

# 고압나트륨등 조사가 파프리카의 동적 성장과 건물분배율에 미치는 영향

김은정<sup>†</sup> · 이상현<sup>†</sup> · 이정현<sup>\*</sup>

전남대학교 원예학과

## Effects of the High Pressure Sodium Lamp Lighting on the Dynamics of Growth and Dry Mass Partitioning in Sweet Pepper Plant

Kim Eun Jeong<sup>†</sup>, Sang Hyun Lee<sup>†</sup>, and Jeong Hyun Lee<sup>\*</sup>

Department of Horticulture, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

**Abstract.** The objective of this study was to describe and analyze the effect of high pressure sodium lamp lighting (HPS) on dynamics of growth and dry matter partitioning, and light use efficiency of sweet pepper crop grown over winter season. Young sweet pepper seedlings were planted at 3.75 plants per m<sup>2</sup> on September 29, 2010 and treated with HPS for 16 hours from December 14, 2010 until March 18, 2011. The number of leaves per plant were significantly increased with HPS, whereas the number of internodes and leaf area were less affected. HPS reduced the plant height with higher number of fruits per stem compared to those of without HPS lighting (CON). There were large differences in total dry mass production, stem and fruit dry mass between HPS and CON and those with HPS increased by 67.8%, 28.5%, and 97.1% compared to CON, respectively. Each organs of dry mass partitioning was calculated by leaf, stem or fruit growth rate divided by total plant growth rate. Dynamics of dry mass partitioning to leaf and stem between HPS and CON was measured in range of 45-47% at beginning of growth phase and drastically decreased after starting fruit growth in both treatments. Dry matter partitioning to vegetative organs was 4% higher compared to the plant grown under HPS lighting. Averaged dry matter partitioning to fruit with HPS, however, was largely increased by 14.2% compared to CON. Dynamics of the plant growth were well described by expolinear growth equation with three parameters of maximum relative growth rate, absolute growth rate and lost time to reach linear phase. The maximum growth rate of leaf, stem and fruit with HPS was increased by 18.6%, 74.7%, and 143.5% compared to CON. There was a linear relationship between intercepted light integral and vegetative organs (leaf and stem), fruit or total dry mass production. Light use efficiency (LUE, g·MJ<sup>-1</sup>) of total dry mass was 4.90 g·MJ<sup>-1</sup> for HPS and 3.84 g·MJ<sup>-1</sup> for CON, LUE of vegetative organs was 1.56 g·MJ<sup>-1</sup> for HPS and 1.61 g·MJ<sup>-1</sup> for CON and LUE of fruit dry mass was 3.34 g·MJ<sup>-1</sup> for HPS and 2.23 g·MJ<sup>-1</sup> for CON. The difference in LUE of total dry mass between treatments, therefore, occurred mainly from the different in LUE of fruit dry mass.

**Additional key words:** dry matter partitioning, expolinear, light use efficiency

### 서 언

파프리카는 2011년 429ha의 재배면적에서 43,160톤이 생산되고 있는 고부가가치 신선농산물로 재배면적과 총 생산량이 증가 추세에 있지만 생산에 필요한 시설투자 및 생

산비의 비중이 다른 신선채소류보다는 높기 때문에 단위 면적당 생산성을 높여 조수익의 증대와 생산비의 절감이 농가 소득에 미치는 영향이 매우 크다(KATI, 2011). 파프리카의 생산량은 작물의 성장율과 착과율에 의존하기 때문에 생산성 향상을 위한 재배관리 기술이 매우 중요하다(Marcelis et

\*Corresponding author: leetag@jnu.ac.kr

<sup>†</sup>These authors contributed equally to this work.

※ Received 19 March 2013; Revised 29 April 2013; Accepted 15 May 2013. 본 연구는 농림수산식품부 농림수산기술기획평가원의 지원에 의해 수행되었음.

al., 2004). 특히 착과율은 광량 변화에 민감하기 때문에 한국과 같이 주간 광량의 진폭이 심한 경우 기간별 수확량 진폭이 커지게 되어 낮은 생산량의 원인이 되고 있다(Jeong et al., 2009). 네덜란드와 우리나라의 파프리카 착과율을 조사한 결과 정식시기, 유묘의 형태 및 품종이 동일한 경우에도 유리온실에서 재배된 파프리카의 착과율은 네덜란드 57-58.5% 국내 유리온실 27.1%로 나타나 국내 파프리카 생산량이 네덜란드보다 낮은 주요 원인이 되고 있다(Jeong et al., 2009). 특히, 파프리카의 착과는 착과시기의 광도와 광량 변화에 민감하게 반응하기 때문에 한국과 같이 기간별 광량의 진폭이 심한 경우에는 착과량의 차이가 심하게 나타난다(Jeong et al., 2009; Marcelis et al., 2004). 일반적으로 시설원에 작물은 시설내부로 투과된 광도와 일조시간에 의한 광량이 생육 및 수확량의 중요한 제한요인으로 작용한다(Heuvelink and Challa, 1989).

일조시간이 줄어들고 광도가 낮은 환경하에서 파프리카는 동화산물의 생산량이 감소되어 조기 낙화 또는 낙과가 이루어지고 이에 따라 착과가 불규칙하게 된다(Heuvelink and Körner, 2001; Marcelis et al., 2004). 따라서, 네덜란드에서는 저일조 및 저광기간 동안 부족한 자연광을 고압나트륨등을 이용하여 외부 광환경 조건에 따라 보광하여 파프리카, 토마토, 오이 등의 과채류의 생산량을 증가시켰다(Dorais, 2003; Hao and Paadopoulos, 1999).

