

# 열화상 정보를 이용한 온실 재배 작물의 수분 스트레스 분석<sup>+</sup>

## Analysis of Water Stress of Greenhouse Crops Using Infrared Thermography

김 기영\*, 류 관희\*, 채 희연  
정희원, 정희원, 정희원  
G.Y. Kim, K.H. Ryu, H.Y. Chae

### 1. 서 론

식물은 생물학적 또는 비생물학적 이유에 의해 성장에 나쁜 영향을 받으면 스트레스를 받게 된다. 스트레스나 질병에 의한 증상은 여러가지로 나타날 수 있다. 물공급이 잘 안되거나 표피의 수분 함량의 평형이 잘 안맞으면 기공이 닫히고, 광합성과 증산이 줄게되어 잎표면의 온도가 증가한다. 또한 식물의 병든 상태는 잎이나 식물 균락으로부터 방사되는 에너지의 양이나 질에 영향을 미친다.

건강한 작물의 잎은 파장 390-770 nm 영역의 가시광선을 조금 반사하고 750-1100 nm 영역의 근적외선을 많이 반사한다. 가시광선 영역의 빛이 조금 밖에 반사되지 않는 것은 엽록소와 같은 식물이 가지고 있는 염료에 의해 빛이 흡수되기 때문이다. 물리적으로 스트레스를 받거나 병이 들거나, 영양이 결핍되었거나, 광합성 염료가 줄게되면 적색과 청색의 반사율이 높고 근적외선의 반사량이 현저히 줄어든다.

원격측정의 한 방법인 열영상과 디지털 영상분석은 관찰 대상 작물을 물리적으로 접촉하지 않고도 비파괴적이며 연속적으로 정보를 얻고 분석하게 해준다. 열영상 장치 및 디지털 영상처리 장치에 의해 얻어진 정보는 컴퓨터에 입력·처리되어 분석과 평가가 용이해지기 때문에 작물에 나타난 이상 변화를 관찰할 경우 객관적이고 일관성있게 식물을 관찰하여 작물 피해 분석의 정확성을 높일수 있다. 또한 생리학적인 스트레스에 기인하여 발생하는 식물의 반응은 관찰하는 순간에 그 증상이 심하지 않아 눈에 띄지 않을 수가 있지만 열영상 장치를 이용할 경우 그 증상을 보다 빨리 감지할 수 있다.

국외의 경우 열영상을 이용하여 작물에 나타나는 온도의 변화와 스트레스사이의 관계를 구명하려는 연구가 몇몇 연구자에 진행되었으나, 구체적인 작물 스트레스와 그 원인과의 상관관계를 분석한 뒤 그 결과를 이용하여 작물의 상태를 모니터링하고 작물 성장 환경을 조절해주는 것에 관한 연구는 찾아보기 힘든 형편이다.

본 연구에서는 시설원예 작물 재배시 가장 나타나기 쉽고 처리가 용이하면서도 시간을 다투어 빨리 대처해 주어야 하는 수분 스트레스를 대상으로 하여 작물의 온도 반응을 구명하

+ 한국과학재단의 연구 지원에 의하여 수행된 연구임

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

여, 작물의 이상 온도 분포를 유발한 스트레스의 원인을 판별·제거해 줄 수 있는 환경 조절 장치를 개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

시설 재배시 작물 성장에 큰 영향을 주는 작물 스트레스의 원인과 증상은 여러 가지가 있을 수 있지만, 이 중에서도 특히 수분의 부족으로 인해 나타나는 스트레스에 대한 개별 작물의 반응을 구명하는데 중점을 두었다. 개별 작물의 수분 스트레스와 그에 대한 반응을 알아보기 위하여 작물에 다른 조건들은 충분하게 공급하면서 수분 스트레스를 유발 시킨 뒤 열영상을 획득하여 작물의 온도 변화를 분석하였다. 수분 스트레스에 대한 반응 구명을 위하여, 스트레스를 받은 작물의 열영상과 수분을 충분하게 공급받는 기준 작물에서 획득한 열영상으로부터 분석한 온도의 변화를 비교하였다. 구체적인 실험방법은 다음과 같다.

