

Development of Light-Treatment Technology for Producing Tomato Transplants of High Quality¹⁾ - Effects of End-of-day Light Treatment Affecting on the Quality of Tomato Transplants -

Lee, Gwi-Hyun

Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Abstract

To investigate the effect of red light (R) and far-red light (FR) on controlling the growth of tomato transplants, height, length of 1st internode, and stem diameter of plant were measured every 12 days during 24 days of light treatment. At the end of experiment, fresh and dry weights of roots and shoots were measured. Generally, it was shown that the height of plant was suppressed by the treatment of R and was enhanced by the treatment of FR. However, the effect of light-treatment time (10 or 20 min) on plant height was not significant. Stem diameter of the plant treated with R was greater than that of the plant treated with FR or the control. Dry weight ratio of shoot to root of the plant treated with R was smaller than that of the plant treated with FR. R was more effective than the control, which was more effective than FR, in making the transplant compact.

Key words: tomato transplants, controlling plant growth, suppressing plant height, light treatment, red light, far-red light

¹⁾ 이 논문은 1999년도 강원대학교 기성회일반공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

서 론

최근 플러그 육묘법의 도입으로 육묘 형태가 자가육묘장에서 육묘장으로부터 플러그묘를 구입하여 재배하는 형태로 바뀌고 있다. 플러그묘는 작은 셀내에서 육묘되기 때문에 밀도가 높아 웃자람 현상이 나타나기 쉽고, 또한 고온기에는 이러한 웃자람 현상이 더욱 크게 나타난다. 특히, 우리나라 시설원예에서 큰 비중을 차지하고 있는 토마토와 같은 가지과 작물은 웃자람의 가능성이 크다. 가지과 작물은 대체로 절간이 지나치게 도장하는데, 이러한 문제는 여름뿐만 아니라 겨울철의 약광하에서도 일어난다.

플러그 육묘시 가장 큰 문제가 되고 있는 도장의 방지법중 화학적 방법은 왜화제를 처리하는 것이며, 물리적인 방법으로는 부드러운 솔을 이용하여 접촉자극을 줌으로 인해 에틸렌을 발생시켜 묘를 왜화시키는 방법이다(Biddington, 1986; Jaffe, 1973). 그러나, 식물 성장억제제의 사용은 인체에 대한 유해성과 환경오

염 문제 때문에 사용이 금지되어있다(Bidinotto, 1990). 흔들어 주거나 접촉자극 처리를 해야하는 물리적 방법은 주기적으로 자주 처리해야 하기 때문에 인건비 문제가 따르고, 어린 식물체에 상처를 줄 수 있다(Bidinotto, 1990; Latimer, 1991, 1993; Latimer and Thomas, 1991). 또한, 온도치를 이용하는 초장 조절 방법은 정밀한 주야간의 온도조절이 필요하며 시기적 제한을 받는다는 단점이 있다(Erwin, 1991; Erwin and Heins, 1990).

일반적으로 식물은 주위의 광 환경에 잘 적응하면서 성장한다. 즉, 식물은 광을 잘 감지하는 식물의 눈이라고 할 수 있는 피토크롬(적색광 및 원적색광 수용체) 또는 크립토크롬(청색광 및 자외선 수용체)이라는 색소를 갖고 있어(Kinderic and Kronenberg, 1994) 광의 양, 광의 방향, 광의 질에 대한 정보를 얻으면서 성장한다. 그러므로, 자연의 태양광은 자외선, 가시광선, 적외선으로 구성되어 있으며, 각 광파장에 따라 작물의 생육 반응도 다양하게 나타난다. 이러한 식물의 수

