

수박 접목묘의 활착 특성에 미치는 청색, 적색 및 원적색 발광다이오드의 영향

Graft-taking Characteristics of Watermelon Grafted Seedlings as Affected by Blue, Red and Far-red Light-emitting Diodes

김용현 박현수
정희원 정희원
Y. H. Kim H. S. Park

ABSTRACT

This study was performed to investigate the effect of light quality on evapotranspiration and graft-taking characteristics of watermelon grafted seedlings using blue, red and far-red light-emitting diodes (LED). At initial stage of graft-taking, blue light increased the evapotranspiration rate (EVTR) of grafted seedlings as compared to effects of red and far-red on EVTR of grafted seedlings. Grafted seedlings graft-taken under red and blue LED showed the high graft-taking of 100% and 96%, respectively. However, grafted seedlings graft-taken under far-red LED showed the graft-taking of 80% and survival of 60% with low seedlings quality after hardening. The stem of grafted seedlings graft-taken under red light was elongated but blue light suppressed the stem elongation. The leaf area of grafted seedlings graft-taken under red light was increased. It is concluded that the effect of light quality using LED on graft-taking of watermelon grafted seedlings was significantly recognized. Considering the duration of quality of grafted seedlings graft-taken under artificial lighting, LED could be used as an effective lighting sources to validate the continuance of seedling quality.

Keywords : Light-emitting diodes, Light quality, Grafted seedlings, Evapotranspiration rate, Graft-taking.

1. 서 론

수박, 토마토 등에 널리 적용되는 삽접, 할접, 편 접 등의 접목 방법에서는 접수의 배축이 절단된 상태에서 접목이 이루어진다. 그러므로 상기의 접목

방법이 적용될 때 접수의 시듦을 방지하고 접목묘의 활착율을 증대시키려면 접목 초기에 접목묘로부터 증발산이 과도하게 이루어지지 않도록 활착 환경을 적절하게 조절하여야 한다. 이를 위하여 인공 광원으로 백색형광등을 이용한 가운데 인공광하에

This study was conducted by the research fund supported by MAF-SGRP (Ministry of Agriculture & Forestry-Special Grants Research Program) in Korea. The article was submitted for publication in December 2002; reviewed and approved by the editorial board of KSAM in March 2003.

The authors are Yong Hyeon Kim, Associate Professor, Division of Bioresource Systems Engineering and Hyun Soo Park, Graduate Student(Present address; Tong Yang Mooslan Co. Ltd., Changwon, 641-090), Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, Korea.

The corresponding author is Y.H. Kim, Associate Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University(Institute of Agricultural Science and Technology), Jeonju, 561-756, Korea. e-mail:< yhkim@moak.chonbuk.ac.kr>.

서 접목묘의 활착을 촉진할 수 있는 시작품(김, 2000b)과 접목묘의 증발산 속도 계측 시스템(김과 박, 2001)이 개발되었다. 또한 수박 접목묘의 적정 활착조건 설정을 위한 이전 결과(김과 박, 2001; Kim, 2000a)에서 활착을 증대를 위한 적정 기온, 상대습도 및 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux, PPF)은 각각 27~29°C, 90~95%, 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 제시된 바 있다.

광질(light quality)은 식물의 생장과 형태형성 반응에 커다란 영향을 미친다(Hart, 1988). 식물의 생장은 광합성 작용에 의한 결과로서, 광합성에 미치는 광질의 영향에 관해서는 많은 연구가 시도되었으나, 접목묘의 증발산속도 또는 활착에 미치는 광질의 영향에 관한 연구는 보고된 바 없다. 자연광에는 다양한 광질이 포함되어 있으나, 식물의 생장 또는 형태형성 반응을 촉진할 수 있는 특정한 파장의 광을 선택하여 조사하기가 쉽지 않다. 그러므로 광질 조절에 의해서 식물의 광형태형성 반응을 촉진하려면 특정한 파장 영역의 선택적인 조사가 가능한 인공광을 사용하는 것이 효과적이다.

