

식물의 성장과 열화상카메라로 측정된 열적 특성과의 연관성 분석

An Analysis of Relationships between Plant Growth and Temperature Characteristics Measured with Thermographic Camera

박상미* · 남다현* · 김지형* · 조건영* · 김하양* · 김정배**†

Park Sang-Mi*, Nam Da-Hyun*, Kim Ji-Hyung*, Jo Geon-Young*, Kim Ha-Yang*
and Kim Jeongbae**†

(Received 29 October 2015; Accepted 20 April 2016)

Abstract : This study was experimentally performed to analyze the growth characteristics of a plant(wax tree or privet) using the surface temperature measured from thermal images captured using a thermal camera with water and cider. To do that, this study measured every each 12 hours the surface temperature and the stem temperature of leaves attached to the plant sample until the plants wilt on summer season in the laboratory room. From the experimental results, this study revealed that the temperature of front and back of the leaves is a little different due to the pore. The mean surface temperature of a leaf in cider is 0.52°C higher than that of a leaf in water. The phenomena that the leaves of plants fall could be also demonstrated using the surface temperature. Before a leaf is falling from the tree, the temperature of the stem is lowered about 2°C than those of other parts in a leaf. This result can be validated from previous result performed in University of Wisconsin.

Key Words : 취뽕나무(Wax tree), 식물성장(Plant growth), 액체(Liquids), 열화상카메라(Thermal camera), 표면온도(Surface temperature)

**† 김정배(교신저자) : 한국교통대학교 에너지시스템
E-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr, Tel : 043-841-5282
*박상미 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생
*남다현 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생
*김지형 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생
*조건영 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생
*김하양 : 한국교통대학교 에너지시스템공학과 학부생

**† Kim Jeongbae(corresponding author) : Department of Energy
System Engineering, Korea National University of Transportation.
E-mail : jeongbae_kim@ut.ac.kr, Tel : 043-841-5282
*Park Sang-Mi : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.
*Nam Da-Hyun : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.
*Kim Ji-Hyung : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.
*Jo Geon-Young : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.
*Kim Ha-yang : Undergraduate, Dept. of ESE, KNUT.

1. 서 론

인간이 잠시 점유하고 있는 지구의 자연에는 다양한 식물들이 살아서 존재하고 있고, 식물들이 살고 있는 환경 조건들 중에서는 특히 검은 색으로 보이는 개천물 속에서도 일부 식물종들이 정상적으로 녹색을 유지하면서 성장하고 있음을 알 수 있다. 광합성을 통해 생명유지를 위한 영양분을 공급받는 식물들의 성장에 대하여 다양한 외부 환경조건들과의 관계를 실험적으로 규명하고자 하는 다양한 연구들이 있어 왔다.

특히, 지렁이 분변토¹⁾나 음식물쓰레기에 포함되어 있는 염분이 식물 성장에 미치는 영향을 분석하거나²⁾, 벚짚에서 추출한 짚초액과 식물 성장과의 관계를 규명하거나³⁾, 환경적 조건 중의 하나인 주위온도와의 관계를 규명하는⁴⁾ 등의 다양한 연구들이 있어 왔다. 특히, 본 연구의 선행 연구로서 연구팀에 의해 수행되었던 이전 연구에서는 우리 인간이 음용하는 다양한 16종의 액체 속에 식물(쥐똥나무)을 담아두는 경우에 식물의 성장 특성이 크게 달라질 수 있음을 확인하였다. 다양한 액체들 중에서도 당과 탄산이 함유된 액체들 속에서는 식물들의 잎과 줄기의 온도 특성이 시간이 흐름에 따라 식물 생육과 깊이 연관됨을 확인한 것이었다.^{5,6,7,8)} 1866년 이후로 국외에서 실험적으로 연구된 탄산가스의 농도에 따른 식물의 성장 특성을 정리하였고, 연관성이 매우 큼을 잘 보여주고 있다.⁹⁾ 이러한 연관성은 국내에서도 9종의 관엽식물, 조생온주, 오이엽 및 사과나무들의 성장과 탄산가스 농도와의 연관성에 대한 실험적 연구결과^{10,11,12,13)}이 제시되기도 하였다. 다만, 식물의 광합성에 필수적인 물의 상태 변화에 따른 식물의 성장 변화가 식물의 온도와의 연관성을 실험적으로

제시하는 기초적인 연구들은 부족하였다.