광채인 피토크롬은 Pr 및 Pfr의 두 형태로 존재하며, 적색광(R) 또는 원적색광(FR)의 조사에 의해 서로 다른 형태로 변환하면서 식물의 생육에 직접적으로 관계한다(Kendrick and Kronenberg, 1994). 즉, 광환경은 식물의 생체중, 건물중, 초장, 엽면적 등과 같은 양적인 성장 증가와 화아형성, 발근, 줄기형성, 잎의 전개 등과 같은 형태형성에 크게 영향을 미친다(Sage, 1992; Smith, 1982). 특수한 파장대의 광이 식물체의 생육에 큰 영향을 미친다는 점에 착안하여 담배(Kasperbauer, 1971), 콩(Hunt et al., 1989), 밀(Kasperbauer and Karlen, 1986), 고추(Decoteau et al., 1990), 수박(Decoteau and Friend, 1991)과 같은 식물에 대한 광 조사 효과가 이미 연구된 바 있고, 광형태형성 제어용 인공광원으로 적색의 단색 파장을 갖는 소형의 LED를 사용한 연구(Brown et al., 1995; Okamoto et al., 1996; Yanagi et al., 1996)가 수행된 바 있다.

일몰 직후 짧은 시간(15분 이하)의 적색광 또는 원적색광 조사가 식물의 초장신장을 억제 또는 촉진시킨다고 보고된 바 있다(Decoteau et al., 1988; Kasperbauer and Karlen, 1986). 일몰 직후 15분간 적색광 조사된 수박 유묘는 원적색광 조사된 묘 및 광처리를 하지 않은 대조구에 비해 초장이 억제되었다고 보고되었으며, 이러한 결과는 식물의 성장에 미치는 광에 대한 식물의 피토크롬 반응 때문인 것으로 알려져 있다(Decoteau and Friend, 1991). 또한, 상대적으로 적색 파장대의 광이 풍부한 형광등을 일몰 직후 1시간

동안 식물에 조사함으로써 고추 묘의 생육을 억제할 수 있었으며, 이러한 일몰 후 광 조사가 묘의 도장 방지를 위한 화학적 처리방법을 대체할 수 있음이 암시된 바 있다(Graham and Decoteau, 1995). 이와 같이 식물체의 성장조절을 위해 적절한 파장대의 광을 효과적으로 이용한다면 묘 도장억제를 위한 왜화제의 오용에 따른 정식 후 생육지연을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 채소류에 왜화제를 사용함으로써 발생하는 인체에의 유해성 및 환경오염 문제를 해결할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 고온기 및 고밀도의 토마토 육묘시 발생하는 웃자람의 문제점을 해결하기 위한 기초연구로 일몰 후 광처리가 토마토묘 소질에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 광 조사장치 제작

토마토 묘의 도장억제 광처리 실험을 위한 광조사장치를 제작하였다(Fig. 1). 광조사장치는 적색 및 원적색광 조사실의 두 부분으로 분리하여 제작하였다. 적색의 단색광을 얻기 위해 8개의 적색 형광등(FL20S·R, Kumdong Lighting Co., Ltd.)의 각 각에 적색 셀로판을 부착하여 광필터로 사용하였으며, 원적색광은 4개의 백열전구(100W, Namyung Lighting Co., Ltd.) 밑에 광필터로 적색 및 청색의 셀로판을 포개어 설치함으로써 얻어졌다. 또한 백열전구로부터 발생하는

