

## 광주기 단축이 토마토와 고추 묘의 생장 및 무기양분흡수와 탄소대사에 미치는 영향

지 성 한

호남대학교 환경원예학과

### Effect of Photoperiod Shortening on the Nutrient Uptake and Carbon Metabolism of Tomato and Hot Pepper Seedlings Grown Hydroponically

Chi, Sung-Han

Dept. of Environ. Hort., Honam University Kwangju 506-090, Korea

**Abstract.** Tomato (*Lycopersicon esculentum* M. cv. 'Momotarou') and hot pepper seedlings (*Capsicum annuum* L. cv. 'Nockkwang') were grown under the 24h photoperiod (12 hrs light period: 12 hrs dark period) and 6 h photoperiod (3 hrs light period: 3hrs dark period). As a result of this experiment, the following details were observed. Plant height, leaf area, total dry weight, and leaf chlorophyll content decreased in case of tomato seedlings when they were given 6 h photoperiod. But the same effect was not observed in case of hot pepper seedlings. The photoperiod, however, did not produce any significant effect on the uptake of N, P, K, Mg and Ca ions in their nutrient solutions with the exception of their Fe. On the 10th day of treatment, leaf chlorosis started to become visible in tomato seedlings and at the same time the uptake of Fe went down when the 6h photoperiod was applied to both tomato and hot pepper seedlings. In addition to this phenomenon, the sucrose content in leaf increased in case of tomato plants which were treated with 6 h photoperiod; on the other hand, their glucose content was observed to have decreased.

**Key words :** artificial light, chlorophyll, leaf chlorosis

## 서 언

자연환경에 구애받지 않고 폐쇄된 공간 내에서 식물을 주년 계획 생산할 수 있는 식물공장은 21세기의 식량문제 해결과 우주선시대의 신농법 전개 등의 시대적 요청에 따라 국내외적으로 큰 주목을 받고 있다. 완전 제어형 식물공장의 연구 과제는 단기간에 최대생장에 도달할 수 있도록 최적생육 환경을 제공하여 생산성을 극대화시키는 방안과 합리적 경영화를 위한 생산비용절감을 들 수 있다. 전자를 위해서는 작물별 지상부 및 지하부의 환경요인, 즉, 광, CO<sub>2</sub>, 온도, 습도, 양·수분, O<sub>2</sub> 등의 적정조건 규명 및 제어 기술확립이 요구된다. 그 중에서도 인공광원을 이용하는 식물공장에 있어서 광환경에 관한 연구는 매우 중요하다. 일반적인 광요인으로서는 광강도, 광질, 일장 및 광주기등

을 들 수 있는데 이중 광강도(Ikeda 등, 1988), 광질(Fukuda 등, 1993) 및 일장(Lou 와 Kato, 1988)에 관해서는 활발한 연구가 이루어지고 있으나 광주기에 관한 연구는 매우 적은 실정이다.

일반적으로 식물공장의 재배 및 시험연구는 자연광과 동일한 24시간 광주기로 이루어지고 있는데 만일 명암주기의 단축에 의해 식물생육이 촉진된다면 총 광량은 변하지 않기 때문에 전력비의 큰 상승 없이 수량 증대가 가능 할 것으로 기대된다. 광주기성에 관해서는 인공광을 이용한 작물의 효율적 생산을 목적으로 연속조명(Ikeda 등, 1988), 시간단위(Morimi 등, 1991), 분 단위(Hayashi 등, 1993), 초단위로 부터 밀리초단위(Ito, 1989)에 대해 검토해 왔다.

그러나, 지금까지 광주기 단축에 관한 연구결과와는 공시작물이나 처리내용과 재배방법 등에 따라 차이가

있는 것으로 나타나, 칼라디움(Ogasawa 등, 1989)과 감자소식물체(Hayashi 등, 1993)에서는 생산량이 증대되었고, 상추(Ishii 등, 1995)의 건물중은 크게 감소되었다. 또한, 토마토(Chi 등, 1998)에서는 6시간 광주기 단축에 의해 토마토 묘의 엽중 엽록소 함량은 처리후 5일부터 감소하여 처리후 20일에는 어린잎에 약한 황화 현상이 나타나 광주기 단축에 의한 생장저하와 밀접한 관계가 있는 것으로 추정되었다. 일반적으로 과채류 묘의 엽중 엽록소 함량 저하는 무기 양분 결핍과 관련이 있으며, -DIF(주아온도차)조건하(Park 등, 1996)에서와 저온 스트레스(Schaffer 등, 1991)에 의해서도 나타날 수 있다. 한편 광 환경과 관련된 보고로는 연속조명 하에서 토마토묘의 엽중 sucrose 축적에 따른 황화 현상(Logendra 등, 1990)과 광강도 증가에 따른 양분흡수부족에 의한 엽록소 감소(Cakmak 등, 1994; Lavon 등, 1995)등이 있다.