발광다이오드(light-emitting diode, LED)는 소형의 단색광원으로서 높은 신뢰성과 응답성을 지니고 있으며, 현열 발생량과 장파복사의 방출량이 작기 때문에 식물묘의 생장 및 형태형성 제어용 광원으로서 주목을 받고 있다. 더구나 LED는 배열 방법에 따라 점광원, 선광원 또는 면광원으로서 이용이 가능하고, 소형으로서 단색광원의 특성을 지니고 있으므로 식물의 광형태형성 제어용 인공광원으로 사용된 바 있다(Kim 등, 2001b; Brown 등, 1995; Okamoto 등, 1996; Yanagi 등, 1996). Kim(1999)은 청색, 녹색 및 적색의 단색광 LED에 대한 분광 특성과 광강도를 분석하면서 LED로부터 조사된 광강도가 LED의 점등회로에 공급되는 전류에 따라 직선적인 관계를 이루며 증가하는 바 점등 회로에 공급되는 전류의 크기로서 단색광 LED의 광강도를 조절할 수 있음을 보고하였다.

이제까지 접목묘의 생장 또는 저장 특성에 미치는 광질에 관한 보고로서 백색형광등하에서 활착된 수박 접목묘의 증발산 및 활착 특성(김, 2000a; 김과 박, 2001; 김 등, 2001a), 저온저장 상태에 있는 토마토 접목묘의 외부 품질과 최적 저장조건에 미치는 적색광 LED의 영향(Fujiwara 등, 1999, 2001) 등이 있으나, LED를 이용하여 접목묘의 증발산 및 활착 특성에 미치는 광질 효과에 대해서는 보고된 바 없다. 그러므로 본 연구의 목적은 LED를 인공광원으로 사용하여 청색, 적색 및 원적색의 단색광이

조사된 광환경하에서 활착된 수박 접목묘의 증발산 속도와 활착 특성에 미치는 광질의 효과를 구명하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 광원부

접목묘의 증발산속도와 활착 특성에 미치는 청색, 적색 및 원적색광의 광질 처리효과를 검토하고자 LED 모듈(module)을 광원으로 사용하였다. LED 모듈은 발광부, 전원 제어부, 지지용 프레임 등으로 구성되며, 서로 다른 광질의 LED 조합이 가능하도록 LED 모듈을 제작하였다(Kim, 1999). 그림 1과 같이 본 실험에 사용된 청색(NSPB633S, Nichia Chemical Co.), 적색(LNJ295PCDA, Matsushita Co.) 및 원적색(BCH-36, Showa Denko Co.) LED의 주파장은 각각 462nm, 654nm, 728nm이다.

발광부는 LED 스틱이 배열된 LED 어레이(array)

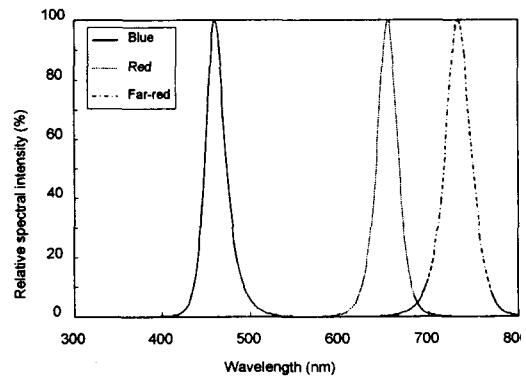


Fig. 1 Relative spectral intensity of blue red and far-red LED.

Table 1. Electric characteristics of LED stick

LED	Forward current (mA)	Shape of LED	Stick Size (mm)
Blue	25	ellipse (4.4×5.5)	8×340
Red	20	ellipse (4.4×5.5)	8×340
Far-red	20	circle (Φ 5)	8×340

로서, 1개의 스틱은 48개의 LED로 구성된다. LED 어레이의 발광유효면적은 315mm×290mm으로서, 최대 40개의 LED 스틱이 배열될 수 있다. 표 1은 LED 발광부에 사용된 LED 스틱의 전기 특성을 나타낸 것이다.

나. 공시묘의 접목, 활착 및 경화

본 실험에 사용된 접목방법은 편엽절단 삼접으로서, 접수와 대목으로 각각 수박(감로, 홍농종묘)과 박(FR King, 홍농종묘)이 사용되었다. 접수와 대목은 발아 후 기온이 명기와 암기에 각각 28℃, 18℃, 상대습도 70%, PPF 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 유지되는 생장상에서 육묘 과정을 거쳤다. 이 때 광주기는 24시간으로서, 명기와 암기는 각각 12시간이었다. 접목은 접수의 자엽이 완전히 전개된 시기에 실시하였다. 접목묘의 활착은 Kim(2000)이 개발한 인공 광형 활착촉진 시스템에서 이루어졌다. 접목 후 초기 24시간은 암조건을 유지하였으며, 24시간이 경과한 이후부터 명기와 암기를 각각 12시간씩으로 조절하였다. 동일한 활착촉진 시스템에서 청색, 적색 및 원적색광 LED하에서 5일간 활착된 접목묘는 유리온실 내로 옮겨져 10일간 경화되었다. 활착 기간에 청색, 적색 또는 원적색광에 의한 상호 간섭을 배제하고자 알루미늄 포일로 이루어진 반사판을 제작하여 특정 파장의 광이 다른 광질하에서 활착되고 있는 접목묘에 도달하지 않도록 하였다. 접목묘의 경화는 전북대학교 실험농장의 유리온실 내에서 2000년 8월 16부터 10일 동안 이루어졌다.