수분 스트레스에 대한 작물의 온도 반응 및 분포를 연속적으로 측정하기 위하여  $0.08^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화 측정이 가능한 Thermal Imaging Camera(TH3102MR, NEC, Japan)를 작물로부터 50cm 떨어진 곳에 위치시킨 후 열영상을 획득하였다. 열영상은 가로 256 화소, 세로 240 화소로 이루어지며 온도에 따라 256가지 각기 다른 색으로 표현된다. 열영상에서 작물과 배경의 분리를 용이하게 하기 위하여 균일한 온도분포를 유지할 수 있는 스티로폼을 작물의 배경으로 사용하였다. 작물의 온도 변화를 일으키기 위해 삼파장등을 이용하여 1500 lux의 광을 공급하고 광의 공급이 시작된 순간부터 약 1시간 동안 매 2분 간격으로 열영상을 획득하여 시간에 따른 온도 변화를 분석하였다. 작물 잎 표면의 온도 변화는 상용 열영상처리 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 실험에는 파종후 4주가 지난 상추, 배추, 오이, 고추묘를 사용하였다. 그림 1에 실험장치의 구성도를 나타내었다.

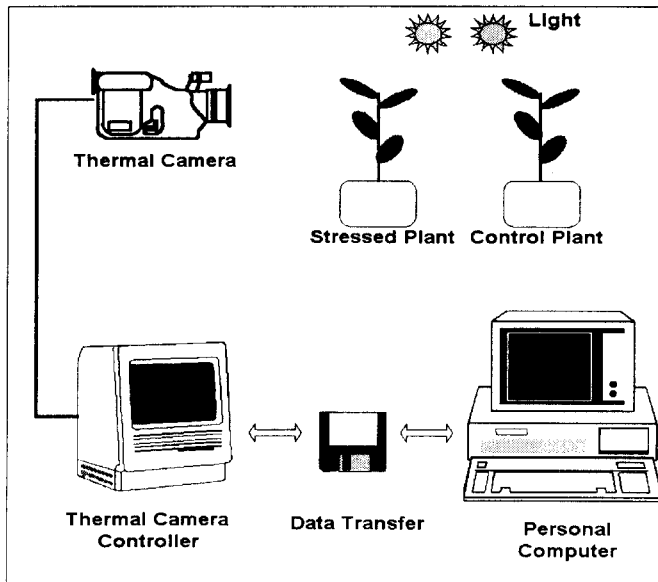


Fig. 1. Schematic of thermal imaging system.

### 3. 결과 및 고찰

수분 스트레스에 대한 작물의 반응을 알아보기 위하여 실험 기간 동안 영양소가 적절히 포함된 배양액을 충분히 공급한 작물과 배양액의 공급을 중단한 작물의 온도변화를 살펴보았다. 온도 변화 양상은 작물에 따라 다른 것으로 나타났다. 상추, 배추, 오이의 경우 실험기간 동안 수분 스트레스를 받은 작물의 온도가 스트레스를 받지 않은 작물의 온도 보다 높은 것으로 나타났으나, 고추의 경우 실험을 시작하고 상당기간이 지나서야 스트레스를 받은 작물의 온도가 높아지는 것으로 나타났다. 각 작물별 수분스트레스에 대한 온도변화는 다음과 같다.

#### 가. 상추

상추는 제 1 본엽을 대상으로 광원을 켜 후 시간에 따른 온도 변화를 조사하였다. 스트레스를 받은 작물과 스트레스를 받지않은 작물 모두 광에너지의 영향으로 서서히 온도가 상승하기 시작하다가 그림 2에서 보는 바와 같이 실험시작 14분 경에 온도가 급속히 상승하여 처음 온도 보다 약  $0.8^{\circ}\text{C}$  높은 상태로 되었다. 20 여분이 지난후 서서히 온도가 하강하여 초기온도로 되돌아 왔으며, 스트레스를 받은 작물의 온도가 실험 기간 동안 스트레스를 받지 않은 작물의 온도보다  $0.6 - 1.0^{\circ}\text{C}$  높게 유지되는 것으로 나타났다.

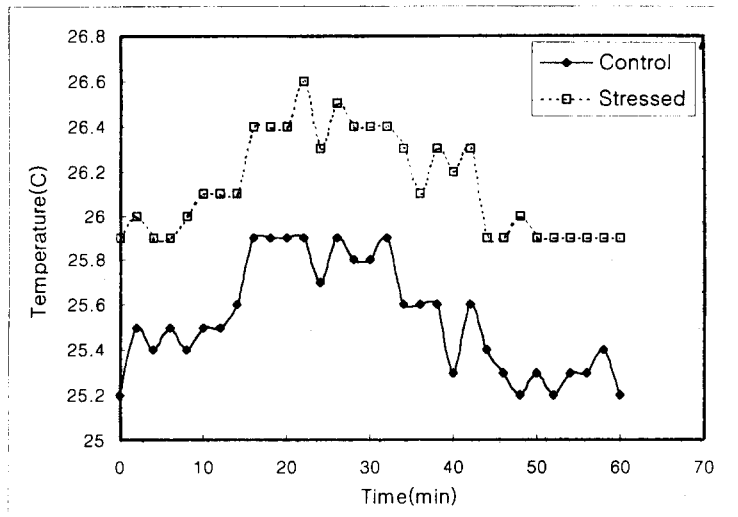


Fig. 2. Leaf-temperature changes of lettuce plants.