본 연구에서 수행하고자 하는 식물 성장과 열적 특성과의 연관성을 평가하기 위해서 잎과 줄기의 성장 상태는 가시적으로 확인할 수 있고, 열적 특성은 식물의 생리상태를 분석할 수 있는 엽록소 형광 이미징 기술¹⁴⁾과 열이미징 분석기술¹⁵⁾ 등의 비파괴적인 방법을 적용하여야 한다.

이러한 방법들 중에서 본 연구에서는 열화상카메라를 이용하여 온도 분포를 촬영한 열화상이미지를 이용하여 식물의 잎과 줄기에서의 열적 특성과의 연관성을 검토하였다. 또한, 식물의 성장에 필수적인 물 대신 사이다와 같은 다른 액체 속에서의 환경변화가 식물의 열적 특성과의 연관성도 검토하였다. 물의 대조군으로는 잎의 이탈 혹은 탈락현상이 저자들에게 의해 수행되었던 참고문헌 5, 6, 7, 8의 다양한 액체 중에서 가장 급격하게 발생하였던 사이다를 선정하였다.

이를 위해 본 연구진의 학교내의 가로수로 많이 활용되고 있는 활엽수인 물푸레나무과의 쥐똥나무(문화어:검정알나무)를 물과 사이다 속에 동일한 잎수를 가지도록 준비하였고, 특히 열화상 촬영 등을 위하여 잎들의 위치를 비이커 속에 고정하고 물과 사이다 속에서 성장의 변화를 실험적으로 수행하였다.

2. 실험 개요 및 방법

실험은 아래 Fig. 1과 같이 준비된 쥐똥나무 시료를 비이커 내의 액체 속에 잎을 제외한 나머지 줄기 부분이 잠기게 설치하였다.

실험 중에 위치 혹은 액체량의 차에 따른 오차를 줄이기 위하여 잎의 수는 동일하게 여섯 개만이 존재하도록 위쪽에서부터 남겨두었

고, 액체의 부피는 비이커에 동일하게 200ml로 하였다. 전체 실험은 실험실의 대기상태에서 수행하였으며, 실내에서 하나의 실험 테이블 위에 액체들이 담긴 비이커를 위치시키어 진행되었으며, 창은 블라인드가 없는 상태로 유지하였다.

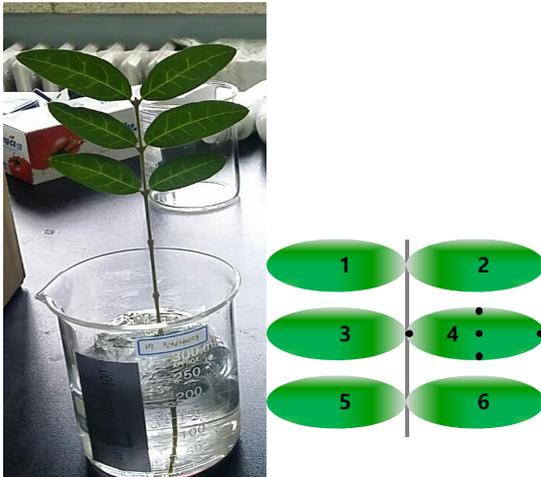


Fig. 1 Photo and numbering of sample plant

비이커 내의 식물의 온도 측정을 위해 열화상카메라를 이용하였는데, 시간에 따라 촬영될 열화상 이미지의 촬영 조건을 고정하기 위하여 호일로 씌운 페트병을 비이커 내에 설치하여 식물 시료를 비이커 가운데로 고정하였다. 열화상카메라는 FLIR사의 T250 모델을 이용하여 12시간 간격으로 오른쪽의 가운데 앞에 5개의 온도 측정 지점을 찍어 촬영된 열화상 이미지로부터 쥐똥나무 잎의 온도를 측정하였다. 1차 실험은 2013년 7월말에, 2차 실험은 2014년 7월말에, 그리고 3차 실험은 2015년 7월말에 수행하였다.

