

상이한 광질하에서 활착된 수박 접목묘 결합 부위의 식물체온 변화

김용현 이상현

Variation of Plant Temperature at Joining Parts of Grafted Watermelon Seedlings Graft-taken under Different Light Quality

Y. H. Kim S. H. Lee

Abstract

Effect of light quality on plant temperatures at joining parts of grafted watermelon seedlings was investigated using a thermal imaging system in this study. Plant temperatures at joining parts lowered than those at stem region during graft-taking. However, difference in plant temperatures at joining parts and at stem region decreased by days after graft-taking. Plant temperatures of grafted seedlings graft-taken under white, blue, red, and blue + red fluorescent lamps repeatedly fluctuated high at photoperiod and low at dark period. Considering the variation of plant temperatures at joining parts, the illumination of blue and red light as well as white light will be effective for grafting of grafted watermelon seedlings. It is recommended that air temperature around grafted seedlings should be maintained at 27 to 29°C for enhancing the physiological reaction of callus and for the smooth joining of scion and rootstock.

Keywords : Plant temperature, Thermography, Grafted seedlings, Light quality

1. 서론

연작 장애의 방지, 내병성 또는 내서성의 강화, 조기생육 촉진 및 과실의 상품성 향상을 목적으로 과채류에 호접, 삽접, 활접, 편접 등 여러 가지 접목 방법이 적용되고 있다. 접목묘의 생산 과정에서 활착 성공률을 높이면서 품질이 우수한 접목묘를 생산하려면 접수와 대목이 원활하게 결합하도록 기온, 광, 상대습도 등의 물리적 환경 요소를 적정 수준으로 관리하여야 한다.

접목묘의 활착 상태에 미치는 물리적 환경요소의 영향을 분석할 때 대목과 접수의 결합에 지장을 초래하지 않는 방법의 적용이 바람직하다. Kim과 Kim(2000)은 대목과 접수의 결합 상태를 가시적으로 이해하고자 통도조직의 3차원 가시화를 시도한 바 있다. 그런데 이 경우 시료가 절단된 상태에

서 영상 획득이 이루어지기 때문에 시료의 준비와 영상 처리에 많은 노력과 시간이 투입되는 문제점이 나타났다.

접목묘의 활착 단계에서 접수와 대목이 접합부를 형성하면서 통도조직이 결합되려면 상호의 캘루스 증식 및 분화되기 위한 생리 반응이 필요하다(Oda, 1995). 그런데 캘루스의 증식 및 분화와 같은 생리 반응 속도는 결합 부위의 온도에 의해서 결정된다. 그러므로 접목 후 대목과 접수를 정상적으로 결합시키려면 결합 부위의 식물체 온도가 일정 수준 이하로 내려가지 않도록 활착이 이루어지는 공간의 기온을 관리할 필요가 있다.

광질은 식물의 성장과 형태형성 반응에 커다란 영향을 미친다. 식물의 생장은 광합성 작용에 의한 건물중의 증가로 나타난다. 이제까지 식물의 성장에 미치는 광질의 영향에 관해서는 많은 연구 결과(Brown 등, 1995; Bulm 등, 1992; Kim

This article was submitted for publication in June 2006, reviewed and approved by the editorial board of KSAM in October 2006. The authors are Y. H. Kim, KSAM member, Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science and Technology) and S. H. Lee, Graduate Student, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, Chonbuk National University (Present address; LS Cable Ltd.). The corresponding author is Y. H. Kim, Professor, Division of Bioresource Systems Engineering, Chonbuk National University, Jeonju, 561-756, Korea; E-mail: <yhkim@chonbuk.ac.kr>.

등, 2001; Yanagi 등, 1996)가 보고되었으나, 접목묘의 증발산속도 또는 활착에 미치는 광질의 영향에 관한 연구는 최근에 시도된 바 있다(Kim과 Park, 2001b, 2003). 이들은 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과를 검토하였으며, 광질 처리 시에 발광다이오드의 활용 가능성을 확인한 바 있다.