다. 증발산속도의 계측

광질에 따른 접목묘의 증발산 특성을 분석하고자 Kim과 Park(2000)이 제시한 증발산속도 계측 시스템을 이용하였다. 즉 하중변환기(MLP-25, Transducer Techniques)가 부착된 알루미늄판 위에 접목묘가 담겨 있는 플러그트레이 1매를 위치시킨 후 5일의 활착 기간 동안 접목묘, 배지 및 플러그트레이를 포함한 접목묘 개체군의 무게 변화를 연속적으로 측정하여 증발산속도를 결정하였다. 증발산속도 계측은 활착촉진실에서 이루어졌으며, 실험 기간 동안 활착촉진실 내의 기온과 상대습도는 각각 27℃, 90%로 조절되었다. 한편 청색, 적색 및 원적색광 LED로부터 조사된 PPF는 플러그트레이의 배지 표면을 기준으로 모두 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 설정하였다.

라. 활착 및 경화 특성 분석

실험 개시 후 5일째에 각각의 광질하에서 50주씩 활착된 접목묘에 대한 활착율을 조사하였고, 또한 광질별로 5주씩을 채취하여 생장 특성을 조사하였다. 10일 동안의 경화 기간에 5일 간격으로 접목묘 5주씩에 대한 경화 특성을 조사하였다. 생장과 경화 특성에 대한 조사 항목은 접묘의 생존율, 접수의 배축직경과 배축길이, 엽면적, 엽록소 함량 등이다. 엽록소 함량은 엽록소계(SPAD-502, MINOLTA Co.)를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 광질에 따른 접목묘의 증발산 특성

청색, 적색 및 원적색광 LED하에서 활착된 수박 접목묘의 증발산특성은 그림 2와 같다. 접목 후 1일째의 명기에서 광질에 따른 증발산속도는 청색, 원적색 및 적색광 LED에서 각각 50.5, 40.7, 32.15 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 로서 차이가 크게 나타났으나, 활착 후 일수가 경과할수록 광질 처리에 따른 접목묘의 증발산속도 차이는 줄어들었다. 활착 기간동안 접목묘의 증발산속도는 청색광과 원적색광에서 비슷한 수준이었으나, 적색광에서는 상대적으로 낮게 나타났다. 활착이 이루어지는 기간의 기온, 상대습도 및 PPF가 동일하나 인공광원으로서 백색형광등을 사용한 Kim(2000)의 이전 결과에서 접목묘의 증발산속도는 40~60 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 나타난 바 청색, 적색 및 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산 특성은 백색형광등하에서 활착된 경우와 비교할 때 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

그림 2에 표시된 접목묘의 증발산속도는 접목묘와 배지를 포함한 접목묘 개체군의 무게 변화를 연속적으로 측정하여 결정된 것으로서, 접목묘로부터의 증산과 배지로부터의 증발을 포함한 값이다. 증발산에 커다란 영향을 미치는 물리적 환경요인은 기온, 상대습도, 광량 및 기류속도 등이다. 본 실험에서 활착촉진 시스템내의 기온, 상대습도 및 광량은 각각 27℃, 90%, 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 일정하게 조절되었으며, 기류속도는 0.1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 를 유지하였다. 기온과 상대습도가 일정한 수준으로 제어될 때, 즉 포차(vapour pressure deficit)가 일정할 때 증발산속도는 일정한 값을 나타낸다. 그림 2에서 적색광과 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘의 증발산속도