이러한 실험 조건에서 물과 사이다로 선정된 액체 속에서 시간에 따른 잎과 줄기에서의 표면온도 변화와 쥐똥나무의 대사에 의하여

변하는 비이커 내 액체 높이 및 육안으로 관찰되어지는 외형적 변화를 가시적으로 측정하여 분석하여 액체의 조건과 식물의 성장 특성 결과를 제시하였다. 실험에 사용된 물과 사이다는 충분히 실내에서 오래 보관하여 실험시작 시에 액체 온도가 주위온도와 동일하게 유지될 수 있도록 준비하였다.

추가적으로 초기 24시간 동안 쥐똥나무 잎의 변화된 환경에 대한 반응을 분석하기 위하여 30분 간격으로 잎들의 온도변화를 2015년 9월 21일 21시부터 1일간 측정하였다.

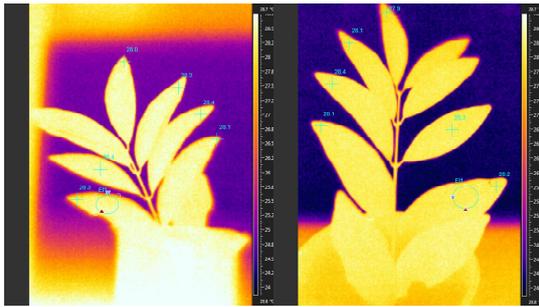
3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 가장 중요한 측정 데이터는 식물의 표면온도이므로 온도 측정에 이용하는 열화상카메라로 촬영된 열화상이미지로부터 평균된 식물의 표면온도를 측정하는 정확도의 평가가 매우 중요하다.

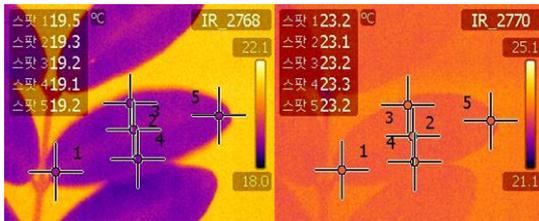
이를 위해 Fig. 2에서와 같이 채취한 쥐똥나무를 물이 채워져 있는 비이커에 담고 열화상카메라로 측정된 이미지로 잎의 앞뒷면 온도를 측정하였고, 이를 평균하여 앞뒷면 온도를 비교하면 약 0.1℃ 정도 뒷면의 온도가 낮게 나타났다. 이러한 결과로부터 열화상카메라로 촬영된 열화상이미지로 평균된 다양한 환경조건에서의 잎과 줄기의 표면온도의 상대적인 차이를 분석할 수 있는 수준임을 확인하였다.

3년간 3차에 걸쳐 수행된 물과 사이다 속의 쥐똥나무에 대한 실험에서, 물 속의 쥐똥나무는 7일 동안 아무런 변화 없이 잘 성장하였다. 그러나 사이다 속의 쥐똥나무는 보통 3일째 야침부터 잎이 마르고 구부러짐이 발생하기 시작하였다. 이와 함께 차수별로 약간의 차이는 있으나 대개 144시간 정도 흐르면서 잎들

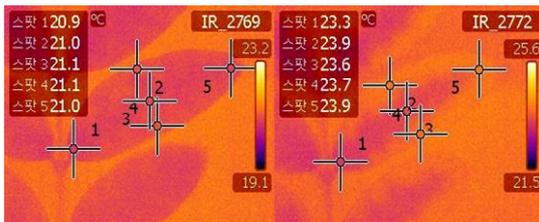
이 특히 2차 실험에서는 144시간 경과 후에 6 개 중 3개의 잎이 떨어졌고, 열화상 카메라로 측정된 뒤 남아있던 나머지 3개의 잎도 모두 떨어짐을 확인하였다.



(a) Front side (b) Back side
Fig. 2 Thermal photo images of a leaf captured using Thermographic camera



(a) Morning in water (b) Evening in water



(c) Morning in cider (d) Evening in cider

Fig. 3 Thermal images of leaves in the liquids

시간에 따른 잎 앞면의 표면온도는 Fig. 3과 같이 촬영된 열화상 이미지로부터 잎 표면에 5개의 온도 측정 포인트를 표시하여 측정된 각각의 온도를 평균하여 Fig. 4와 같이

나타내었다.