본 연구에서는 광주기 단축에 의해 나타나는 과채류 묘의 생장저하의 원인을 구명하기 위해 인공생육상내의 담액수경 방식하에서 24시간과 6시간 광주기 처리 기간 동안 토마토와 고추묘의 무기양분 흡수 정도와 엽중 탄소대사에 관해 검토하였다.

## 재료 및 방법

본 실험은 환경조건을 동일하게 설정한 인공생육상(growth chamber, Hanback 301)내에서 실시하였다. 즉, 주야간 온도와 상대습도는 각각 25/20°C와 70%로 하였고, 메탈할로이드 램프 (250W) 1개와 식물육성용 형광등(40W) 8개를 설치하여 식물체상부의 광량은  $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이 되도록 조절하였다. 광주기는 명기와 암기의 비율을 1:1 기준으로 한 24시간 주기(명기 12시간 : 암기 12시간, 이하 24 h로 함)와 같은 명암시간 비율로 광주기를 6시간 주기(명기 3시간 : 암기 3시간, 이하 6 h)를 설정하였다.

공시품종은 토마토 ‘모모타로우’와 고추 ‘녹광’으로 하였으며, 이들 종자를 버미큘라이트에 피종한 후 24시간 광주기로 설정된 인공생육상내에서 발아 시켰다. 발아후 자엽이 완전히 전개하고 본엽이 보이기 시작했을 때 뿌리를 증류수로 씻은 후 원시균형양액의 1/4농도( $\text{EC } 0.7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )로 조성한 담액수경용기( $22 \times 30 \times 10 \text{ cm}$ )에 이식하여 1주일간 양액 육묘하였다. 피종후

20일 토마토와 고추의 본엽이 2장 전개되었을 때 원시균형양액 1/2농도( $\text{EC } 1.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\text{pH } 6.0$ ) 200 mL를 채운 용기에 1주씩 정식 한 후 토마토와 고추 각각 처리별로 15주씩 난괴법으로 배치하였다. 정식후 5일 간격으로 각 처리 및 작물별로 3주씩 식물체를 채취하여 엽수, 초장, 경경(자엽과 제1엽사이)을 조사하였으며, 최대엽의 상대 엽록소 함량(SPAD-502, Minolta)을 측정하였다.

양액은 5일 간격으로 교환하였고 처리후 10일부터는 흡수량이 많은 토마토 용기에 증류수를 보충하여 100 mL 이상이 유지되도록 관리 하였다. 양액 교환시 흡수량을 조사한 후 남은 양액에 증류수로 200 mL가 되게 채워 EC와 pH를 조사하고 양액 sample을 채취한 후 무기성분을 분석하였다.  $\text{NO}_3^-$ 와 P는 UV Spectrophotometer(UV-1201, Shimadzu)로 K, Ca, Fe는 원자흡광분광 광도계(AA 6400, Shimadzu)로 분석하였다. 기본 생육조사를 끝낸 식물체는 지상부와 지하부로 분리한 후 각 기관의 생체중을 잰 후 엽면적계(GA-5, Tokyo)로 엽면적을 측정하고 75°C의 송풍건조기에서 48시간 말린 후 건물중을 조사하였다.