원격 측정의 한 방법인 열영상과 디지털 영상 분석을 이용하면 대상 작물에 직접적으로 접촉하지 않고도 작물의 연속적인 생체 정보를 비파괴적으로 측정할 수 있다. 이제까지 열영상 정보를 이용하여 각종 스트레스에 대한 작물의 반응을 구명한 결과가 보고되었으나(Ryu 등, 2000; Ceccardi, 1995; Inoue, 1986; Hashimoto 등, 1984), 활착 단계에 있는 접목묘의 결합 부위에 관한 보고가 이루어지지 않고 있다. 본 연구는 인공광하에서 활착된 접목묘를 대상으로 열영상과 디지털 영상처리 장치를 사용하여 접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정된 후 접목묘 결합 부위의 식물체온에 미치는 광질의 효과를 비교하고자 시도되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 품종 및 실험 조건

열영상 정보의 측정에 사용된 공시묘는 편엽삽접된 수박 접목묘로서, 대목과 접수에 각각 FR-홍련(홍농종묘)과 감로(홍농종묘)를 사용하였다. 접목 후 활착은 Kim(2000a)이 개발한 인공광형 활착촉진장치 내에서 이루어졌다.

광질이 다른 환경하에서 활착된 접목묘의 결합 부위에 대한 열영상 정보를 얻고자 인공광원으로 백색(FL-40D, 신광진기), 청색(FL-40B, 금동), 적색(FL-40R, 금동) 형광등을 사용하였다. 상기의 형광등을 인공광원으로 사용한 가운데 4처리(백색, 청색, 적색, 청색+적색)의 광질로 구분하였다. 각각의 처리에서 광합성유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)은 플러그트레이 표면을 기준으로 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 을 유지하였다(Kim과 Park, 2001a). 적색과 청색을 혼합한 혼합광의 경우 PPF를 기준으로 적색광과 청색광을 2:1의 비율로 조정하였다.

나. 열영상 측정 방법

접목묘 결합 부위의 온도 변화를 측정하고자 농업과학공동기기센터(NICEM)에서 보유하고 있는 열영상 처리 장치(IQ 812, FLIR System Co. Ltd., USA)를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 열영상 처리 장치는 열영상 카메라, 영상 처리기,

모니터 등으로 구성된다. 열영상 처리 장치의 온도 측정범위는 $-20 \sim 500^\circ\text{C}$ 이며 분해능은 30°C 에서 0.06°C 이다.

서로 다른 광질 처리에서 활착되는 접목묘의 접목 후 경과한 일수에 따라 결합 부위의 식물체 온도가 변화하는 특성을 측정할 때 외부로부터의 영향을 줄이고자 온도, 습도, 풍량 조절이 가능한 인공광형 활착촉진장치 내에서 열영상을 획득하였다. 접목묘 개체군의 결합 부위에 대한 열영상을 효과적으로 획득하고자 45° 의 경사를 유지하고 있는 열영상 카메라와 접목묘 사이의 거리를 50 cm로 고정하였다. 열영상 정보를 정확하게 획득하려면 주위 물체로부터의 복사에 의한 효과를 최소화하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 본 연구에서는 접목묘 주위의 온도를 균일하게 하고자 백색 스티로폼 판을 접목묘의 배경으로 사용하였다. 한편 실험 기간에 활착촉진장치 내의 기온, 상대습도, 광주기(명기/암기)는 각각 $26.9 \pm 0.2^\circ\text{C}$, $90 \pm 3\%$, 12/12 h로 조절하였다(Kim과 Park, 2001a). 결합 부위에 대한 열영상 정보는 접목 후 2일째부터 열영상 장치를 이용하여 12 h 단위로 획득하였다.