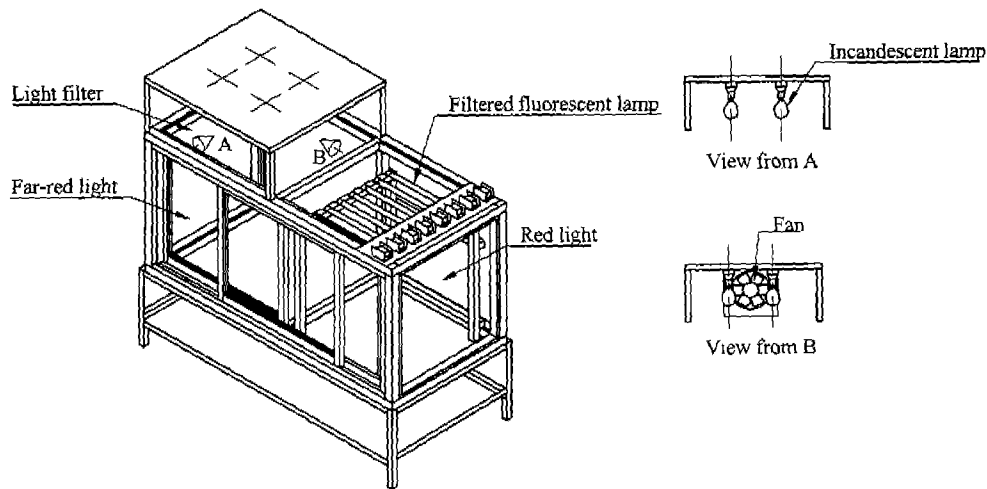


Fig. 1. Light irradiation chamber for red light and far-red light.

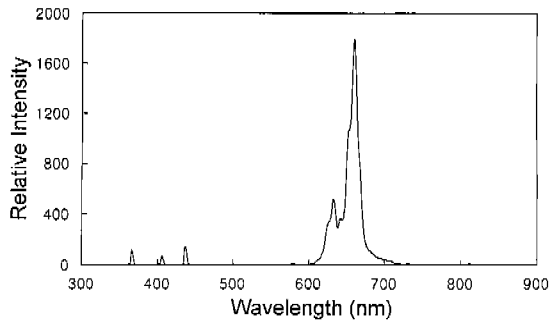


Fig. 2. Relative spectral energy distribution of red fluorescent lamps with a sheet of red cellophane filter.

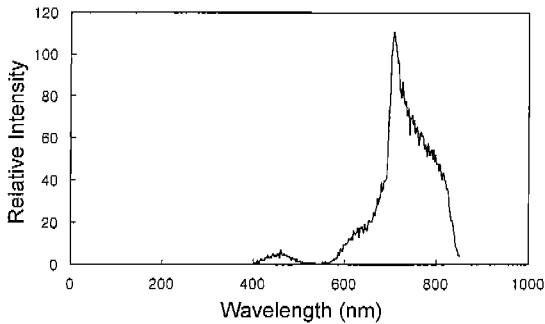


Fig. 3. Relative spectral energy distribution of incandescent lamps with a sheet of overlapped red and blue cellophane filters.

열을 제거하여 원적색광 조사장치 내의 온도를 일정하게 유지하기 위해 팬을 원적색광 조사장치의 측면에 설치하였다. 적색광 및 원적색광에 대한 스펙트럼은 300~1,100 nm 범위의 광 스펙트럼을 분석할 수 있는 PMT 광 검출기를 장착한 스펙트럼 분석기(Model 6800, Macam Photometrics Ltd, Scotland, UK)를 사용하여 분석하였으며, 광 스펙트럼 분석결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

2. 광처리

토마토 묘에 대한 광처리는 일몰(EOD: end-of-day)이 시작되는 것으로 가정된 오후 6시에 시작하였으며, 광처리 후 묘는 오전 6시부터 오후 6시까지(6:00~18:00)는 주간으로 오후 6시부터 오전 6시까지(18:00~6:00)는 야간으로 제어되는 형광등 및 고압나트륨등을 내장한 식물생장상 내에서 생육하였다. 식물생장상 및 적색광 조사실 내의 광강도(400~700 nm)는 광량자센서(LI-190SA, LI-COR)가 부착된 광도계(LI-1400,

Table 1. Light treatment conditions for investigating the growth of tomato transplants.