황화 현상이 진전된 처리후 20일에 토마토와 고추의 잎을 채취하여 가용성당을 분석하였다. 시료 1 g을 증류수 10 mL에 넣어 혼합하고 homogenizer로 균질화한후 초음파세포파쇄기(Branson Sonifier 250)로 조직을 분쇄하였다.  $0.45 \mu\text{m}$  membrane syringe filter로 여과한후 HPLC(Young-Lin M930)로 sucrose, glucose 및 fructose를 분석하였다. 사용한 column은 Alltech 700 CH carbohydrate analysis column이었고, detector는 Waters 410 differential refractometer이었다. 시료 주입량은 0.5 mL, column heater 온도는 90°C이었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생장 반응

토마토의 초장은 6h 처리구가 24h에 비해 20% 짧았으나, 고추에서는 광주기의 영향을 받지 않았다(Table 1). 또한, 잎, 뿌리 및 전체 건물중에서도 토마토는 광주기 단축에 의해 17~21% 감소한 반면, 고추의 각 기관별 건물중은 약간 감소하는 경향을 보였으나 통계적 유의치는 인정되지 않았다. 한편, 엽면적과 엽중 엽록소 함량은 두 작물 모두 광주기의 영향

**Table 1.** Effect of the photoperiod shortening on the plant height, each organ's dry weight, leaf area and leaf chlorophyll content of tomato and hot pepper seedlings grown in hydroponically.<sup>z</sup>

	Photoperiod	Plant height (cm)	Dry weight				Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf chlorophyll content <sup>y</sup>
			Leaf	Stem	Root	Total		
Tomato	24 h	18.2a	0.73a	0.25a	0.23a	1.21a	223a	37.5ab <sup>x</sup>
	6 h	16.0b	0.58b	0.20a	0.19b	0.97b	162b	20.0c
Pepper	24 h	11.3a	0.34a	0.13a	0.09a	0.56a	130a	41.9a
	6 h	10.1a	0.28a	0.11a	0.08a	0.47a	106a	34.6b

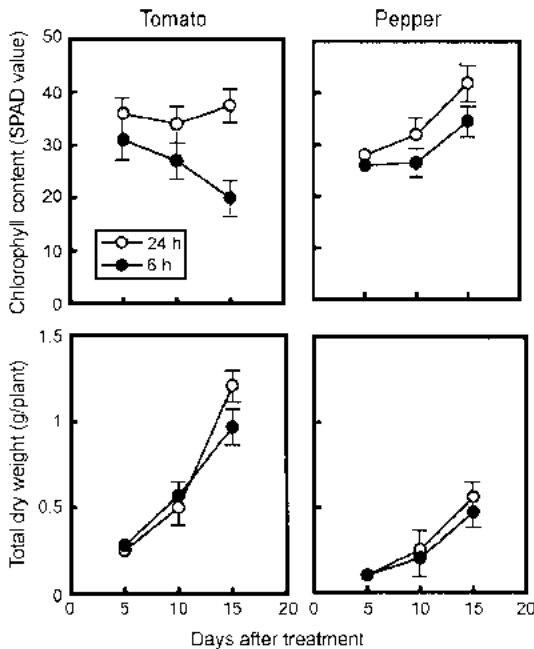
<sup>z</sup>All data were obtained 15 days after treatments.

<sup>y</sup>Values represent chlorophyll content of the largest leaf of each crop measured by chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta).

<sup>x</sup>Mean separation within columns by DMRT,  $p=0.05$ .

을 크게 받아 6h 처리구에서 엽면적은 18~27%, 엽록소 함량은 17~47%가 감소 하였다. 이와 같이 광주기의 영향은 고추에 비해 토마토에서 더욱 민감하게 반응하였으며, 처리간 차이는 엽중 엽록소 함량에서 가장 현저하게 나타났다. 이같은 결과는 광주기 단축에 의해 과채류 묘의 성장과 엽중 엽록소 함량이 저하한다는 Chi 등(1998)의 보고와 일치하는 것이다. 특히 토마토의 엽중 엽록소 함량과 건물중의 경시적 변화를

보면(Fig. 1), 6h 처리구에서 엽록소 함량의 감소속도는 처리후 15일에서 빨라졌으며, 총건물중의 경우는 처리후 10일까지는 24h 보다 오히려 약간 높은 경향이 있었으나 15일에 24h 처리구의 증가속도를 따라가지 못하는 것으로 나타났다. 결국, 처리 후 20일에는 6h 처리구 토마토의 중상위 엽에서 상당히 진전된 황화 현상이 관찰되었다(그림생략). 토마토에 비해 광주기에 둔감한 고추의 엽록소 함량도 6h에서 낮았으나 두 처리구 모두 시간의 경과와 함께 증가하여 토마토와는 다른 반응을 보였다.