시설원예재배에서 약광기 보광에 의한 생산성 및 품질의 증대효과는 많은 연구자들에 의해서 구명되었지만, 보광에 따른 작물의 성장변수들과 건물분배에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

한편 네덜란드의 경우 토마토(Heuvelink, 1996), 국화(Lee, 2002), 장미(Lieth and Pasian, 1991), 파프리카(Marcelis et al., 2006)등과 같은 시설원예작물은 온실성장모형을 통해 상용화된 온실에서 작물의 생장을 예측하고 이를 이용하여 재식밀도, 정식시기 및 수확량 예측 등을 결정하고 있다. 그런데 한국의 경우 이러한 온실성장모형의 적용이 이루어지지 못하고 있는데 이는 작물의 동적성장량 및 기상환경에 따른 성장정보가 부족하여 성장모형의 검증이 이루어지지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 파프리카 재배과정에서 저일조 기간에 고압나트륨등으로 보광하여 시설 내 광량의 증가로 나타나는 기간별 건물분배율, 성장량, 과실의 품질의 미치는 영향을 구명하고 이를 성장모형의 검증을 위한 동적생육에 관한 기초자료로 활용하고자 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

전남대학교 농업생명과학대학 표준벤로형 유리 온실(9.6 ×

12m)에서 파프리카 품종 'Special'(Enza zaden, The Netherlands)을 공시하여, 2010년 8월 26일 240구 암면 파종판에 표준양액(EC 2.5dS·m<sup>-1</sup>)으로 포습 후 파종하였고, 본엽이 2매 전개되었을 때 표준양액(EC 2.5dS·m<sup>-1</sup>)으로 포습된 암면큐브(10 × 10 × 6.5cm, Grodan, Denmark)에 180° 절곡하여 이식하였다. 급액관리는 이식 후 표준양액(EC 2.5dS·m<sup>-1</sup>)을 큐브내의 함수율에 따라 오전 중 공급하였다. 정식은 표준양액(EC 3.0dS·m<sup>-1</sup>)으로 포습된 코코피트 배지(90 × 15 × 7.5cm, 대영 GS)에 1차 분지가 발생한 육묘를 2010년 9월 29일에 1m<sup>2</sup>당 3.75주로 하였으며, 식물체당 2줄기를 유인하여 2011년 4월 8일까지 실험을 수행하였다. 급액 관리는 외부 광량에 따라 양액혼합기(Wizard, 대영 GS)를 이용하여 급액 EC 2.5-3.0dS·m<sup>-1</sup>로 공급하였다. 온실내부의 온도는 난방 온도 16-18°C, 환기온도 20-25°C로 복합환경조절컴퓨터시스템(마그마, 그린씨에스)에 설정하여 전기 온수난방시스템과 기름보일러를 병용하여 온수파이프와 환기창을 이용하여 온도를 조절하였다. 보광은 고압나트륨등(high pressure sodium lamp, LU400W/PSL, GE lighting, USA)을 이용하여 고압나트륨등(HPS) 처리구와 무처리(대조구)로 나누어 일조시간이 짧은 2010년 12월 14일부터 외부 광도와 관계없이 6시부터 22시까지 16시간 동안 실험종료일인 2011년 4월 8일까지 처리하였다. 온실의 광투과율은 온실 내부의 18지점을 시간대별로 나누어 온실 내외부에서 광센서(line quantum sensor, LI-191SA, LI-COR, USA)를 이용해 동시에 측정했다. HPS 처리구와 대조구의 인공광원의 광도는 일몰 두시간 후 온실 내부의 상하, 수평의 전 구역에서 광센서(line quantum sensor, LI-191SA, LI-COR, USA)를 이용하여 광량자속밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)를 측정하였다. HPS 보광에 따른 작물체 온도를 측정하기 위해 PPF를 조사한 동일한 지점에서 적외선온도계(830-T1, TESTO, Germany)를 이용해 총 20주의 엽온과 과실의 온도를 측정하였다.

생육조사는 각 처리당 5주의 표본을 정식 후부터 보광처리 전까지 2주 간격과 보광처리 후 3주 간격으로 파괴조사를 실시하였다. 조사항목은 엽수, 엽면적, 각 기관별 생체중과 건물중을 측정하였고, 과실의 수확은 90% 이상 착색된 과일을 수확하여 과일의 개수와 과일의 생체중과 건물중을 측정하였다. 수확날짜가 같은 처리구와 대조구에서 각각 70개의 과일을 임의로 추출하여 개별 과장, 과폭, 부피, 과일생체중, 과병생체중, 과일건물중, 과병건물중을 측정하였다. 건물중은 건조기(전기건조기, 대성에너지)를 이용하여 70°C에서 72시간 건조 후 측정하였다.

파프리카의 성장 특성은 비선형회귀분석으로 추정된 지

수선형성장함수(exponential growth function)의 매개변수인 최대 상대성장율( $r_m, g \cdot g^{-1}$ ), 최대 절대성장율( $c_m, g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) 및 지수성장에서 선형성장으로 전환되기 위한 손실일수( $t_b, d$ )를 이용하여 비교하였다. 지수선형함수는 작물의 동적 성장 및 건물의 생산을 효과적으로 묘사하고 측정된 데이터를 해석하기 위해 널리 이용된다(Goudriaan, 1994; Goudriaan and Monteith, 1990; Lee et al., 2003).