EOD light quality	Treatment time (min.)	Treatment code
Red	10	R1
Red	20	R2
Far-red	10	FR1
Far-red	20	FR2
None (Control)	0	Control

LI-COR, USA)를 사용하여 측정하였으며, 각각 $94.50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 및 $110 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 나타내었다. 식물생장상 내의 온도는 주간에 28°C , 야간에 25°C 로 자동 조절되게 하였다. 묘의 광처리는 일정한 광강도를 갖는 광조사장치내의 적색광 및 원적색광을 이용하여 10분 및 20분 동안 행하였다(Table 1). 광처리 동안 광조사장치 내의 적색광 처리간(10분, 20분) 또는 원적색광 처리간(10분, 20분)에 광강도의 변화는 없었다.

실험에 사용된 토마토 묘의 품종은 '광수' 및 '풍생' 2 종류였다. 각 토마토 종자는 동일한 플라스틱 포트(직경: 8 cm)에 3개씩 파종하였으며, 파종 12일 후 실험에 사용할 묘의 균일한 선별을 위해 묘 1개를 제외한 모든 묘를 제거하였다. 실험 처리구별 토마토 묘의 개체수는 6개였으며, 각 처리구의 묘는 무작위로 식물생장상 내에 배치되었다. 실험에 사용된 상토는 흥농종묘(주)의 바이오 상토 1호였으며, 상토가 마르지 않도록 1일 2회 관수 하였고, 시비는 10-4-5의 수용성인 제 4종 복합비료(중앙농자재주식회사)를 주 2회 충분히 관주하였다. 묘의 광처리는 파종 19일 후부터 24일간 계속되었다.

묘의 도장억제에 미치는 광처리 효과를 조사하기 위해 광처리 기간동안 12일 간격으로 묘의 초장, 제1절간장, 제1절간 중간부위의 줄기직경을 측정하였다. 또한, 실험 마지막 날에는 70°C 의 열풍건조기에 48시간 묘의 뿌리와 줄기를 분리 건조하여 각 건물중을 측정하였다.

결과 및 고찰

토마토 묘의 초장에 미치는 EOD(end-of-day) 광처리 효과를 Fig. 4에 나타내었다. 식물의 초장에 미치

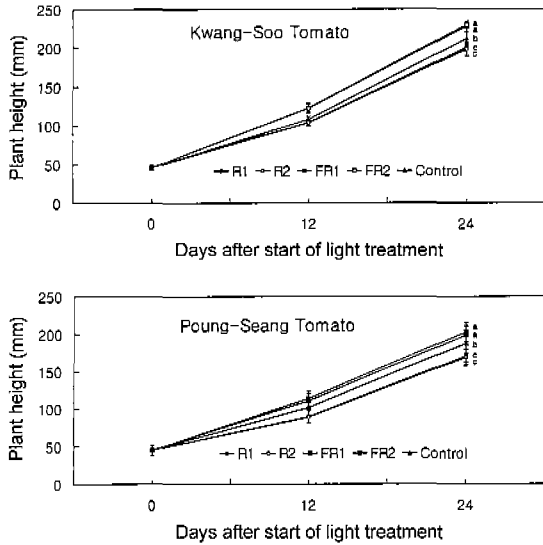


Fig. 4. Effect of end-of-day (EOD) light treatment on plant height. Vertical bars represent \pm SE, n=6. Data points followed by different letters are based on Duncan's Multiple range test, 5% level.

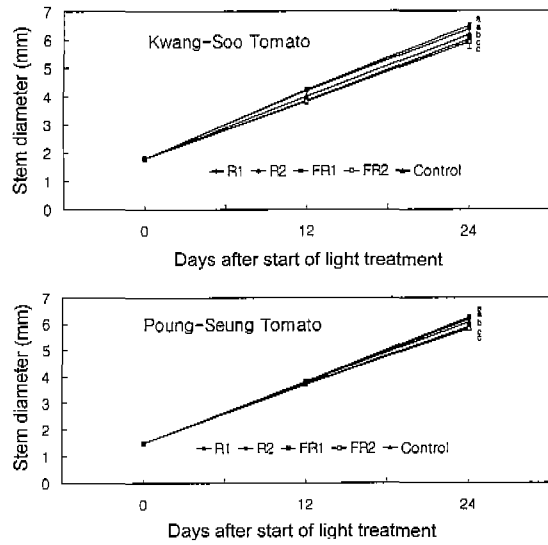


Fig. 5. Effect of end-of-day (EOD) light treatment on stem diameter. Vertical bars represent \pm SE, n=6. Data points followed by different letters are based on Duncan's Multiple range test, 5% level.