접목 후 시간이 경과함에 따른 결합 부위의 온도 변화는 열영상 처리 프로그램에 해당하는 AnalyzIR + V4.2(FSI, USA)을 사용하여 분석하였다. 획득된 열영상은 가로 640 화소, 세로 480 화소로 이루어져 있으며, 온도에 따라 각기 다른 256색으로 표현된다. 각각의 열영상에서 대목과 접수의 결합 부위와 결합 부위 이외의 줄기 부분에 대한 온도는 가로 10 화소와 세로 15 화소에 해당하는 면적을 기준으로 온도를 산출하였다. 특히 줄기 부분에 대한 온도의 기준점을 설정하고자 플러그트레이 표면으로부터 50 화소 떨어진 지점의 온도를 측정하였다. 열영상 처리 프로그램의 온도 범위와 배경의 복사율은 각각 $13 \sim 33^\circ\text{C}$, $0.64 \sim 0.65$ 로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 백색, 청색 및 적색광하에서 활착된 접목묘의 식물체온 변화

백색 형광등하에서 활착되고 있는 접목묘의 결합 부위에 대한 열영상은 Fig. 1과 같다. 접목 후 2일이 경과한 접목묘의 결합 부위에서 줄기 부분과 다르게 청색 계열의 색상이 분명하게 나타났다. 결합 부위에 표시된 청색 계열은 줄기 또는 잎 부분에 비해서 접목묘 결합 부위에서의 식물체온이 낮음을 의미한다. 온도는 식물의 광합성, 호흡 또는 증산과 같은 대사 작용뿐만 아니라 광합성 산물의 분배에 직접적으로 관여하는 물리적 환경 인자에 해당한다(Drake와 Salisbury, 1972; Jiao와 Grodzinski, 1996; Kobza와 Edwards, 1987). 활착이

진행됨에 따라 결합 부위에서의 색상이 줄기 부분과 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 접목 초기에 결합 부위에서의 식물체온이 줄기 부분에서의 체온에 비해서 낮지만, 활착 일수가 경과할수록 줄기부분의 체온에 접근함을 의미하는 것이다.

백색 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 동일 조건의 접목묘 3주에 대한 결합 부위의 온도(T1)와 줄기부분의 온도(T2)의 평균치는 Fig. 2와 같다. 결합 부위의 식물체온은 접목 후 2일째에 약 24°C를 나타냈으나, 접목 후 5일이 경과하였을 때에는 약 26°C로서 2°C 정도 상승하였다. 한편 활착 기간 동안 줄기 부분의 식물체온은 26~27°C를 유지하였다. 그러므로 활착이 이루어지는 동안 접목묘 결합 부위의 식물체온이 줄기 부분에 비해서 약 1~3°C 낮게 나타났음을 알 수 있다. 활착기간 동안 인공광원의 광주기를

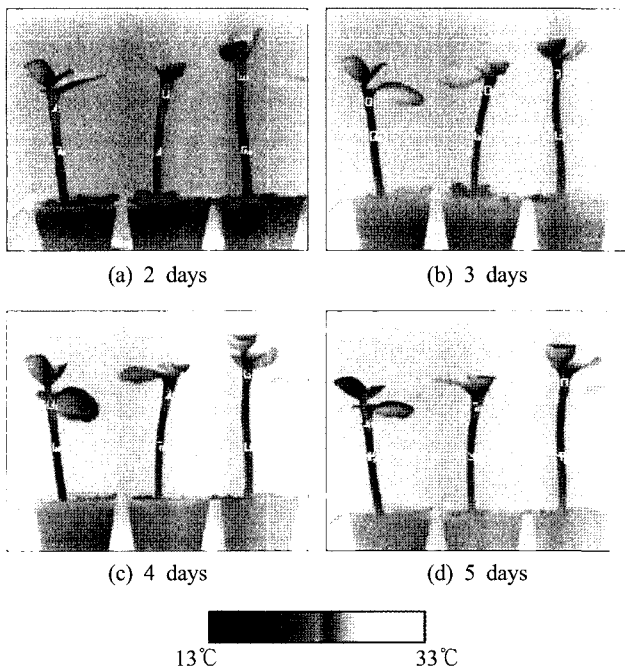


Fig. 1 Thermal images of grafted watermelon seedlings graft-taken under white fluorescent lamps.