#### 나. 배추

배추는 제 3 본엽을 대상으로 온도 변화를 조사하였다. 스트레스를 받은 작물은 전등을 켜 후 4분만에 온도가  $0.8^{\circ}\text{C}$  가량 상승하였다가 10분이 지나면서 서서히 감소하기 시작

하였으며, 실험 시작 20분 후부터는 초기온도에서  $0.2^{\circ}\text{C}$ 의 진폭으로 진동하였다. 스트레스를 받지 않은 작물의 온도는 전등을 켜 후 4분만에 온도가  $0.3^{\circ}\text{C}$  가량 상승하였다가 10분이 지나면서 서서히 감소하기 시작하였으며, 계속해서 온도가 내려가 45분 경부터 초기온도보다  $0.8^{\circ}\text{C}$  낮은 상태로 유지되었다. 이때 스트레스를 받은 작물과 스트레스를 받지 않은 작물의 온도차가 약  $1.2^{\circ}\text{C}$  정도 나는 것으로 나타났다.

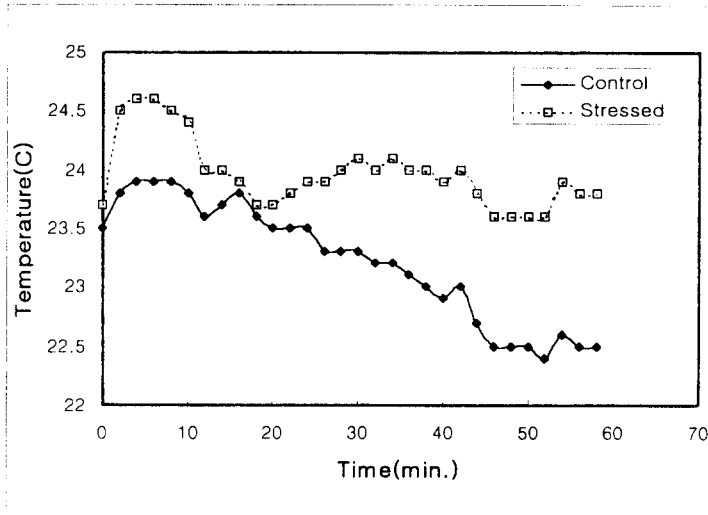


Fig. 3. Leaf-temperature changes of chinese cabbages.

#### 다. 오이

제 3 본엽을 대상으로 온도 변화를 조사한 오이는, 스트레스를 받은 작물과 스트레스를 받지 않은 작물 모두 전등을 켜 후 큰 온도 변화 없이 초기온도에서  $0.2^{\circ}\text{C}$ 의 진폭으로 진동하였다. 광에너지를 공급한 후 40분이 지나면서 두 작물 모두 온도가 서서히 내려가 56분 경부터 처음 온도 보다 약  $0.7^{\circ}\text{C}$  낮은 상태를 유지하였다.

#### 라. 고추

고추는 다른 작물과 달리 광에너지를 공급받으면서 오히려 온도가 내려가서 일정시간이 지난 후에야 다시 온도가 상승하여 초기 온도보다 약  $1-1.5^{\circ}\text{C}$  낮은 상태에서 안정되었다. 스트레스를 받은 작물의 온도 하강 폭이 훨씬 두드러져 16분 경에 초기 온도보다  $3^{\circ}\text{C}$  낮아졌다가 서서히 증가하였다. 스트레스를 받지 않은 작물의 온도 하강 폭은 그보다 작아서 12분 경에 초기 온도보다  $1.5^{\circ}\text{C}$  낮아졌다가 서서히 증가한 뒤 30분 이후부터 초기 온도보다 약  $1.6^{\circ}\text{C}$  낮은 상태를 유지하였다.

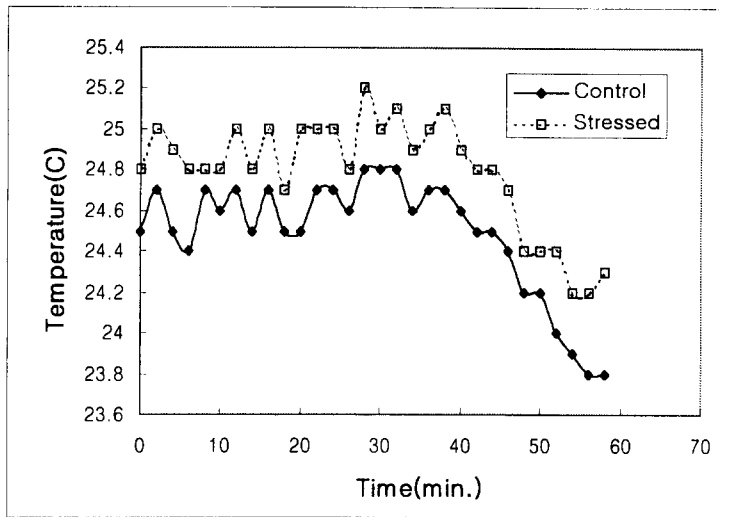


Fig. 4. Leaf-temperature changes of cucumber plants.