는 광질간의 유의차는 큰 것으로 나타났다. 적색과장대의 광처리는 식물의 초장을 억제시키는 것으로 나타났고, 원적색 과장대의 광은 식물의 초장신장을 촉진하는 결과를 보였다. 적색 및 원적색광 처리가 식물의 초장에 미치는 효과에 있어 광처리 시간(10분 또는 20분)간에는 유의차가 없었으나, 적색광의 경우 20분의 광처리 시간이 10분의 광처리 시간 보다 식물의 초장신장을 약간 억제시키는 것으로 나타났으며, 원적색광의 경우는 20분이 10분의 광처리 시간보다 약간 식물의 초장신장을 촉진시키는 것으로 나타났다. 또한, 광처리를 하지 않았을 경우는 적색 및 원적색광 처리된 식물의 중간정도의 초장을 나타내었다. 이러한 결과는 적색광 처리가 과당식물의 줄기신장을 억제하고, 원적색광 처리는 줄기신장을 촉진시킨다는 보고와 일치하며 (Decoteau and Friend, 1991), 적색 과장대의 광이 풍부한 형광등을 사용하여 광처리한 고추묘의 초장이 광처리를 하지 않은 대조구에 비해 작았다는 보고와도 일치한다(Graham and Decoteau, 1995).

토마토 묘의 줄기 직경에 미치는 EOD 광처리 효과를 Fig. 5에 나타내었다. 광질이 토마토 묘의 줄기 직경에 미치는 영향은 유의차가 컸으며, 적색광이 처리된 식물의 줄기 직경이 대조구 및 원적색광 처리된 식물의

줄기 직경보다 큰 것으로 나타났다. 이는 적색광 처리가 초장의 신장을 억제시키는 반면 비대생장을 촉진시킨 결과로 보여진다. 광처리 시간이 식물 줄기의 굵기에 미치는 영향에는 유의차가 없었으나, 적색광의 경우 20분간 광처리된 식물의 줄기 직경이 10분간 광처리된 식물의 줄기 직경보다 약간 굵었다. 또한, 원적색광 처리의 경우는 20분간 광처리된 식물의 줄기 직경이 10분의 광처리 된 식물의 줄기 직경 보다 다소 작았으며, 이는 초장의 신장과 반대로 비대생장이 약간 억제된 결과로 보여진다. 광처리를 하지 않은 대조구의 줄기 직경은 적색 및 원적색광 처리된 식물의 중간정도의 줄기 직경을 나타내었다.

토마토 묘의 제 1 절간신장에 미치는 광처리 효과를 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 적색광 처리는 원적색광 처리 및 대조구에 비해 묘의 제 1 절간신장을 억제하는데 큰 효과가 있었다. 그러나, 적색 및 원적색 광처리 모두 광처리 시간이 묘의 제 1 절간신장에 미치는 효과에는 차이가 없었다. 이와 같이 적색 및 원적색 광처리가 토마토 묘의 제 1 절간신장에 미치는 효과는 초장신장에 미치는 광처리 효과와 일치한다는 것을 알 수 있다.

식물의 뿌리는 토양으로부터 물과 무기질을 흡수하

Table 2. EOD light effect on the first internode length of transplants after 24 days of treatment.

EOD Light	First internode length (mm)	
	Kwang-Soo	Poung-Seang
R1	26.51 a	21.78 a
R2	26.30 a	22.21 a
FR1	32.00 b	26.15 b
FR2	32.62 b	26.86 b
Control	28.30 c	24.34 c

²Mean separations within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 6 observations.