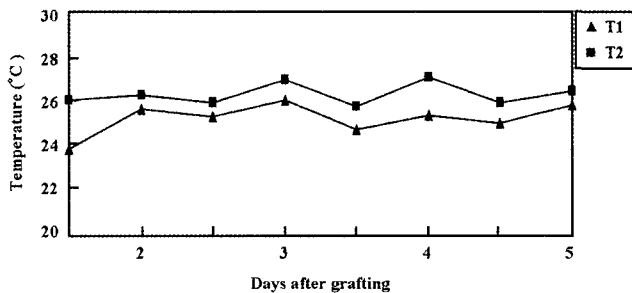


Fig. 2 Plant temperatures at joining part (T1) and stem (T2) of grafted seedlings graft-taken under white fluorescent lamps by days after grafting.

12 h·d⁻¹로 조절하였는데, 결합 부위와 줄기부분의 온도가 명기에는 다소 상승하였다가 암기로 접어들면서 하강하는 현상이 반복적으로 나타났다.

Fig. 3은 청색 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 접목묘의 결합 부위와 줄기 부분의 체온을 나타낸 것이다. 결합 부위의 체온이 접목 후 2일째에 약 25°C이나, 접목 후 5일이 경과하였을 때 체온은 약 26°C로서 활착이 이루어지면서 체온이 1°C 증가하였다. 백색광에서와 마찬가지로 결합 부위와 줄기 부분에서의 식물체온이 명기에는 다소 상승하였다가 암기로 접어들면서 내리는 현상이 반복적으로 나타났다.

적색 형광등하에서 활착된 접목묘의 결합 부위와 줄기부분 체온은 Fig. 4와 같다. 결합 부위의 체온은 접목 후 2일째에 약 25°C이나, 접목 후 5일째에서는 25.6°C로서 활착 기간 동안 큰 차이가 없었다. 백색과 청색에서와 마찬가지로 식물체온이 명기에는 다소 상승하였다가 암기로 접어들면서 내리는 현상이 반복적으로 이루어졌는데, 이러한 결과는 결합 부위에서 분명하게 나타났다.

적색과 청색의 광합성유효광양자속을 2:1의 비율로 혼합하여 조성한 혼합광 형광등하에서 활착된 접목묘의 접목 후 2~5일 동안 결합 부위와 줄기 부분에서의 체온은 Fig. 5와 같다. 결합 부위의 체온은 접목 직후에 약 22°C로서 다른 광

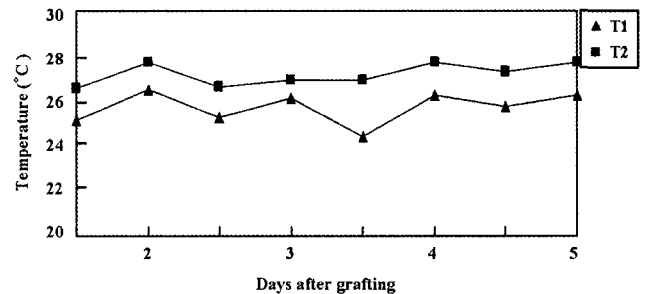


Fig. 3 Plant temperatures at joining part (T1) and stem (T2) of grafted seedlings graft-taken under blue fluorescent lamps by days after grafting.