Fig. 4에서와 같이 사이다 속에 담긴 잎 앞면의 평균 표면온도가 물 속의 잎의 평균 표면온도에 비하여 초기에는 약 2°C 정도 높았으며, 시간이 경과함에 따라 온도 차이가 줄어들었는데 특히 사이다 속의 잎들이 72시간 경과 즈음부터 시들면서 온도 차이가 줄어들음을 확인하였다. 144시간 동안 평균적으로는 사이다 속의 잎의 평균온도가 물 속의 잎 평균온도에 비하여 약 0.52°C 정도 높음을 알 수 있다.

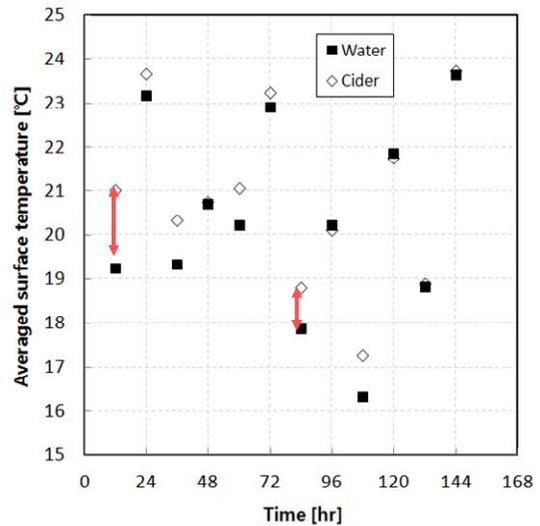


Fig. 4 Averaged surface temperature according to the time of a leaf with water and cider

이러한 잎의 온도 변화는 Fig. 5의 시간에 따른 액체의 부피에서도 나타나는데, 초기에는 사이다의 부피가 탄산의 식물흡수에 의해 빨리 감소하였지만(식물이 없는 비이커 속의 동일량의 사이다에서 시간에 따라 탄산의 증발에 의한 감소량 보다 큼), 일정 시간 이후에는 사이다 속의 쥐똥나무의 잎들이 시들거나 떨어지면서 사이다의 부피가 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다.

특히, 144시간 정도 이후에 사이다 속의 쥐똥나무 잎들이 떨어지기 시작하였는데, 사이다 속의 쥐똥나무 잎이 떨어지기 20분 전에 열화상카메라로 촬영한 이미지인 Fig. 6(그림 내의 검은 선은 잎의 윤곽이 명확하게 나타나지 않아 잎의 존재를 표시하기 위하여 저자들이 표시함)에서와 같이 잎과 줄기가 맞닿는 줄기부분의 온도가 다른 줄기와 잎의 표면온도에 비하여 약 2°C 정도 낮게 유지되고 있었음을 알 수 있다.

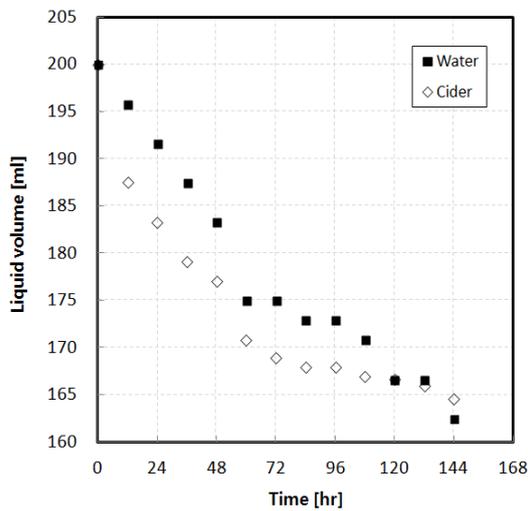


Fig. 5 Liquid volume with the time in beaker



Fig. 6 Thermal image captured in cider before falling

이러한 온도 강하 현상은 2009년 UW의 연구진들이 좌측의 단풍나무(Maple) 가지에서 우측의 잎으로 연결되는 부분에 낙엽이 되기 전에 붉은 색의 Scissor cell을 촬영한 아래의 Fig. 7에서와 같이 단백질이 주성분인 Scissor cell이 잎으로 공급되는 물의 흐름을 차단하는 것으로 발표한 결과와 깊은 연관이 있는 것으로 판단된다. 줄기와 잎의 연결부에 단백질 막 생성에 의해 물 공급이 서서히 차단되면 부분적인 마름현상이 발생하고 이러한 물 공급의 차단이 부분적인 국소적인 온도 강하 현상을 일으키는 것으로 판단된다. 낙하 직전 혹은 시들기 시작하면서 발생하는 온도 강하 현상은 3회 실험에서 동일하게 나타남을 명확하게 확인하였다. 따라서, 식물에서 낙엽이 발생하거나 시드는 현상에 대한 근거의 일부를 본 연구에서 제시한 것으로 판단된다.