**Fig. 1.** Changes in leaf chlorophyll content and total dry weight of tomato and hot pepper seedlings as influenced by photoperiods. 24 h(12 hrs light period : 12 hrs dark period), 6 h(3 hrs light period : 3 hrs dark period). Vertical bars represent standard errors.

## 2. 양액의 EC, pH 및 흡수량

광주기 단축에 의한 토마토 잎의 황화 현상이 일차적으로는 무기양분의 흡수 제한과 관련이 있을 것으로 생각되어 담액수경 방식하에서 재배한 결과 양액의 EC, pH 및 흡수량에 미치는 광주기의 영향은 엽록소 함량이 현저히 감소하였던 처리후 15일에 나타났다(Fig. 2). 5일 간격으로 조사한 양액의 EC는 시간이 경과 할수록 급격히 감소하는 경향이 나타났으나, 처리간 큰 차이는 없었다. 이 같은 EC의 감소는 고추에 비해 토마토에서 더욱 심했는데 이는 성장량의 차이 때문으로 생각되며 특히 24h 토마토에서 처리후 15일에는 EC가 0.1 dS·m<sup>-1</sup> 가까이 저하하여 양액중의 무기이온이 거의 다 흡수 되었음을 알 수 있었다. 또한 두 작물 모두 처리후 10일 까지는 6h 처리구가 약간 낮았으나, 15일에서는 반대의 결과가 나타났다. EC의 급격한 저하와는 다르게 pH는 완만하게 증가하여 7~8.3 범위로 높게 나타났으며 처리간 차이는 거의 없었으나, 15일에는 두 작물 모두 24h 처리구가 6h에 비해 약간 높은 경향을 나타냈다. 1일 양액 흡수량은

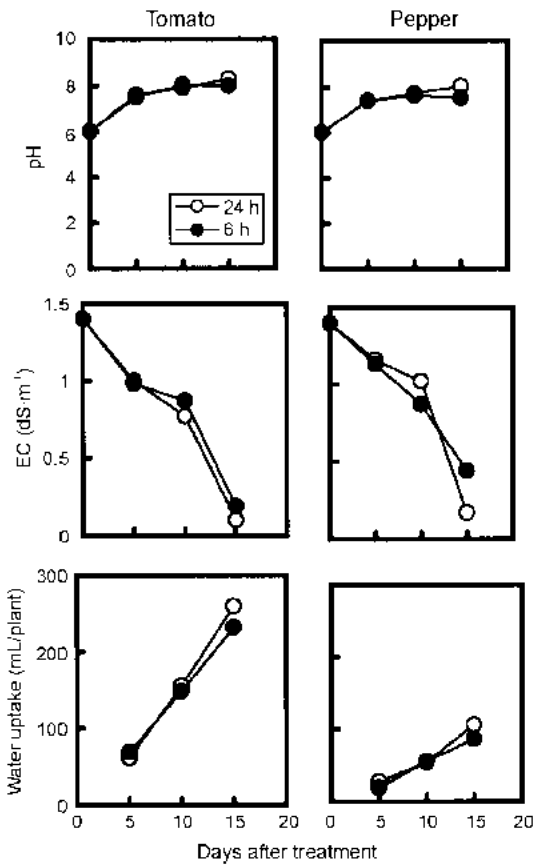


Fig. 2. Changes in EC, pH of nutrient solution and water uptake of tomato and hot pepper seedlings as influenced by photoperiods. 24 h(12 hrs light period : 12 hrs dark period), 6 h(3 hrs light period : 3 hrs dark period). Bars represent standard error.

처리후 15일에 토마토에서 엽중 엽록소 함량 및 생장량이 감소한 6h 처리구에서 적게 나타는 경향이 있었을 뿐 전체적으로 광주기 단축의 영향은 없었다.