Table 3. Influence of EOD light on ratio of shoot : root dry weight of transplants after 24 days of treatment.

EOD Light	Ratio of shoot : root dry weight	
	Kwang-Soo	Poung-Seang
R1	9.34 a	9.18 a
R2	9.47 a	9.04 a
FR1	12.20 b	10.94 b
FR2	12.40 b	11.52 b
Control	10.75 c	10.03 c

²Mean separations within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 6 observations.

는 통로가 되어 식물의 생장에 매우 중요한 기능을 함으로, 많은 뿌리를 갖는 묘로 육묘 하는 것은 매우 중요하다. 그러므로, 광처리 효과가 토마토 묘의 줄기:뿌리의 건물중비에 미치는 효과를 분석하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 적색광 처리는 원적색광 처리 및 대조구에 비해 줄기:뿌리의 건물중비가 작았으며, 이것은 적색광 처리로 묘의 줄기생장이 억제된 반면 상대적으로 뿌리가 많이 발달하였기 때문인 것으로 사료된다. 그러나, 적색 및 원적색 광처리에 있어서 광처리 시간이 묘의 줄기:뿌리의 건물중비에 미치는 효과에는 차이가 없었다.

묘의 줄기 직경이 클수록 좋은 묘지만, 줄기의 굵기 뿐만 아니라 묘의 단위 길이당 건물중(Dry weight per plant height, $mg \cdot cm^{-1}$)과 같은 총실도(Compactness)도 또한 중요한 요소이다(Lim 등, 1997). 그러므로 묘의 총실도에 미치는 광처리 효과를 조사하였다(Table 4). 토마토 묘의 총실도에 미치는 광처리 효과는 적색광 처리가 가장 우수한 것으로 나타났고, 원적

Table 4. DOD light effect on the compactness of transplants after 24 days of treatment.

EOD Light	Compactness ($mgcm^{-1}$)	
	Kwang-Soo	Poung-Seang
R1	44.67 a	43.54 a
R2	45.32 a	44.50 a
FR1	36.76 b	34.67 b
FR2	35.48 b	33.86 b
Control	39.13 c	38.85 c

²Mean separations within columns by Duncan's Multiple range test, 5% level. Data are means of 6 observations.

색광이 처리된 묘의 총실도가 가장 낮았으며 광처리 없는 대조구는 그 중간정도의 총실도를 나타내었다. 그러나, 적색 및 원적색 광처리에 있어서 광처리 시간이 묘의 총실도에 미치는 영향은 같은 것으로 나타났다. 정식 후 유묘는 스트레스를 덜 받고 환경이 좋지 않은 곳에서도 잘 생존할 수 있어야하므로, 적색광 처리된 묘와 같이 단위 길이당 건물중이 큰 묘가 정식 후 생육에 매우 유리할 것으로 사료된다.

Literature Cited

- Biddington, N. L. 1986. The effects of mechanically-induced stress in plants-999A review. *Plant Growth Regulat.* 4:103-123.
- Bidinotto, R. J. 1990. The great apple scare. *Reader's Digest*, October.
- Brown, C. S., A. C. Schuenger and J. C. Sager. 1995. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120(5): 808-813.
- Decoteau, D. R. and H. H. Friend. 1991. Phytochrome-regulated growth of young watermelon plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(3):512-515.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. *Scientia Hort.* 34:169-175.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1990. Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* 25(4):460-462.
- Erwin, J. E. 1991. Thermomorphogenesis in plants. Ph.D. Thesis. Michigan State Univ., East Lansing.
- Erwin, J. E. and R. D. Heins. Temperature effects on