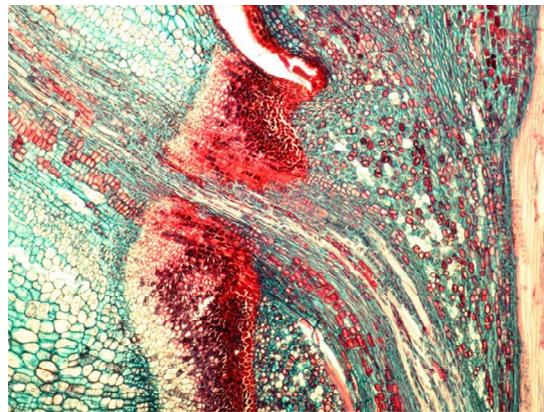


Fig. 7 Scissor cell photo from University of Wisconsin Plant Image Teaching Collection

마지막으로 액체에 쥐똥나무를 담근 후 24 시간 동안의 변화된 환경에 대한 반응은 Fig. 8에 Fig. 1에 표시된 물과 사이다 속의 1번과 3번 잎의 표면온도를 측정하고 이를 평균하여 주위온도와 함께 나타내었다. 가을에 측정된

결과이므로 여름에 측정된 Fig. 4의 결과와 조금의 차이는 있으나, 대체적으로는 12시간과 24시간에서 유사한 온도 차이를 나타내고 있다. 밤 9시부터 시작되어 주위온도는 다음날 일출 전까지 점차 낮아져 5°C 차이를 나타내고 있으며 이에 따라 잎 앞면의 온도도 비슷한 온도차이 만큼 감소하고 있다. 그러나 일출 후에는 주위온도가 약 29.3°C 까지 증가함에 따라 잎 표면온도는 시작온도까지만 상승하는 포물선 형태의 온도변화를 나타내었다. 즉, 식물 주위의 온도는 크게 변화하더라도 잎 자신의 표면온도는 거의 일정한 진폭을 가지고 변화하고 있음을 확인할 수 있다.

물론, Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 사이다 속 잎 앞면의 표면온도가 물 속 잎 앞면의 표면온도보다 높게 유지됨을 확인할 수 있다.

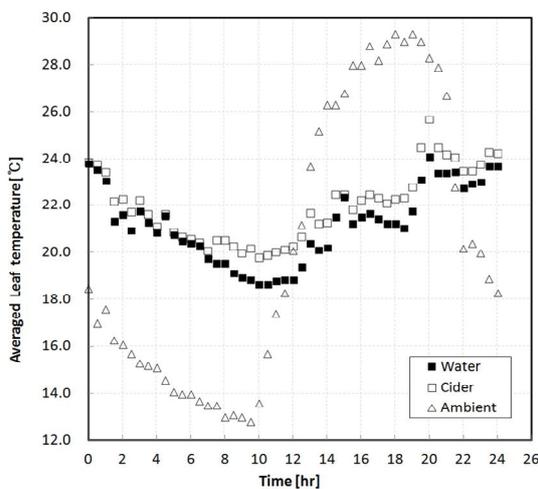


Fig. 8 Averaged leaf temperature with time during 24 hrs

4. 결 론

다양한 환경에서 성장하고 있는 식물(취뽕나무)이 물과 사이다 속에서 어떻게 성장하는지를 실험적으로 규명하고자 하였다. 이를 위

해 가시적인 방법과 열화상이미지를 이용하여 측정된 온도를 이용하여 다양한 결과를 도출하였다.