각 기관별 건물분배율은 단위기간당 총 건물중의 증가량 대비 각 기관별 건물중의 증가량을 비율로 계산하여 처리간 비교하였다. 파프리카의 생육량을 측정하기 위해 기간별 파괴조사마다 샘플수가 제한되어 기관별 건물분배율이 부의 값이 나오는 경우도 있어 Heuvelink(1996)의 방법에 따라 매 3회 파괴조사한 값의 2번째 값을 건너뛰어 계산하는 방법으로 각 기관별 건물분배율을 계산하였다.

광이용효율(light use efficiency, LUE,  $g \cdot MJ^{-1}$ )은 Heuvelink (1995)와 Lee et al.(2002)의 방법에 의거하여 계산하였다. 광합성 활성복사에너지(PAR, photosynthetically active radiation, 400-700nm)는 외부 광량( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )에 0.47로 곱하여 계산하였고, 온실 내부의 18지점에서 측정한 투과율 39%를 곱해 시설 내부의 PAR을 계산하였다. 작물 위에 도달한 총광량은 HPS의 광도  $10.34W \cdot m^{-2}$ 를 16시간 동안 조사한 보광량을 더 하였다. 작물의 수광율은 측정값의 평균값을 polynomial 함수를 이용하여 기간별 엽면적지수(leaf area index, LAI)를 구하고  $1 - e^{(-k \cdot LAI)}$ 의 식을 이용하여 계산하였다. 광소멸계수  $k$ 는 Goudriaan and Van Laar(1994)에 의거 0.72을 이용하였다. 광이용효율(LUE, light use efficiency,  $g \cdot MJ^{-1}$ )은 기간별 누적 수광량과 단위면적당 건물량을 직선회귀 분석하여 구하였다.

처리구와 대조구의 평균간 비교, 직선회귀분석 및 지수선형함수의 비선형회귀분석은 SPSS 통계프로그램(IBM SPSS Statistics, version 19, USA)을 이용하여 각각 5% 유의수준에서 처리평균 간의 최소 유의차 검정과 파라미터를 추정하였다.

## 결과 및 고찰

실험기간 동안 외부 평균광량은  $12.7MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 였으며,

일주 간격의 평균 광량에 대한 표준 편차가 크게 나타난 반면 온실의 평균 온도는  $20.4^{\circ}C$ 로 매우 안정되게 관리되었다(Fig. 1). 일주간 평균  $CO_2$ 의 농도는 390ppm으로 관리되었으며, 광투과율은 입사각이 낮은 오전과 오후에는 33%, 정오에는 45%로 일평균 광합성 활성 복사에너지의 평균 투과율은 39%이었다(자료 미제시). 야간에 고압나트륨등에서 조사된 광량자밀도(photosynthetic photon flux density, PPF)는 처리구인 배드 높이에서는  $17\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ , 지상 30cm에서는  $67\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  최초 보광 시 작물의 평균 초장인 110cm에서는  $57.5\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 로 나타났다(자료 미제시). HPS 처리에 의해 엽온은 야간  $18.1^{\circ}C$ 로 대조구  $17.2^{\circ}C$ 보다 높게 나타났다며 과일의 온도도  $18.5^{\circ}C$ 로 대조구  $17.8^{\circ}C$ 보다  $0.9^{\circ}C$  높게 나타났다(자료 미제시).

초장과 마디수는 처리간 통계적인 차이가 없었으며 HPS 처리구에서 초장이 짧고 마디수가 많은 경향을 나타냈다. HPS 처리구에서 엽수는 증가되었으나, 반면, 엽면적은 처리간의 유의성이 없어 HPS의 처리에서의 평균 엽면적이 더 작았다(Table 1). HPS 처리구에서 초장이 낮아지고 마디수가 증가한 경향은 적외선 비율이 높은 HPS 조사가 식물체

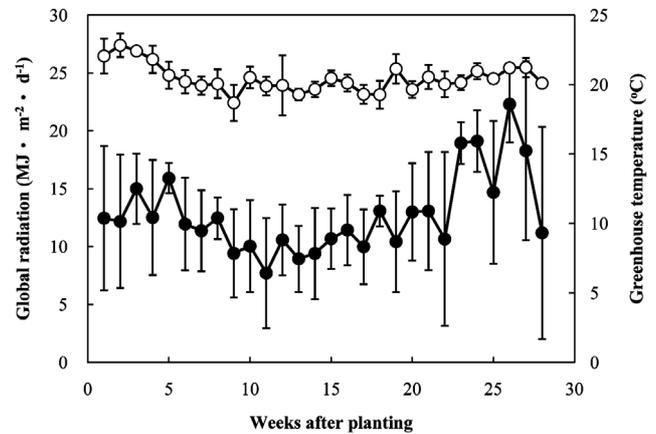


Fig. 1. The changes of global radiation (closed symbols) and the daily temperature (open symbols) during the sweet pepper growing from September 29, 2010 (the date of planting) to April 8, 2011 (192 days after planting). Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means ( $n = 7$ ).

Table 1. Comparison of plant height, the number of internodes, the number of leaves included leaves on side stems, and the number of fruits of sweet pepper plant grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamps lighting.