- lily development rate and morphology from the visible bud state until anthesis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:644-646.
9. Graham H. A. H and D. R. Decoteau. 1995. Regulation of bell pepper seedling growth with end-of-day supplemental fluorescent light. *HortScience* 30(3):487-489.
 10. Hunt, P. G., M. J. Kasperbauer, and T. A. Matheny. 1989. Soybean seedling growth responses to light reflected from different colored soil surfaces. *Crop Sci.* 29:130-133.
 11. Jaffe, M. J. 1973. Thermomorphogenesis: The response of plant growth and development to mechanical stimulation. *Planta* 114:143-157.
 12. Kasperbauer, M. J. 1971. Spectral distribution of light in a tobacco canopy and effects of end-of-day light quality on growth and development. *Plant Physiol.* 47:775-778.
 13. Kasperbauer, M. J. and D. L. Karlen. 1986. Light-mediated bioregulation of tillering and photosynthate partitioning in wheat. *Physiol. Plant.* 66:159-163.
 14. Kendrick R. E. and G. H. M. Kronenberg. 1994. Phytochrome. In: *Photomorphogenesis in plants*. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. p. 3-69.
 15. Latimer, J. G. 1991. Mechanical conditioning for control of growth and quality of vegetable transplants. *HortScience* 26:1456-1461.
 16. Latimer, J. G. 1993. Mechanical conditioning of greenhouse-grown transplants. *HortTechnology* 3:412-414.
 17. Latimer, J. G. and P. A. Thomas. 1991. Application of brushing for growth control of tomato transplants in a commercial setting. *HortTechnology* 1:109-110.
 18. Lim, K. B., K. C. Son, and J. D. Chung. 1997. Influences of DIF on growth and development of plug seedlings of *Lycopersicon esculentum* before and after transplanting. *J. Bio. Fac. Env.* 6(1):34-42 (in Korean).
 19. Okamoto, K., T. Yanagi, S. Takita, M. Tanaka, T. Higuchi, Y. Uchida and H. Watanabe. 1996. Development of plant growth apparatus using blue and red LED as artificial light source. *Acta Horticulturae* 440: 111-116.
 20. Sage, L. C. 1992. Shade avoidance. In: *Pigment of the imagination*. Academic Press, London, UK. p. 33-100.
 21. Smith, H. 1982. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33:481-518.
 22. Yanagi, T., K. Okamoto and S. Takita. 1996. Effects of blue, red, and blue/red lights of two different PPF levels on growth and morphogenesis of lettuce plants. *Acta Horticulturae* 440:117-122.

고품질의 토마토묘 생산을 위한 광처리 기술개발 - 일몰 후 광처리가 토마토묘 소질에 미치는 영향 -

이 귀 현

강원대학교 농업공학부

적 요

일몰 후 적색 및 원적색 광처리가 토마토 묘 소질에 미치는 효과를 조사하기 위해 24일간의 광처리 기간동안 12일 간격으로 묘의 초장, 제1 절간장, 줄기직경을 측정하였고, 실험 마지막 날에는 묘의 뿌리와 줄기를 분리 건조하여 각 건물중을 측정하였다. 적색광 처리는 식물의 초장을 억제시키는 것으로 나타났고, 원적색광은 식물의 초장신장을 촉진하는 결과를 보였다. 적색 및 원적색광 처리가 식물의 초장에 미치는 효과는 광처리 시간이 10분 또는 20분이든 큰 차이가 없었다. 또한, 적색광 처리된 식물의 줄기직경이 대조구 및 원적색광 처리된 식물의 줄기 직경보다 큰 것으로 나타났다. 적색광 처리는 원적색광 처리 및 대조구에 비해 줄기·뿌리의 건물중비가 작았다. 토마토 묘의 충실도에 미치는 광처리 효과는 적색광 처리가 가장 우수한 것으로 나타났고, 원적색광 처리된 묘의 충실도가 가장 낮았으며 광처리 없는 대조구는 그 중간 정도의 충실도를 나타내었다.

주제어 : 토마토 묘, 식물 생육조건, 도장억제, 광처리, 적색광, 원적색광