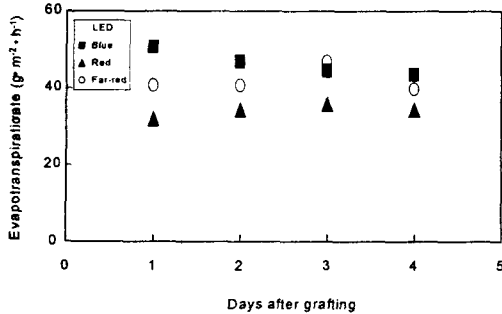


Fig. 2 Evapotranspiration rate of grafted seedlings graft-taken under blue, red, and far-red LED at the air temperature of 27°C, relative humidity of 90%, and photosynthetic photon flux of $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

는 활착초기 단계에서부터 대체적으로 일정한 수준으로 나타남을 알 수 있다. 한편 청색광 LED하에서 활착된 접목묘는 활착 초기에 적색광 또는 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘에 비해서 높은 증발산속도를 나타내었으나, 시간이 경과할수록 증발산속도가 점차 감소하였다.

오이묘의 정식 직후에 청색광을 조사하면 적색광을 조사한 경우에 비해서 기공밀도가 높게 나타났다. 또한 청색광은 기공 개도를 크게 하고 가스교환을 촉진하여 식물의 증산속도와 광합성속도를 증가시킨다(Sung과 Takano, 1997; Hssiao와 Allaway, 1973). 그러므로 청색광의 조사로 인하여 활착 초기에 접목묘의 증발산속도가 크게 나타난 것으로 추정된다.

나. 접목묘의 활착 특성

청색, 적색 및 원적색광에서 활착된 접목묘의 활착율 및 경화 단계에서의 생존율 변화는 그림 3과 같다. 적색광에서 활착된 접목묘의 활착율은 100%이었고, 온실내의 경화 단계에서 생존율은 96%로서 매우 높게 나타났다. 청색광에서 활착된 접목묘의 활착율과 경화 과정에서의 생존율은 각각 96%, 96%로서 적색광의 경우와 거의 유사하게 나타났다. 백색형광등을 이용한 Kim(2000)의 결과에서 활착율이 90~92%임을 고려할 때 청색과 적색광에서의 활착율은 형광등에 비해서 다소 높게 나타났음을 알 수 있다. 한편 원적색광에서 활착된 경우 접수

의 시들 현상이 두드러지게 나타나며 외관상 묘소질이 저하되는 가운데 활착율은 80%로서 낮게 나타났다. 더구나 원적색광에서 활착된 접목묘는 경화 과정에서 상당수가 고사하여 생존율은 60%로 저하되었다. 청색 또는 적색광은 식물의 광합성속도를 증가시키는 광질로서 생장을 촉진하나, 원적색광은 발아 억제 또는 줄기 신장과 같은 광형태형성 반응에 커다란 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Brown 등, 1995; Smith, 1975). 원적색광하에서 활착된 접목묘의 활착율과 생존율이 청색 또는 적색광의 경우에 비해서 매우 낮게 나타났는데, 이것은 광합성 또는 광형태형성에 미치는 광질의 영향이 다름을 의미하는 것으로서 접목묘의 활착에 미치는 원적색광의 생리 기작에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 아울러 청색광, 적색광 및 원적색광의 조사에 따라 접목묘의 활착율과 생존율이 다르게 나타난 바, 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과와 더불어 접목묘 묘소질의 지속성 여부에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다.

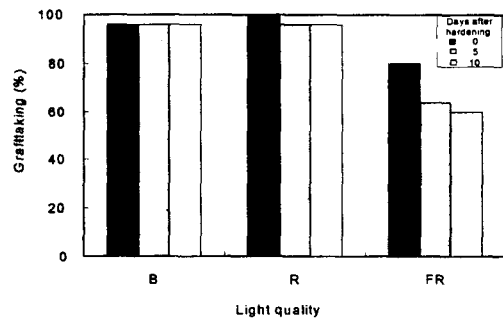


Fig. 3 Survival of watermelon grafted seedlings graft-taken under blue(B), red (R), far-red(FR) LED.