Treatment	Plant height (cm)	No. of internodes per stem	No. of leaves per plant	Leaf area ( $m^2$ )	No. of fruits per plant
CON	189.9 <sup>z</sup>	38	128	1.167	17
HPS	175.7	40	141	1.197	26
Significant	NS	NS	*	NS	**

<sup>z</sup>The values are an average of five plants and measured at 191 days after planting.  
NS,\*,\*\* Non-significant or significant at  $p = 0.05$  and  $0.01$ , respectively.

온을 높였기 때문으로 판단되었다. 고압나트륨등은 녹색과 황색과장이 40%를 가지고 있기 때문에 절간 신장을 촉진시킬 수 있는데(Dorais, 2003), 본 연구에서는 절간수가 많음에도 초장의 길이가 대조구에 비해 더 짧게 나타났는데 이는 오이 작물에서 HPS 처리구의 발육량이 대조구보다 많았고, 평균 절간장의 길이가 짧았다는 결과(Hao and Papadopoulos, 1999)와 유사하였다. 또한 HPS 처리에 따른 식물체 발육의 변화는 처리구의 착과량이 대조구에 비해 53% 정도 높았기 때문에 영양생장과 생식기관의 sink strength에 있어 과실이 더 높아져 줄기 신장에 동화산물의 이동이 낮게 유지된 결과라고 할 수 있다(Table 1).

기관별 건물생산량은 엽의 경우 대조구와 차이가 나타나지 않았지만 줄기와 과실은 HPS 처리구에서 각각 28.5%와 97.1% 증가하였으며 결과적으로 총건물중이 67.8% 정도 높았다(Table 2). 이는 HPS 처리에 따른 엽면적의 차이가 거의 없었기 때문에 단위면적당 수광량이 더 많아진 결과라고 사료가 된다. 따라서 착과에 따른 부하가 높았지만 과실의 착과량이 많은 경우 광이용효율은 더 높아질 수 있기 때문에(Lee and Cha, 2009) 보광에 의한 수광량이 증가하여 과일에 필요한 동화산물 요구도의 보정이 가능했을 것이다. 파프리카에서 재식밀도가 낮을수록 건물생산량은 증가하는 것은 식물체당 광 수광량이 높아지기 때문이다. 국화에서도 식물체 무게는 수광량과 선형관계를 가진다고 보고되었다(Lee et al., 2003).

생육기 동안 과실의 부피, 과중 및 건물함량은 HPS 처리에 의한 차이가 통계적인 유의성을 나타내지 않았지만 HPS 처리구에서 과실의 볼륨과 과중은 대조구에 비해 증가하는 경향을 나타냈다(Fig. 2). 저광기의 인공광의 조사는 과일의 온도를 증가시켜 과실의 크기를 증가시킬 수 있는데(Hovi-Pekkanen and Tahvonen, 2008), HPS 처리는 과실의 온도를 대조구보다 0.7°C 높게 하여 그 과일의 성장을 증가경향이 나타나게 되었다.

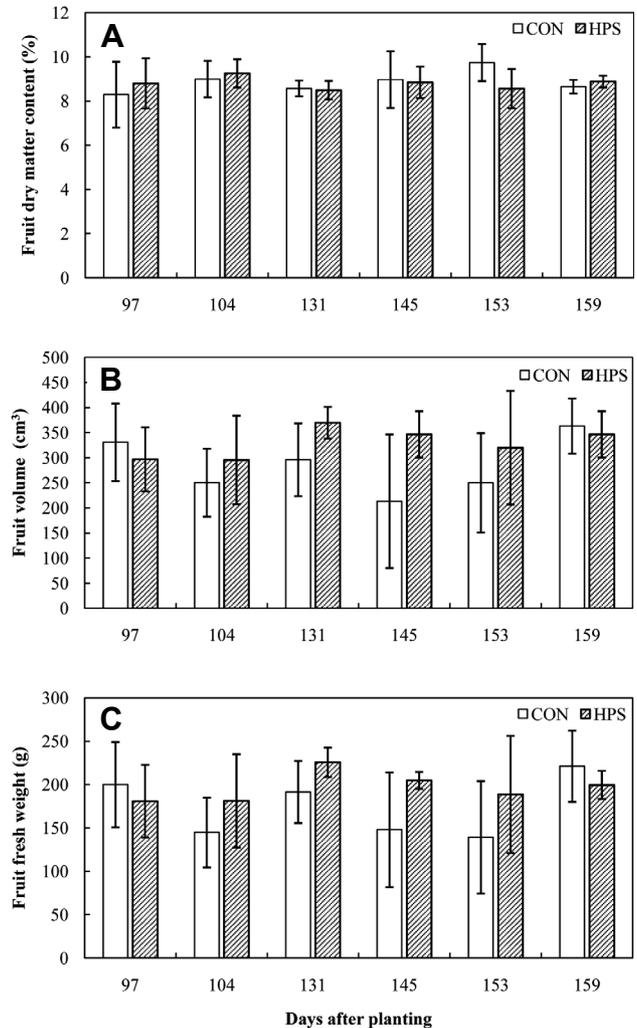
**Table 2.** Comparison of the dry weight of leaf, stem included petiole, and fruit included flowers of sweet pepper plant grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamps lighting.

Treatment	Dry weight (g)			
	leaf	stem	fruit	Total
CON	54.4 <sup>z</sup>	75.9	200.6	330.9
HPS	62.4	97.5	395.3	555.2
Significant	NS	*	**	**

<sup>z</sup>The values are an average of five plants and measured at 191 days after planting.

NS, \*, \*\* Non-significant or significant at  $p = 0.05$  and  $0.01$ , respectively.