### 3. 무기 양분 흡수

Fig. 3에 광주기 처리기간중 5일 간격으로 조사한 무기양분의 흡수량을 나타냈다. 모든 무기 양분의 흡수량은 처리 시간이 경과 함에 따라 증가하였다. 엽중 엽록소 함량은 N 흡수와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으나, 본 실험에서는 N 원으로 질산태질소( $\text{NO}_3^-$ )를 대부분 공급하였는데 질산태질소흡수에 있어서 두 작물 모두 처리간의 흡수량 차이는 인정되지 않았다. 또한, N 결핍은 주로 하엽에서 먼저 나타나는 데 본 실험에서 엽록소함량이 감소한 부위가 중상위엽

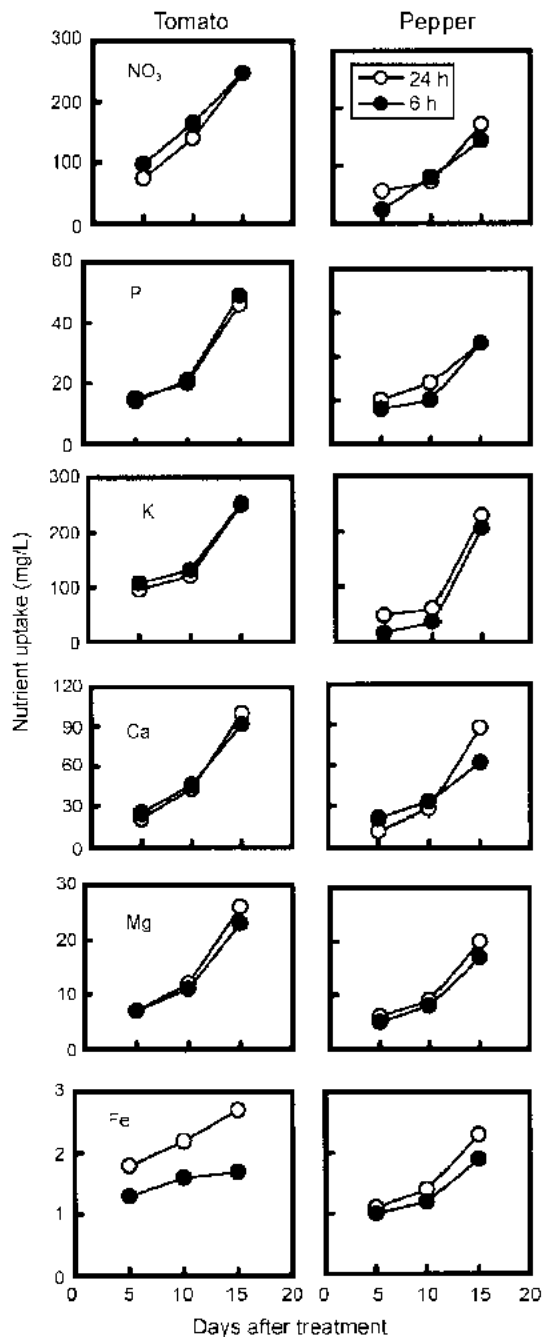


Fig. 3. Changes in nutrient uptake of tomato and hot pepper seedlings as influenced by photoperiods.

이러는 점을 고려할 때 본 실험에서 나타난 황화 현상의 원인은 N 결핍과는 관계가 없는 것으로 판단되었다.

한편, 고추의 처리 후 10일을 제외하면 두 작물 모

두 P 흡수량은 광주기의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Murage 등(1996a)은 가지의 광주기실험에서 K, Mg 및 Ca 결핍이 엽중 엽록소 함량 저하의 직접적인 원인이 아니라고 했는데, 본 실험에서도 처리후 15일 고추의 6h 처리구에서 Ca 흡수가 적었던 것을 제외하고는 광주기에 의한 K, Mg 및 Ca의 흡수는 차이가 없었다. 그러나, Fe 흡수량은 처리후 10일부터 토마토와 고추 모두 광주기의 영향을 크게 받았다. 특히 24 h 처리구에 비해 엽중 엽록소 함량이 낮았던 6h 처리구에서 Fe 흡수량이 적었다. 이러한 결과는 처리후 일수와 작물에 따라서도 민감하게 나타나 토마토의 경우 엽중 엽록소 함량의 차이가 컸던 처리후 15일에 광주기 Fe 흡수량 차이는 현저하였다. 따라서 광주기 단축에 의한 엽중 엽록소 함량 저하 및 황화 현상은 Fe 흡수량부족과 관련이 있는 것으로 생각되었다.