다. 광질에 따른 접목묘의 성장 특성

청색, 적색 및 원적색광에서 활착된 후 경화 과정을 거친 접목묘의 성장과 형태형성 특성은 그림 4와 같다. 그림 4의 청색, 적색 및 원적색광 처리에 사용된 문자는 최소유의차 검정에 따른 5% 수준에서의 유의성을 나타낸 것으로서, 동일한 문자는 유의차가 존재하지 않음을 의미한다. LED하에서 5일간 활착, 즉 경화 0일째에 해당하는 접목묘 접수의 배측 직경은 원적색광>적색광>청색광의 순서로 나타났

수박 접목묘의 활착 특성에 미치는 청색, 적색 및 원적색 발광다이오드의 영향

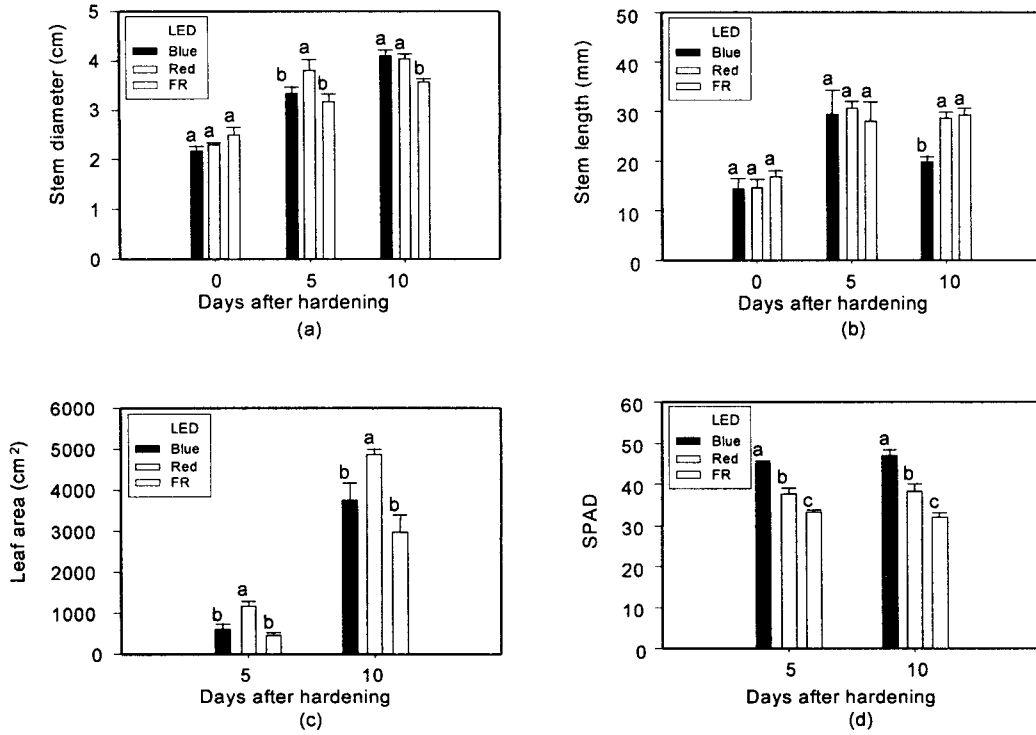


Fig. 4 Acclimation characteristics of watermelon grafted seedlings graft-taken under blue (B), red (R), and far-red(FR) LED.

나, 유의차가 없었다. 경화 10일째에 청색과 적색광에서의 배축직경은 원적색광에 비해서 유의차게 인정될 만큼 크게 나타났다(그림 4a). 경화 10일째에 청색광에서의 배축길이를 제외하면 경화 과정에서 접수의 배축길이에 미치는 청색, 적색 및 원적색광의 영향은 그다지 높지 않게 나타났다(그림 4b).

경화가 이루어지면서 접수의 엽면적에 미치는 광질의 효과가 적색광에서 크게 나타났다(그림 4c). 경화 과정 동안 엽면적은 적색광>청색광>원적색광의 순서로서 나타났는데, 이러한 결과는 완두에 적색광을 조사하였을 때 청색광을 조사한 경우에 비해서 엽면적이 크게 확대된 결과(Sale과 Vince, 1963)와 유사한 것이다. 접수의 엽록소 함량은 청색광>적색광>원적색광의 순서로서 광질 처리에 따른 유의차가 분명하게 나타났으며, 엽면적에서와 마찬가지로 경화 과정에서 상기 순서가 지속되었다(그림 4d).