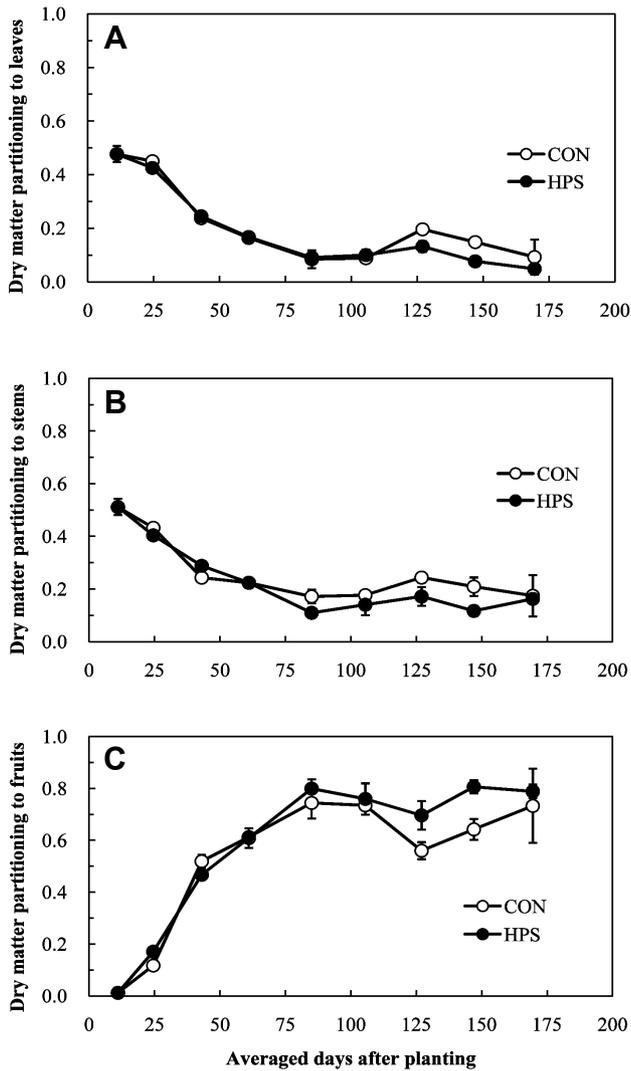
엽과 줄기의 기관별 건물분배율은 생육초기에 45-47%로 유사하였으며, 첫 착과가 이루어지면서 엽과 줄기의 건물분배율이 급격히 감소하여, 생육후기에는 대조구의 경우 평균 13%, 처리구의 경우 9%의 건물이 엽으로 분배되었고, 줄기로의 건물분배율은 대조구가 20%, 처리구는 15%으로 영양기관으로의 동화산물의 분배가 처리구에서 낮았다(Fig. 3). 대조구의 착과수와 과실의 비대에 따라 생육 후반기에 대조구의 평균 동화산물의 분배율은 66%인 반면 HPS 처리구는 76%로 매우 높게 유지하는 경향을 나타냈다(Fig. 3). 과실로의 건물분배율의 증가는 과실의 크기와 착과수의 증가에서 비롯하기 때문에(Huevelink, 1996) 결국 HPS 처리는 착과수를 증가로 인한 과실의 sink strength를 증가시켜 건물분배율을 증가시켰다고 할 수 있다. 이는 인공광원의 처리가 엽과 줄기의 건물분배율은 낮지만 과실로의 건물분배율을 더 높아지게 하였다는 Hao and Paadopoulos(1999)의 보고



**Fig. 2.** Effects of the high pressure sodium lamps (HPS) lighting on the fruit volume (A), fresh weight (B), and dry matter content (C) of sweet pepper. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means (n = 50).

와 일치하였다.

단위면적당 각 기관별 건물 증가량과 총건물물의 증가량은 지수선형함수의 매개변수  $r_m$ ,  $c_m$ ,  $t_b$ 로 측정된 변량의 98%



**Fig. 3.** Dynamics of the fraction of dry matter partitioned into leaves (A), stems (B), and fruits (C) of sweet pepper plant grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamps lighting. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means ( $n = 5$ ).

**Table 3.** Estimated parameters of exponential growth function for leaf dry mass (LDM), stem dry mass (SDM, including petiole), fruit dry mass (including flower, FDM) and total dry mass (TDM) of sweet pepper grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamps.

Parameters <sup>z</sup>	Treatment	LDM	SDM	FDM	TDM
$r_m$ ( $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ )	CON	0.401 ± 3.924 <sup>y</sup>	0.036 ± 0.010	0.075 ± 0.069	0.043 ± 0.014
	HPS	0.140 ± 0.214	0.023 ± 0.005	0.034 ± 0.011	0.029 ± 0.007
$c_m$ ( $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )	CON	1.038 ± 0.043	1.799 ± 0.166	5.245 ± 0.577	8.525 ± 0.836
	HPS	1.231 ± 0.060	3.142 ± 0.688	16.019 ± 3.838	20.763 ± 4.496
$t_b$ (d)	CON	-5.003 ± 4.838	33.063 ± 11.609	50.748 ± 10.825	45.378 ± 11.061
	HPS	2.162 ± 5.877	83.245 ± 26.461	100.713 ± 21.873	94.207 ± 22.113

<sup>z</sup> $r_m$ , maximum relative growth rate;  $c_m$ , maximum growth rate;  $t_b$ , lost time to reach a linear phase.

<sup>y</sup>SE is standard errors of parameter.