#### 4. 엽중 탄소 대사

인공광 실험에서 토마토 잎의 황화 현상과 함께 sucrose 함량이 증가했다는 Logendra 등(1990)의 연구 결과를 토대로 엽중 탄소성분함량을 조사한 결과를

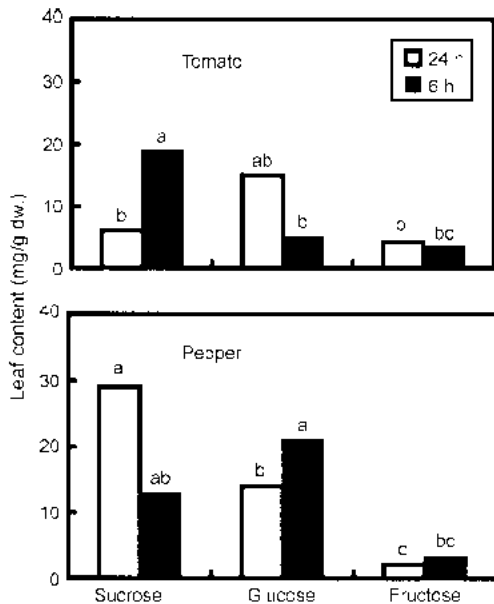


Fig. 4. Effect of photoperiod shortening on the sucrose, glucose and fructose content in leaf of tomato and hot pepper seedlings. tomato and hot pepper seedlings. Samples were harvested at 15 days after treatment. Mean separation within columns by DMRT,  $p=0.05$ .

Fig. 4에 나타났다. 황화 현상이 뚜렷하게 나타난 처리후 15일에 채취한 6h 처리구 토마토의 엽중 sucrose 함량은 24h 처리구에 비해 높았으나, glucose 함량은 반대로 낮았다. 한편 황화 현상이 나타나지 않았던 고추의 경우는 광주기에 의해 엽중 sucrose 함량은 영향을 받지 않았으나, glucose는 6h 처리구에서 높게 나타나 토마토와는 다른 결과를 보였다.

또한 Demers 등(1994)은 토마토 묘에 있어서 연속광에 의해 sucrose phosphate synthase(SPS) 효소의 활성 저하와 함께 엽중 전분의 축적으로 황화 현상이 나타났지만, 고추에 있어서는 황화 현상이 나타나지 않았다고 한다. 그러나, Murage 등(1996b)에 의하면 가지를 연속광하에서 재배했을 때 황화현상이 나타난 잎의 sucrose 함량은 정상엽과 차이가 없었다고 하였다.

따라서, 본 연구에서 sucrose 함량의 차이만 가지고 광주기 단축에 의해 토마토에서 나타난 황화 현상의 원인이 연속광에 의해 나타나는 황화 현상과 동일한지는 불확실하다. 단지, 가지묘에서 암기가 9시간 보다 짧아지면 황화 현상이 나타나며, 특히 4시간 이하의 암기는 24시간 연속광과 그 효과가 같고, 처리후 10일 부터 그리고 제 2엽 보다는 3, 4엽의 어린잎에서 황화 현상이 뚜렷하다는 Murage 등(1996a)의 보고를 통해 본 실험의 6h 처리구가 비록 연속되는 명기시간은 다르지만 암기가 3시간인 점을 고려할 때 황화 현상의 원인이 연속광에서와 같이 광합성 대사산물의 축적과도 관련이 있을 것으로 생각된다.

본 실험의 결과로부터 광주기 단축에 의한 엽록소 함량저하 및 황화 현상이 Fe 흡수 부족 및 엽중 sucrose 함량과 관련이 있는 것으로 나타났지만, 그 메커니즘 규명을 위해서 광합성 대사 산물의 축적 및 전류 등과 관련된 보다 구체적인 검토가 요구된다.

#### 적 요

주야온 25/20°C, 상대습도 70%로 조절된 생육상내에서 명기 시간과 암기 시간의 비율 1:1로 일정하게 하고 광주기를 24h(명기 12시간 : 암기 12시간)와 6h(명기 3시간 : 암기 3시간)로 설정하여 토마토와 고추 묘의 양분흡수 및 탄소대사 특성을 조사하였다.

토마토에서는 처리후 15일 6h에서 건물중, 초장, 엽면적, 엽록소함량 및 수분흡수량 감소와 함께 황화현

상이 나타났으나, 고추에서는 6h에서 엽록소합량이 약간 낮았을 뿐 처리간 생장 차이는 없었다. 전체 처리 기간을 통해 NO<sub>3</sub>, P, K, Ca 및 Mg의 흡수량은 광 주기의 영향을 받지 않았으나, Fe의 흡수량은 두 작물 모두 처리후 10일부터 6h가 24h에 비해 적었다. 이러한 경향은 엽록소합량이 가장 낮았던 처리후 15일과 토마토에서 현저하게 나타났다.