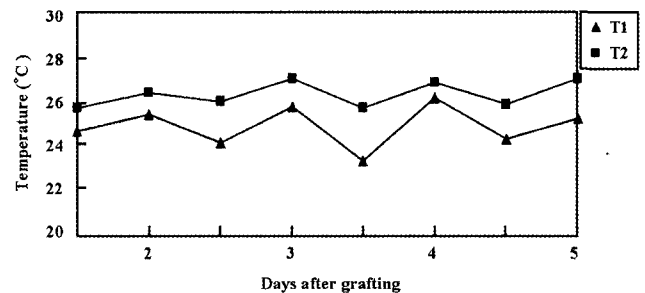


Fig. 4 Plant temperatures at joining part (T1) and stem (T2) of grafted seedlings graft-taken under red fluorescent lamps by days after grafting.

질 처리에 비해서 낮게 나타났으며, 접목 후 5일째에서는 약 26°C로서 활착 기간 동안 약 4°C 상승하였다. 줄기 부분의 평균 체온은 명기의 경우 약 27°C, 암기에는 약 26°C를 유지하였다. 다른 광질 처리에서와 마찬가지로 식물체온이 명기에는 상승하였다가 암기로 접어들면서 하강하는 현상이 반복적으로 나타났으나, 접목 후 일수가 경과함에 따라 명기와 암기에서의 온도차가 점차 감소하였다.

나. 광질에 따른 결합 부위와 줄기 부분의 식물체온 비교

Fig. 6은 접목 후 2~5일 동안 백색, 청색, 적색 및 적색과 청색을 혼합한 광질 조건하에서 활착된 접목묘의 줄기 부분에 대한 결합 부위의 체온차를 나타내고 있다. 접목 후 2일째에 백색광에서 활착된 접목묘의 체온차가 2.2°C였으나, 접목 후 5일째의 명기에는 0.9°C로 나타났다. 접목 후 일수가 경과함에 따라 줄기 부분과 결합 부위의 평균 체온차가 점차 감소하였다. 한편 활착기간 동안 암기에 비해서 명기의 체온차가 다소 높게 나타났다.

접목 후 2~5일 동안 청색광하에서 활착된 접목묘의 줄기 부분에 대한 결합 부위의 체온차는 2일째와 3일째에 각각 1.8°C, 1.3°C로서 백색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 체온차가 감소하는 경향이 두드러지게 나타나지 않았다. 또한 명

기와 암기에 따른 식물체온의 차이가 비슷하게 나타났다.

적색광하에서 활착된 접목묘의 경우 줄기 부분에 대한 결합 부위의 체온차가 접목 후 2일째에 1.0°C이나, 접목 후 5일째에 1.5°C로서 접목 후 경과한 일수에 따라 체온차가 감소하였던 백색광과 청색광과 다르게 접목 후 경과한 일수에 따라 다소 증가하였다. 한편 청색광에서와 유사하게 접목 후 3일째의 암기에 해당하는 체온차는 명기 전후의 체온차에 비해서 높게 나타났다.

적색과 청색을 혼합한 혼합광하에서 활착된 접목묘는 접목 후 2일째에 3.2°C이나, 접목 후 5일째에 1.1°C로서 접목 후 일수가 경과함에 따라 체온차가 크게 감소하였다. 체온차의 감소가 접목 후 2일째의 암기에서 분명하게 나타났으며, 그 후에는 서서히 감소하였다. 다른 광질 처리와 마찬가지로 접목 후 3일째의 암기에 해당하는 체온차가 명기 전후의 체온차에 비해서 높게 나타났다. 접목 후 일수가 경과함에 따라 초기의 커다란 체온차가 점차 감소하였는데, 접목 후 3일째 암기에서 적색광 처리와 적색광과 청색광을 혼합한 처리구의 체온차가 특이하게 높게 나타났다. 이러한 결과가 광질 처리에 기인한 것인지 또는 실험 오차에 기인한 것인지 현재로서 명확하지 않다.