4. 요약 및 결론

청색, 적색 및 원적색의 단색광의 조사가 가능한

LED 모듈을 제작하여 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과를 정량적으로 구명하였다. 기온, 상대습도 및 광합성유효광량자속을 각각 27℃, 90%, 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조절한 조건에서 청색광 LED하에서 활착된 접목묘는 활착 초기에 적색광 또는 원적색광 LED하에서 활착된 접목묘에 비해서 높은 증발산속도를 나타내었으나, 활착 후 일수가 경과할수록 광질이 증발산속도에 미치는 효과가 감소하였다. 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과는 높게 나타났다. 즉, 적색과 청색광에서 활착된 접목묘의 활착율은 각각 100%, 96%로서 높게 나타났으며, 온실 내에서 고사없이 대부분 건전묘로 경화되었다. 한편 원적색광에서의 활착율은 80%로 낮게 나타났으며, 외관상 묘소질이 저하되었고 경화 중 생존율은 60%에 불과하였다. 활착 단계에서 접수의 배축 신장은 적색광에서 크게 나타났으나, 청색광에서는 신장 효과가 작게 나타났다. 경화 과정에서 접수의 엽면적과 엽록소 함량에 미치는 광질의 효과가 분명하게 나타났다. 엽면적은 적색광>청색광>원적색광의 순서로 나타났

고, 엽록소 함량은 청색광>적색광>원적색광의 순서로서 경화 과정에서 상기 특성이 지속되었다.

결론적으로 광질이 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 광질 처리에 LED의 활용 가능성을 확인하였다. 청색, 적색 및 원적색의 단색광 LED에서 활착된 접목묘의 묘소질이 경화 단계에서도 일부 지속되고 있는 바, 묘소질 지속의 검증을 위한 인공광원으로서 LED가 유효하게 활용될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Brown, C. S., A. C. Schuerger 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.
2. Fujiwara, K., S. Isobe and M. Imoto. 2001. Optimum conditions of low light irradiation-CA storage for quality preservation of grafted tomato plug seedlings. *Environ. Control in Biol.* 39(2): 111-120 (In Japanese).
3. Fujiwara, K., S. Isobe and M. Imoto. 1999. Effects of controlled atmosphere and low light irradiation using red light emitting diodes during low temperature storage on the visual quality of grafted tomato plug seedlings. *Environ. Control in Biol.* 37(3):185-190 (In Japanese).
4. Hart, J. W. 1988. Light and plant growth. Unwin Hyman Ltd., London, pp. 5-14.
5. Hssiao, T. C. and W. G. Allaway. 1973. Action spectra for guard cell Rb⁺ uptake and stomatal opening in *vicia faba*. *Plant Physiol.* 51:82-88.
6. Kim, Y. H. 1999. Plant growth and morphogenesis control in transplant production system using light-emitting diodes (LEDs) as artificial light source-Spectral characteristics and light intensity and of LEDs-. *J. of the Korean Society for Agricultural Machinery* 24(2):115-122 (In Korean).
7. Kim, Y. H. 2000a. Effects of air temperature, relative humidity and photosynthetic photon flux on the graft-taking of grafted seedlings under artificial lighting. In: Kubota. C. and C. Chun (eds.) *Transplant production in the 21st century.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 91-97.
8. Kim, Y. H. 2000b. Design of a prototype system for graft-taking enhancement of grafted seedlings using artificial lighting -Effect of air current speed on the distribution of air temperature and relative humidity in a graft-taking enhancement system- *J. of the Korean Society for Agricultural Machinery* 25(3):213-220 (In Korean).
9. Kim, Y. H., C. S. Kim, J. W. Lee and S. G. Lee. 2001a. Effect of vapor pressure deficit on the evapotranspiration rate and graft-taking of grafted seedlings population under artificial lighting. *J. of Bio-Environment Control* 10(4):232-236 (In Korean).
10. Kim, Y. H., J. S. Eun and Y. S. Kim. 2001b. Application of light-emitting diodes (LEDs) as an artificial lighting source for micropropagation of *in vitro* seedlings. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery* 6(1):161-166 (In Korean).
11. Kim, Y. H. and Y. S. Park. 2001. Evapotranspiration rate of grafted seedlings affected by relative humidity and photosynthetic photon flux under artificial lighting. *J. of the Korean Society for Agricultural Machinery* 26(4):379-384 (In Korean).
12. 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.
13. Sale, P. J. M. and D. Vince. 1963. Some effects of light on leaf growth in *Pisum sativum* and *Tropaeolum majus*. *Photochem. Photobiol.* 2:401-405.
14. Smith, H. 1975. *Phytochrome and photomorphogenesis.* McGraw-Hill Co., Ltd, pp.22-53.
15. Sung, I. K. and T. Takano. 1997. Effects of supplemental blue and red lights in the morning twilight on the growth of physiological responses of cucumber seedlings. *Environ. Control in Biol.* 35(4):261-266 (In Japanese).
16. 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.