이상 설명할 수 있었다(Fig. 4). HPS 처리는 최대상대생장율,  $r_m$ 과 손실일수,  $t_b$ 를 낮아지게 하였고, 최대절대생장율,  $c_m$ 의 경우 엽은 18.6%, 줄기는 74.7%, 과일은 143.5% 증가되었다(Table 3). HPS 처리에 의해 최대상대생장율이 낮아지고 지수성장에서 선형성장으로 전환시기의 손실일수가 높아진 이유는 대조구의 생육량의 증가율이 낮아 생육 초기부터 선형적인 성장을 나타냈기 때문이다. 또한 지수선형함수의  $t_b$ 는 부의 상관 관계를 나타내었는데 이는 Goudriaan and Monteith(1990)의 연구 결과와 일치하였다.

군락에 의한 누적 수광량 대비 총건물중, 엽과 줄기의 건물중 및 과실의 누적 건물중을 각각 선형 회귀 분석하여 그 기울기인 광이용효율(light use efficiency, LUE,  $g \cdot MJ^{-1}$ )을 Fig. 5에 나타냈다. HPS 처리구와 대조구 모두 누적 수광량 대비 건물 생산은 선형적인 관계를 보였으며, 단위 수광량 당 총건물중의 증가는 HPS 처리구가 대조구에 비해 28% 증가하였다(Fig. 5A). 본 연구에서는 영양생장기관인 엽과 줄기의 LUE는 처리구와 대조구의 차이가 없었으나(Fig. 5B), 과실의 생산에 대한 LUE는 처리구가 대조구에 비해 49.7% 높게 나타났다(Fig. 5C). 이는 동화산물의 이동이 과실로 더 높은 비율로 분배되었고, Lee and Cha(2009)의 파프리카 착과에 따라 광합성 효율이 높아졌다는 연구에 의한 것과 유사하였다. HPS 처리구의 착과량이 많아 대조구에 비해 sink strength가 높으며, 처리구는 대조구에 비해 엽과 식물 전체 광합성량이 더 높았을 것으로 사료된다. Hall(1977)은 착과된 식물체가 그렇지 않은 식물체보다 높은 순광합성을 보였다고 하였으며, Clough et al.(1981)의 보고에 의하면 콩 꼬투리 수가 많은 쪽이 높은 광합성량을 보였다고 하였다. 동일한 광 조건에서의 높은 광합성량은 동화산물의 생산량이 높아 파프리카의 과실 착과를 촉진시켰으며, 식물체의 sink strength를 높여주었다. 엽과 줄기의 LUE는 처리간의 큰 차이가 없었지만, 처리구의 과일의 개수의 증가에 따른 높은 동화산물의 요구도는 높은 광합성량을 나타냈

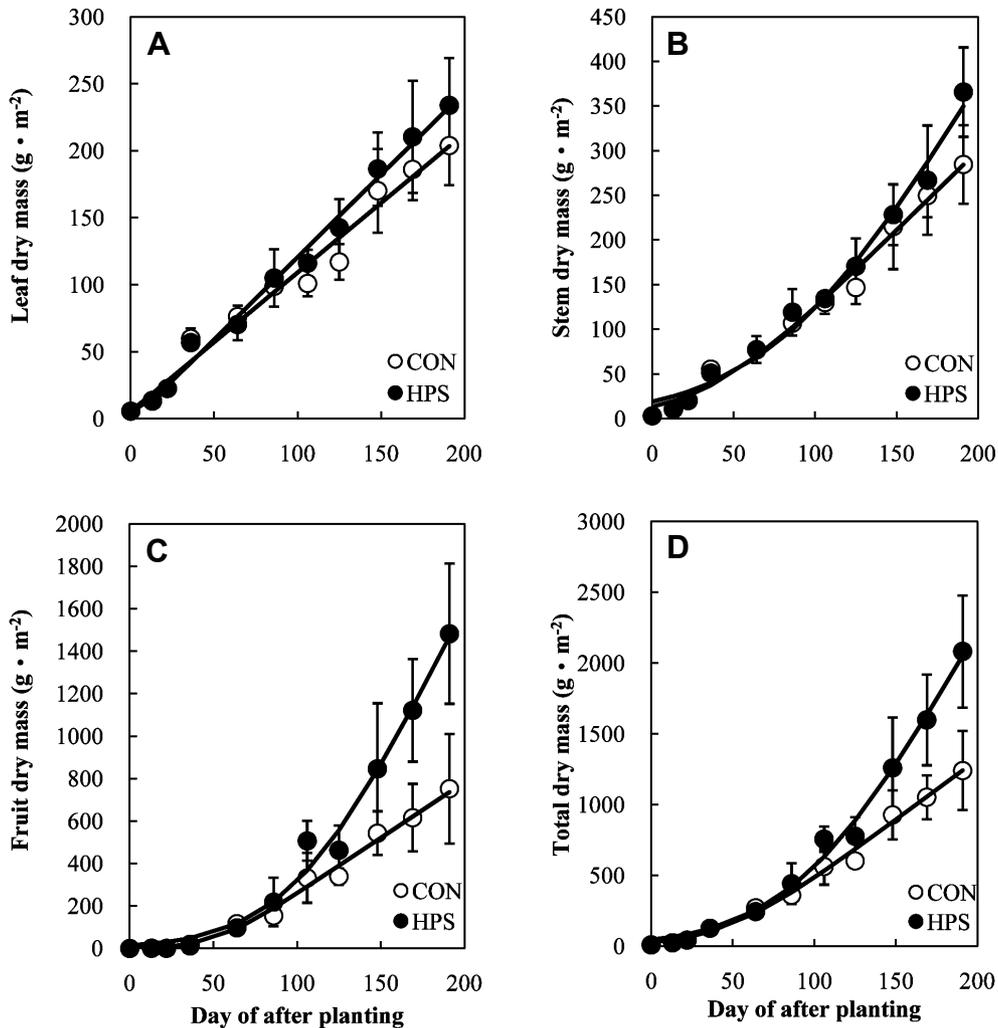


Fig. 4. Leaf (A), stem included petioles (B), fruits included flower buds (C), and total dry mass (D) of sweet pepper crop grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamps lighting. Solid lines were fitted measurement data by exponential growth function. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means ( $n = 5$ ).