백색, 청색, 적색, 청색+적색의 혼합광하에서 활착된 수박 접목묘의 결합 부위에서의 체온이 다르게 나타났으나, 결합 부위와 줄기 부분에서의 체온차에 미치는 광질의 영향은 두드러지게 나타나지 않았다. 접목 초기에 결합 부위에서의 체온은 줄기 부분의 온도에 비해서 1.0~3.2°C 정도 낮게 나타났으며, 활착이 진행되면서 결합 부위와 줄기 부분의 체온차가 0.6~1.8°C 정도로 감소하였다. 그런데 활착 기간에 수박 접목묘의 활착과 경화 특성에 미치는 광질의 효과가 높게 나타났다(Kim과 Park, 2003). 즉, 적색과 청색광에서 활착된 접목묘의 활착율은 각각 100%, 96%로서 높게 나타났다. 경화 과정에서 접수의 엽면적과 엽록소 함량은 각각 적색광과 청색광의 처리에서 높게 나타났다. 한편 백색 형광등하에서 활착된 수박 접목묘의 활착율은 90~100%로 나타났다(Kim 등, 2001). 그러므로 백색광뿐만 아니라 청색 또는 적색광의 처리가 수박 접목묘의 활착에 효과적임을 알 수 있다.

접목 초기의 결합 부위에서 캘루스의 증식 및 분화가 제대로 이루어지지 않아 결합 부위에서의 체온이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 캘루스의 증식 및 분화와 같은 생리 반응 속도는 결합 부위의 온도에 의해서 결정된다. Kim(2000b)은 수박 접목묘의 증발산속도와 활착율에 미치는 기온과 상대습도의 영향을 검토한 결과 27~29°C의 기온과 90% 이상의 상대습도를 적정 활착조건으로 제시하였다. 따라서 결합 부위에서의 생리 반응 속도를 높이면서 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지도록 하려면 결합 부위 주변의 기온을 27~29°C 정도로 유지하는 것이 바람직하다.

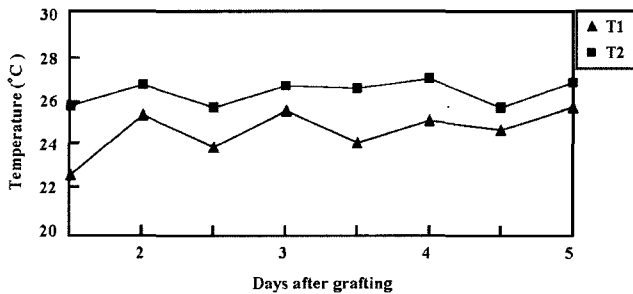


Fig. 5 Plant temperatures at joining part (T1) and stem (T2) of grafted seedlings graft-taken under red and blue fluorescent lamps as affected by days after grafting.

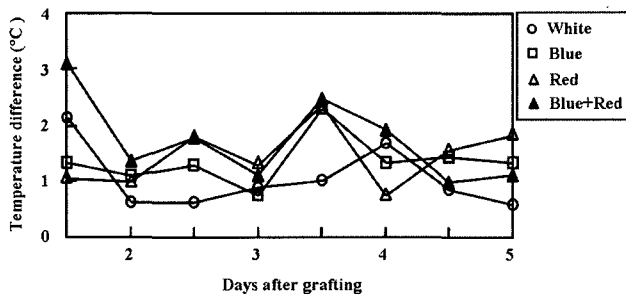


Fig. 6 Comparison of differences in plant temperature between at joining part and at stem region of grafted seedlings graft-taken under fluorescent lamps with different light quality.

4. 요약 및 결론

활착이 이루어지는 동안 수박 접목묘 결합 부위의 식물체 온 변화에 미치는 광질의 효과를 구명하고자 열영상 측정 시스템을 사용하였다. 접목묘의 활착기간 동안 결합 부위의 체온은 줄기 부분에 비해서 낮게 나타났으나, 활착이 이루어지면서 결합 부위와 줄기부분의 체온차가 점차 감소하였다. 접목묘의 체온은 백색광, 청색광, 적색광 및 혼합광의 모든 처리에서 광질과 무관하게 명기에 상승하고 암기에 내려가는 현상이 반복적으로 나타났다.

