. 평균 착과수는 일출 전 후 3시간 보광이 4.3개였고, 일몰 후 3시간 보광은 3.7개였으며, 자연일장은 2.6개로 보광처리가 자연일장에 비하여 착과수가 많았다. 과실의 당도는 보광처리에 따른 유의적인 효과는 없었으나, 수확시기에 따라서는 약간 차이가 있었다. 10a 당 상품수량은 스피리트 품종의 경우 보광 처리시 11,605kg인 반면, 자연일장은 7,578kg이었다. 전력소모와 시설비에도 불구하고, 경제성 분석결과 순소득도 일출 후 3시간 보광이 자연일장보다 51%정도 높게 나타났다.

**추가 주요어 :** 저광도, 착색단고추, 광합성

## 인용문헌

Barradas, V.L., H.G. Jones, and J.A. Clark. 1994. Stomatal responses to changing irradiance in *Phaseolus vulgaris*. *J. Expt. Bot.* 45:931-936.

Both, A.J., D.E. Ciolkosz, and L.D. Albright. 2002. Evaluation of light uniformity underneath supplemental lighting system. *Acta Hort.* 580:183-190.

Bruggink, G.T. 1992. A comparative analysis of the influence of the light on growth of young tomato and carnation plants. *Sci. Hort. Amsterdam* 51:71-81.

Demers, D.A. and A. Gosselin. 1998. Supplemental lighting of greenhouse vegetables: limitations and problems related to

long photoperiods. *Acta Hort.* 481:51-55.

Demers, D.A., J. Charbonneau, and A. Gosselin. 1991. Effects of supplementary lighting on the growth and productivity of greenhouse sweet pepper. *Can J. Plant. Sci.* 71:587-594.

Dorais, M., C. Ménard, F.T. Ahmad, and A. Gosselin. 2002. Effect of low temperature pulse at night on photosynthate and carbohydrate partitioning of greenhouse tomato grown under supplemental lighting. *X X VI<sup>th</sup> Intl. Hort. Congr., Toronto, Canada* 11-17 Oct. 2002.

Fierro, A., N. Trembly, and A. Gosselin. 1994. Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. *HortScience* 29:152-154.

Jung, B.C. and C.H. Lee. 2000. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. *Biowave* 2(12):7.

Kim I.S., C. Zhang., H.M. Kang, and B. Mackay. 2008. Control of stretching of cucumber and tomato plug seedlings using supplemental light. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49:287-292.

Kim, Y.B., S.J. Chung, and J.H. Bae. 2005a. Response of the photosynthetic rate and stomatal pore opening reaction on light condition of hydroponically grown sweet paper in winter. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23 (Suppl. I):35. (Abstr.)

Kim, Y.B., S.J. Chung, and J.H. Bae. 2005b. The somatometrical reaction for sweet paper plants by the lights, temperature and CO<sub>2</sub> concentration. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23 (Suppl. I):35. (Abstr.)

Masson, J., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1991. Nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting influence on vegetable transplants production. I. Transplant growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:594-598.

Park, M. and Y.B. Lee. 1999. Effects of CO<sub>2</sub> concentration, light intensity and nutrient level on the growth of leaf lettuce in a plant factory. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:431-435.

Raschke, K. 1986. The influence of the CO<sub>2</sub> content of the ambient air on stomatal conductance of CO<sub>2</sub> concentration in leaves. p. 87-103. In: H.Z. Enoch and B.A. Kimball (eds.). *Carbon dioxide enrichment of greenhouse crop*. CRC Press, New York.

Turcotte, G. and A. Gosselin. 1989. Influence of continuous and discontinuous supplemental lighting on the daily variation in gas exchange in greenhouse cucumber. *Scientia Hort.* 40:9-22.

Wallace, R.A., G.P. Sanders, R.J. Ferl, and H. Collins. 1991. *Biology: The Science of life*. Haper Collins Publisher, New York, NY.

Weyers, J.D.B. and A.J. Travis. 1981. Preparation of leaf epidermis for experiments on stomatal physiology. *J. Expt. Bot.* 32:337-350.

Wilson, J.W., D.W. Hand, and M.A. Hannah. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crop. *J. Expt. Bot.* 43:363-373.