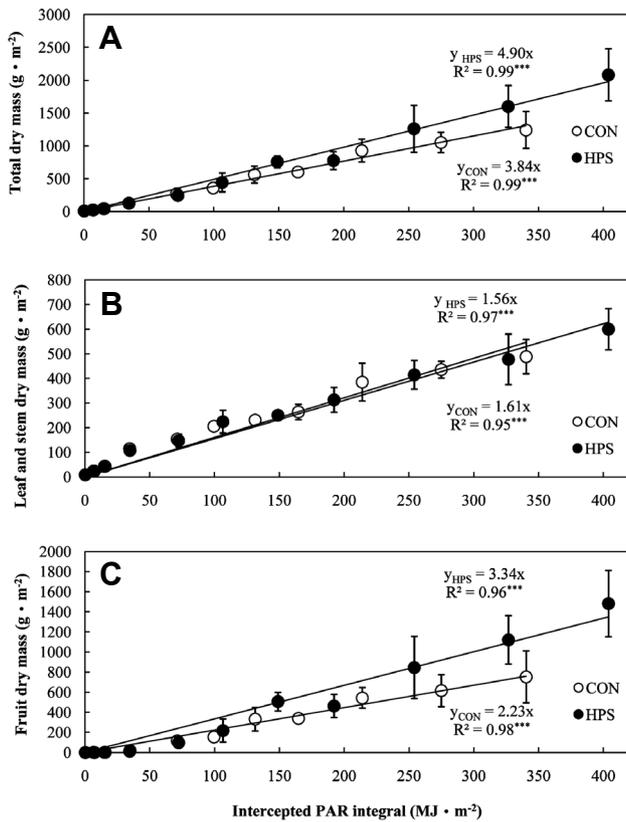
며, 이는 처리구의 LUE를 증가시켰을 것으로 사료된다. 가을부터 봄으로 이어지는 작형에서 본 실험을 수행하였지만, Marcelis et al.(2004)에 의하면 저광환경 하에서 파프리카의 낙화와 낙과율을 증가되어진다고 보고하였고, 반면 Kim et al.(2011)은 일조량이 부족한 기간의 보광효과는 크다고 하였기에 계절에 상관없이 광 환경이 좋지 않는 시기에 보광은 낙화율과 낙과율을 감소시켜 과실로의 동화산물의 분배율과 광이용효율을 증가시켜 줄 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 외부 광도와 독립적으로 HPS를 조사하여 생육반응을 구명하였으나, 외부 광도에 따른 보광량 및 조사 시간의 최적화 및 경제적인 효과에 대한 분석이 필요하다. 하지만 외부 조건에 따른 인공광도와 광량 및 온도의 최적화에 관한 연구는 제한된 기간과 공간, 노동력 및 자본의 투자가 매우 높기 때문에 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 온실작물 시뮬레이션 모델은 매우 유

용하게 사용된다. Lee et al.(2002)은 Heuvelink(1996)의 모델을 이용하여 절화국화의 성장량을 검증하였고, 이를 근거로 인공광원의 광도에 따른 기간별 적정 절화국화의 재식밀도를 시뮬레이션으로 추정하였다. 결과적으로 본 실험에서 얻은 기상자료와 동적 성장량, 엽면적지수와 기간별 건물분배율은 온실작물성장모델의 입력자료로 모델의 검증에 기초자료로 활용될 것이며, 인공광원의 최적화를 위한 추가적인 연구에 중요한 자료로 활용될 것이다.

## 초 록

본 연구의 목적은 고압나트륨등 광원(HPS)을 조사하여 파프리카의 동적생장과 기간별 건물분배율 및 광이용효율에 미치는 효과를 구명하고자 수행하였다. 파프리카 육묘는 2010년 9월 29일에  $m^2$ 당 3.75주를 정식하여 2010년 12월



**Fig. 5.** Linear relationship between intercepted photosynthetically active radiation (PAR) integral and total total dry mass (A), leaf and stem dry mass (B), and fruit dry mass (C) of sweet pepper crop grown with (HPS) and without (CON) high pressure sodium lamp lighting. Vertical bars indicate the standard deviation of the sample means (n = 5).