접목묘 결합 부위에서의 체온 변화를 고려할 때 백색광뿐만 아니라 청색 또는 적색광의 처리가 수박 접목묘의 활착에 효과적인 것으로 나타났다. 또한 접목묘 결합 부위에서의 생리 반응 속도를 높이면서 접수와 대목의 결합이 원활하게 이루어지도록 하려면 결합 부위 주변의 기온을 27~29°C 정도로 유지하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

1. 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. *Journal of American Society for Horticultural Science* 120(5):808-813.
2. Bulm, D.E., T. M. Elzenga, P. A. Linnemeyer and E. V. Volkenburgh. 1992. Stimulation of growth and ion uptake in bean leaves by red and blue light. *Plant physiology* 100:1968-1975.
3. Ceccardi, T. L., R. L. Heath and I. P. Ting. 1995. Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. *Hortscience* 30(1):140-142.
4. Drake, B. G. and F. B. Salisbury. 1972. Aftereffects of low and high temperature pretreatment on leaf resistance, transpiration, and leaf temperature in *Xanthium*. *Plant Physiology* 50:572-575.
5. Hashimoto, Y., T. Ino, P. J. Kramer, A. W. Naylor and B. R. Strain. 1984. Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system. *Plant Physiology* 79:266-269.
6. Inoue, Y. 1986. Remote-monitoring of function and state of crop community. *Japanese Journal of Crop Science* 55(2):261-268.
7. Jiao, J. and B. Grodzinski. 1996. The effect of leaf temperature and photorespiratory conditions on export of sugar during steady-state photosynthesis in *Salvia splendens*. *Plant physiology* 111:169-178.
8. Kim, Y. H. 2000a. 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-. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 25(3):213-220.
9. Kim, Y. H. 2000b. Effects of air temperature, relative humidity and photosynthetic photon flux on the evapotranspiration rate of grafted seedlings under artificial lighting. *Transplant production in the 21st century*. pp.91-97, Kluwer Academic Publishers.
10. Kim, Y. H. and C. S. Kim. 2000. Three dimensional visualization for vessel structure of grafted seedlings. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference* 5(1):492-498.
11. Kim, Y. H., C. S. Kim, J. W. Lee and S. G. Lee. 2001. Effect of vapor pressure deficit on the evapotranspiration rate and graft-taking of grafted seedlings population under artificial lighting. *Journal of Bio-Environment Control* 10(4):232-236.
12. Kim, Y. H., J. S. Eun and Y. S. Kim. 2001. Application of Light-emitting diodes as an artificial lighting source for micropropagation of *in vitro* seedlings. *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference* 6(1):161-166.
13. Kim, Y. H. and H. S. Park. 2001a. Evapotranspiration rate of grafted seedlings affected by relative humidity and photosynthetic photon flux under artificial lighting. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 26(4):379-384.
14. Kim, Y. H. and H. S. Park. 2001b. Effect of the enrichment of blue light and red light on the evapotranspiration and graft-taking of grafted seedlings. *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference* 10(1):34-38.
15. Kim, Y. H. and H. S. Park. 2003. Graft-taking characteristics of watermelon grafted seedlings as affected by blue, red and far-red light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 28(2):151-156.
16. Kobza, J. and G. E. Edwards. 1987. Influences of leaf temperature on photosynthetic carbon metabolism in wheat. *Plant physiology* 83:69-74.
17. Ryu, K. H., G. Y. Kim and H. Y. Chae. 2000. Plant growth monitoring thermography -Analysis of nutrient stress-. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 25(4):293-300.
18. Oda, M. 1995. New grafting methods for fruit-bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* 29:187-194.
19. 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.