- 동일한 식물이 물과 사이다 속에서 어떠한 성장특성을 보이는지를 실험적으로 확인하였다.
- 취뽕나무는 사이다 속의 잎 앞면의 표면온도가 물 속의 잎 표면온도에 비해 평균적으로 0.52°C 정도 높았다.
- 144시간 정도 경과된 후에는 사이다 속의 잎이 떨어지기 시작하는데, 사이다 속의 잎이 떨어지기 직전에 잎과 줄기가 맞닿는 줄기부분의 온도가 다른 줄기와 잎의 표면온도에 비하여 약 2°C 정도 낮게 유지되고 있었음을 확인하였다.

Reference

1. Song, J. C, Lee G. C, Jeon S. H, Lee M. D, and Jo G. H, Effect on Growth of Plant with Earthworm Casting, Resource Recovery of Organic Material, Vol. 1, pp. 237-258, 1994.
2. Bae J. G, Joo Y. S, and Park J. S, Salt Concentration of its Food Waste Composting and Effect on Growth of Plant, Resource Recovery of Organic Material, Vol. 10, pp. 103-111, 2002.
3. Kang H. Y, Kim S. H, Kim Y. J, and Park S. S, Effect on Growth of Plant with extracted from Rice Straw Jipchoaek and Antibiotic Effects, The Korean Federation for Environmental Health Association of Origin, Vol. 108, pp. 178-186, 2009.
4. Kim E. S, Kim H. J, Ahn J. H, Kim D. G, Lee G. C, and Suh G. U, Effect on the Temperature is a Cow Parsnip Seed Germination, Korea Resources Botanic Society Academic Symposium,

- pp. 131, 2012.
5. Park J. Y and Kim J, Experimental Basic Study on Growth Characteristics of Plant with Various Liquids, KSES Spring Conference Proceedings, pp. 122-124, 2014.
 6. Park S. M, Jo G. Y, and Kim J., Experimental Basic Study on Growth Characteristics of Plant with the Liquid(I), KSES Autumn Conference Proceedings, pp. 255-257, 2014.
 7. Park S. M, Kim J. H, Kim H. Y, Jo G. Y, and Kim J, Experimental Study on Growth Characteristics in Leaves of a Plant, KSES Spring Conference Proceedings, pp. 12-12, 2015.
 8. Park S. M, Nam D. H, Kim J. H, Kim H. Y, Jo G. Y, and Kim J, Experimental Study on Growth Characteristics in Leaves of various Plants with various Liquid Conditions, KSPBT Annual Conference Proceedings, pp. 65-65, 2015.
 9. Enoch H. Z and Olesen J. M, Plant Response to Irrigation with Water Enriched with Carbon Dioxide, New Phytologist, Vol. 125, pp. 249-258, 1993.
 10. Choi J. I, Yu K. W, Seon J. H, and Paek K. Y, Photosynthesis and Stomatal Conductance of Nine Foliage Plants as Affected by Photosynthetic Photon Flux Density and CO₂ Concentration, KOR. J. HORT. SCI. & TECH., Vol. 16, pp. 132, 1998.
 11. Jwa S. M, Kand S. B, and Moon D. K, Effects of Diurnal Range of Temperature and Enhanced CO₂ on Photosynthesis and Growth of Early-maturing Satsuma Mandarin, KOR. J. HORT. SCI. & TECH., Vol. 17, pp. 663, 1999.
 12. Lim J. T, Kim H. J, Chung S. J, and Lee B. S, Effects of Photosynthesis Rate of Hydroponically Grown Cucumber Plants as Affected by Light Intensity, Temperature, Carbon Dioxide and Leaf Nitrogen Content, Proceedings of Protected Horticulture and Plant Factory, Vol. 8, pp. 187-191, 1999.
 13. Ro H. M, Kim P. G, Lee I. B, and Yiem M. S, Photosynthetic and Morphometric Responses of Apple Trees after Three Years of Exposure to Elevated Carbon Dioxide and Temperature, Proceedings of KOR. J. HORT. SCI. & TECH., pp. 40, 2001.
 14. Lichtenthaler K. H and Miehe J. A, Fluorescence Imaging as a Diagnostic Tool for Plant Stress, Trends in Plant Science, Vol. 2, pp. 316-320, 1997.
 15. Chung B. C and Lee C. H, Analysis on Growth Characteristics of Plants using Thermal Imaging Technology, BioWave, Vol. 3, pp. 1-12, 2001.