14일부터 HPS 광원을 실험종료일까지 하루 16시간 조사하였다. HPS 처리는 엽수를 증가시켰으나, 절간수와 엽면적에는 미비한 영향을 미쳤다. HPS 처리구의 초장은 대조구에 비해 짧았으나, 줄기당 착과수의 증가를 나타냈다. 줄기와 과실 및 총건물중은 HPS 처리구가 대조구보다 각각 28.5%, 97.1%, 67.8%를 증가시켰다. 총 건물중의 증가율 대비 엽과 줄기 생산율을 비율로 나타낸 각 기관의 건물분배율은 생육 초기에 45-47%로 동일하다가 과실의 생장이 시작되는 시점에서 급격히 감소하였다. 영양생장기관으로의 건물분배율은 대조구에서 HPS 처리구보다 4% 높았다. 과실로의 평균 건물분배율을 HPS 처리구에서 대조구에 비해 14.2% 증가하였다. 동적성장률은 지수선형함수의 최대상대성장율, 최대 절대성장율 및 손실일수로 잘 묘사할 수 있었다. 대조구에 비해 처리구의 엽의 최대절대성장율은 18.6%, 줄기는 74.7%, 과실은 143.5%가 증가하는 것으로 추정되었다. 총 건물중에 대한 광이용효율(LUE)은 HPS 처리구에서  $4.90\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 로 대조구의  $3.84\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$  높았으며, 영양생장기관의 LUE는 HPS 처리구가  $1.56\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 로 대조구의  $1.61\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 보다 약간 낮았

으며, 과실 생산에 대한 LUE는 처리구가  $3.34\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 로 대조구  $2.23\text{g}\cdot\text{MJ}^{-1}$ 보다 49.8% 증가하였다. 처리간 총 건물중의 LUE의 차이는 HPS 처리구의 과실생산에 대한 LUE가 높았기 때문에 발생되었다.

**추가 주요어 :** 건물분배율, 지수선형함수, 광이용효율

## 인용문헌

- Clough, J.M., M.M. Peet, and P.J. Kramer. 1981. Effects of high atmospheric CO<sub>2</sub> and sink size on rates of photosynthesis of a soybean cultivar. *Plant Physiol.* 67:1007-1010.
- Dorais, M. 2003. The use of supplemental lighting for vegetable crop production: Light intensity, crop response, nutrition, crop management, cultural practices. Canadian Greenhouse Conf., Toronto, Ontario, 9 Oct. 2003. <http://www.agrireseau.qc.ca/legumesdeserre/documents/cgc-dorais2003fin2.pdf>.
- Goudriaan, J. and J.L. Monteith. 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Ann. Bot.* 66:695-701.
- Goudriaan, J. 1994. Using the expolinear growth equation to analyse resource capture, p. 99-110. In: J.L. Monteith, R.K. Scott, and M.H. Unsworth (eds.). Resource capture by crops. Nottingham University Press, Loughborough, Leicestershire, UK.
- Goudriaan, J. and H.H. Van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Hall, A.J. 1977. Assimilate source-sink relationships in *Capsicum annum* L. I. The dynamics of growth in fruiting and deflorated Plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 4:623-636.
- Hao, X. and A.P. Papadopoulos. 1999. Effects of supplemental lighting and cover materials on growth, photosynthesis, biomass partitioning, early yield and quality of greenhouse cucumber. *Sci. Hort.* 80:1-18.
- Heuvelink, E. 1995. Dry matter production in a tomato crop : Measurements and simulation. *Ann. Bot.* 75:369-379.
- Heuvelink, E., 1996. Dry matter partitioning in tomato: Validation of dynamic simulation model. *Ann. Bot.* 77:71-80.
- Heuvelink, E. and H. Challa. 1989. Dynamic optimization of artificial lighting in greenhouse. *Acta Hort.* 260:401-402.
- Heuvelink, E. and O. Körner. 2001. Parthenocarpic fruit growth reduces yield fluctuation and blossom-end rot in sweet pepper. *Ann. Bot.* 88:69-74.
- Hovi-Pekkanen, T. and R. Tahvonen. 2008. Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. *Sci. Hort.* 116:152-161.
- Jeong, W.J., D.J. Myung, and J.H. Lee. 2009. Comparison of climatic conditions of sweet pepper's greenhouse between Korea and the Netherlands. *J. Bio. Environ. Con.* 18:244-252.
- Korea Agricultural Trade Information (KATI). 2011. The state of paprika industry in Korea. Korea Agro-Fisheries Trade Corporation, Seoul, Korea.
- Kim, Y.B., J.H. Bae, and M.H. Park. 2011. 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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29:317-325.
- Lee, J.H. 2002. Analysis and simulation of growth and yield of cut chrysanthemum. PhD Diss. Wageningen Univ., Wageningen, Netherland.
- Lee, J.H., E. Heuvelink, and H. Challa. 2002. A simulation study on the interactive effects of radiation and plant density on growth of cut chrysanthemum. *Acta Hort.* 593:151-157.
- Lee, J.H., J. Goundriaan, and H. Challa. 2003. Using the exponential growth equation for modeling crop growth in year-round cut chrysanthemum. *Ann. Bot.* 92:697-708.
- Lee, J.H. and J.C. Cha. 2009. Effect of remove flowers on dry mass production and photosynthetic efficiency of sweet pepper cultivars 'Derby' and 'Cupra'. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:587-590.
- Lieth, J.H. and C.C. Pasian. 1991. A simulation model for the growth and development of flowering rose shoots. *Sci. Hort.* 46:109-128.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L.R. Baan Horfman-Eijer, J.D. Bakker, and L.B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *J. Exp. Bot.* 55:2261-2268.
- Marcelis, L.F.M., A. Elings, M.J. Bakker, E. Brajeul, J.A. Dieleman, P.H.B. de visser, and E. Heuvelink. 2006. Modelling dry matter production and partitioning in sweet pepper. *Acta Hort.* 718: 121-128.