한편, 엽중 sucrose 함량은 토마토의 6h에서 높았으나 glucose는 24h에서 더 높았다. 본 실험 결과는 광주기 단축에 의한 엽중 엽록소합량 저하와 황화 현상은 Fe 흡수량 부족 및 엽중 sucrose 축적과 관련이 있음을 시사해 주었다.

**주제어** : 인공광, 엽록소, 황화현상

## 인용문헌

1. Calmak, I., C. Hengeler and H. Marschner. 1994. Partitioning of shoot and root dry weight and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot.* 45:1245-1250.
2. Chi, S. H., K. B. Ann and J. I. Chang. 1998. Effect of the lighting cycle on the growth of tomato and hot pepper seedlings (in Korean). *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39(3):33-237.
3. Demers, D.A., S. Yelles, and A. Gosselin. 1994. Effect of continuous lighting on enzyme activities of leaf carbon metabolism of tomato and pepper plants. *Hort-Science* 29:250 (abstract).
4. Fukuda N., H. Ikeda and M. Nara, 1993. Effects of light quality on the uptake of water and minerals of lettuce plants grown under controlled environment (in Japanese). *J. soc. of Agr. structures, Japan.* 24(1):31-38.
5. Hayashi, M., T. Kokai, M. Tateno, K. Fujiwara and Y. Kitaya. 1993. Effects of the lighting cycle on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro* under photomixotrophic culture conditions. *Environ. Control in Biol.* 31(3):169-175.
6. Ikeda A., S. Nakayama, Y. Kitaya and K. Yabuki. 1988. Effects of photoperiod, light intensity, and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of turnip (in Japanese). *Environ. Control in Biol.* 26:113-117.
7. Ishii, M., T. Ito, T. Maruo, K. Suzuki and K. Matsuo. 1995. Plant growth and physiological characters of lettuce plants grown under artificial light of different irradiating cycles (in Japanese). *Environ. Control in Biol.* 33(2):143-149.
8. Ito, T. 1989. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions. *Acta Hort.* 260:381-389.
9. Lavon, R., E.E. Goldschmidt, R. Salomon and A. Frank. 1995. Effect of potassium, magnesium, and calcium deficiencies on carbohydrate pools and metabolism in *citrus* leaves. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120:54-58.
10. Logendra, S., J. D. Putman and J. W. Janes. 1990. The influence of light period on carbon partitioning, translocation and growth in tomato. *Scientia Hort.* 42:75-83.
11. Lou H. and Toru Kato, 1988. The physiological study on the quality of seedlings in eggplant. Effects of day-length and light intensity (in Japanese). *J. Japan. Soc. Environ. Control in Biol.* 26(2):69-78.
12. Morini, S., M. Tringi and M. Zacchini. 1991. Effects of different photoperiods on *in vitro* growth of Mr. S. 2 /5 Plum rootstock. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 25: 141-145.
13. Murage, E. P., Y. Sato and M. Masuda. 1996a. Relationship between dark period and leaf chlorosis, potassium, magnesium and calcium content of young eggplants. *Scientia Hort.* 66:9-16.
14. Murage, E.N., N. Watashiro and M. Masuda. 1996b. Leaf chlorosis and carbon metabolism of eggplant in response to continuous light and carbon dioxide. *Scientia Hort.* 67:27-37.
15. Ogasawa, N., H. Inden and T. asahira. 1989. Effect of cyclic lighting on the growth of plantlets of Caladium *in vitro* (in Japanese). *J. Japan. Soc. Hort. Sci. (Suppl. 2):*518-519.
16. Park, H.Y., K.C. Son, E.G. Gu, K.B. Lim and B.H. Kim. 1996. Effect of different day and night temperature regimes on the growth of hot pepper plug seedlings. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37(5):617-621.
17. Schaffer, A.A., H. Nerson, and E. Zamski. 1991. Premature leaf chlorosis in cucumber associated with high starch accumulation. *J. Plant Physiol.* 138:186-190.