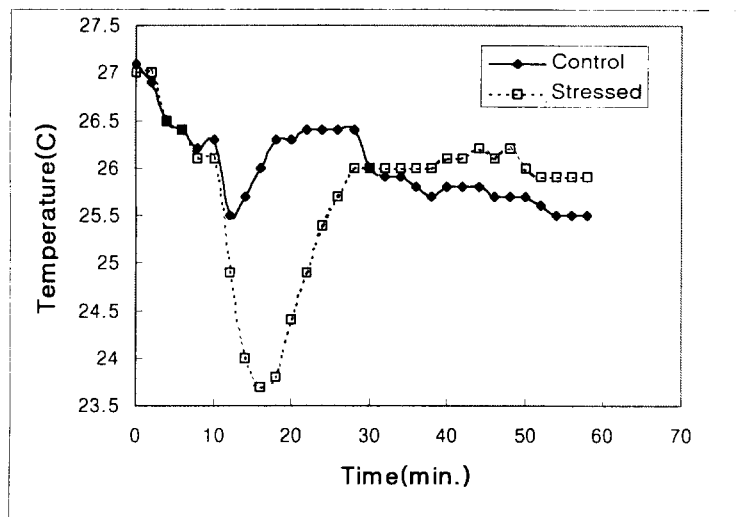


Fig. 5. Leaf-temperature changes of pepper plants.

#### 4. 결론

수분 스트레스에 따른 작물의 온도변화를 구명하기 위하여 수행된 본 연구를 통하여 다음과 같은 사항을 관찰할 수 있었다. 작물의 종류에 따라 그 크기는 다르지만 일반적으로, 수분 스트레스를 받았을 때 작물의 온도는 수분 스트레스를 받지 않았을 때 보다 높게 유지되는 것으로 관찰되었다. 상추, 배추, 오이의 경우 광에너지를 공급하였을 때 온도가 일시적으로 상승하였다가 점차 내려갔으며, 각 작물에 따라 최고 온도와 그 온도에 도달하는 시간에 차이가 있었다. 다른 작물들과 달리 고추는 광에너지를 공급받았을 때 오히려 온도가 크게

내려갔다가 다시 상승하는 것으로 나타났다. 상추, 배추, 고추와 같은 작물은 수분 스트레스를 받은 개체와 스트레스를 받지 않은 개체의 온도 차이가 커, 온도 변화를 이용하여 수분 스트레스의 예측이 가능한 것으로 판단된다. 수분 스트레스 뿐만 아니라, 다른 생장 환경의 부족으로 인한 작물의 스트레스도 작물 온도 변화를 통하여 감지할 수 있을 것으로 예측되며, 이에 대한 연구도 필요한 것으로 판단된다. 또한 시설 재배시 실용적이며 효율적인 작물 상태 모니터링을 위하여는 작물 군락의 스트레스에 대한 반응 구명이 보다 중요하므로, 작물 군락이 스트레스에 어떤 반응을 보이는지를 열영상 분석을 통하여 구명할 필요가 있는 것으로 사려된다.

## 5. 참고문헌

1. Ceccardi, T. L., R. L. Heath, and I.P. Ting. 1995. Low-temperature exotherm measurement using infrared thermography. *Hortscience*. Vol. 30(1): 140-142.
2. Hatou, K., H. Nonami, T. Fukuyama, and Y. Hashimoto. 1995. Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic culture by using image analysis. *Acta Horticulturae*. No. 399: 225-232.
3. Inoue, Y. 1986. Remote-monitoring of function and state of crop community. *Japanese Journal of Crop Science*. Vol. 55(2): 261-268.
4. Iwao, K. and T. Shibata. 1992. Development of an automatic plant growth monitoring system based on a personal computer. *Acta Horticulturae*. No. 319: 613-616.
5. Shimizu, H. and M. Yamazaki. 1992. Non-contact growth analysis using computer vision system. *Acta Horticulturae*. No. 319: 641-646.
6. Spomer, L.A and M.A.L. Smith. 1989. Image analysis morphometric measurement for tissue water status and other determinations. *Agronomy Journal*. Vol. 81: 906-910.