

## 溫室栽培 토마토의 莖直徑 變化에 의한 灌溉時期 診斷<sup>1)</sup>

이 변 우

서울대학교 농업생명과학대학 농학과

## Diagnosis of Irrigation Time Based on Microchange of Stem Diameter in Greenhouse Tomato

Lee, Byun-Woo

Dept. of Agronomy, Seoul Nat'l University, Suwon 441-744

### Abstract

Stem diameter and shoot fresh weight of tomato grown in greenhouse were measured non-destructively at 10 minutes interval from 1 to 16 July, 1996 with displacement detector using strain gauges and with suspension-type load cell, respectively, and simultaneously were measured soil water potential, transpiration and solar radiation. Ample water was irrigated before experiment, and thereafter, irrigations were made on the next morning when visual symptoms of wilting appeared. Shoot fresh weight and stem diameter showed very similar patterns in diurnal changes which are characterized by predawn maximum and afternoon minimum and in long-term evolutions, suggesting that stem diameter shrinkage and expansion are closely related to plant water content and growth, respectively. Shoot weight and stem diameter reached minimum values a little later than the time on which transpiration showed maximum. The daily net gains of fresh weight(DG) and stem diameter(DI) showed significantly positive correlations with solar radiation in those days on which plants were not water-stressed. However, DI and DG on those days of water stress showed much lower values than expected from the relationships between solar radiation and them. Transpiration was much lower than the expected potential transpiration on 10 July, implying that plants were water-stressed. In this case water stress was not detected from visual symptom of wilting and/or soil water potential, but was able to be identified by the lower DI and DG than the expected. The maximum contraction of stem diameter(MC) and the maximum loss of fresh weight(ML) during daytime showed significantly positive correlations with solar radiation in those days on which plants were not water-stressed and were observed greater than expected from the relationships on severely water-stressed days. But mild water stress could not be discernable by ML and MC. It would be concluded that the daily net gains of fresh weight and/or stem diameter could be used as criteria for diagnosing the water status of tomato and for triggering the onset of irrigation in automatic system.

주 제 어 : 토마토, 경직경, 지상부 생체중, 관개

Key words : tomato, stem diameter, shoot fresh weight, irrigation

<sup>1)</sup>이 연구는 '94~'96 농림수산 특정연구사업 연구비 지원으로 수행되었음.

## 서 언

온실은 피복재에 의하여 강우가 차단되기 때문에 노지와는 달리 관개가 필수 불가결하며, 관개 방법의 양부는 온실재배 작물의 수량 뿐만 아니라 품질에도 많은 영향을 미친다. 따라서 관개 필요 시기를 정확하게 진단하여 적정량의 관개를 하여야 하는데, 작물의 관개 개시 시기를 결정하는 데에는 작물의 체내 수분 상태를 기준으로 하는 것이 토양수분 상태를 기준으로 하는 것보다 유리하다고 한다<sup>11,12)</sup>. 작물의 체내 수분상태는 엽수분포텐셜, 잎의 상대수분함량 등을 측정하여 판단하는 것이 일반적이나 비파괴적으로 연속 관측하는 것이 어렵기 때문에 관개시기의 판정에 이용하기 어렵다<sup>13)</sup>. 그런데 경직경의 변화는 작물의 수분상태를 잘 반영하며 비파괴적으로 연속측정이 용이하여 이를 식물체 수분상태 변화의 간접적 지표로 삼아 관개시기의 결정에 이용하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>1, 3, 6, 11~17)</sup>. 경직경은 수분의 흡수와 증산의 불균형 및 생장에 의하여 수축과 팽창을 하는데<sup>9,17)</sup>, 증산이 최대로 이루어지는 시각보다 다소 지체되어 최대로 수축이 되고 이후 증가하여 해뜨기 직전에 최대로 팽창이 되는 일변화를 보인다<sup>6, 8, 17)</sup>. 경직경의 최대 수축량은 일중 최소 엽수분포텐셜 및 토양수분함량과 높은 상관성을 보인다는 보고<sup>3)</sup>와 상관성이 낮다는 상반된 보고<sup>7)</sup>도 있는데 이는 대상 작물의 차이에서 기인되는 것으로 보인다. 한편 해뜨기 직전에 나타나는 최대 경직경은 해뜨기 직전의 엽수분포텐셜 및 토양중 유효수분함량과 높은 정의 상관성을 보인다고 한다<sup>7)</sup>. 경직경 변화에 근거한 관개 시기의 판단 지표에 대해서는 Higgs와 Jones<sup>4)</sup> 및 Huguet<sup>5)</sup>는 경직경의 수축 정도를 이용하였으나 Katerji 등<sup>6, 7)</sup>은 최

대 경직경의 일증가량을 기준으로 하는 것이 줄기의 수축 정도를 기준으로 하는 것 보다 유리하다고 하였다.

본 연구에서는 온실재배 토마토에서 경직경의 경시적 변화와 식물체내 수분, 토양수분, 증산, 일사량 등과의 관계를 정량적으로 파악하여 토마토 경직경의 monitoring에 의한 온실 재배 토마토의 관개시기 진단 방법을 모색하고자 하였다.

## 재료 및 방법

벤로형 유리온실(85m<sup>2</sup>)에서 토마토 품종 서광(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Seokwang)을 1996년 1월 17일 파종하여 3월 19일에 플라스틱 포트[27cm(W) × 44.5cm(L) × 30cm(D)]에 정식하여 재식밀도가 8주/m<sup>2</sup>가 되도록 배치하였다. 토양 증발을 막기 위하여 투명 플라스틱 필름을 멀칭하였고 물관리는 점적관수 시스템으로 토양수분 장력이 0.2bar 이하가 되도록 관개하였으며 본 실험기간 중인 7월 1일부터 7월 20일까지는 실험 목적에 따라서 한낮에 토마토에 위조 증상이 나타날 때까지 건조 시킨후 관개를 하였다.

토마토 경직경의 변화는 strain gauge(120 Ω) 4개로 full bridge를 구성하여 제작한 경직경변화 측정기<sup>12)</sup>를 군락 중앙부에 위치한 2개체에 대하여 측정하였는데 경직경 측정기는 제1화방이 붙어 있는 마디 바로 위 부분에 설치하였다. 경직경 측정 개체의 줄기 기부 근처에 sapflow meter(model SG10 & SG13, Dynamax Inc, Houston, TX)를 설치하여 증산류를 측정하여 증산을 평가하였으며, 토마토 체내 수분함량의 변화는 위와 동일 개체를 load cell(suspension type)에 매달아<sup>2)</sup> 지상부

생체중의 변화로 측정하였다. 한편 온실 내부의 일사량, 순복사량, 온도, 풍속, 지면으로부터 10cm와 20cm 이하의 토양수분포텐셜, 엽온 등을 측정하였다. 모든 관측은 10초 간격으로 측정하여 10분간 평균을 집계하여 이용하였다.

### 결과 및 고찰

그림 1은 7월3일의 온실내 일사량, 증산량, 생체중 및 경직경의 일변화를 나타낸 것이다. 증산 속도의 일변화는 일사량의 일변화 패턴과 매우 유사하였으며, 식물체의 수분상태를 나타내는 생체중은 일출 직후인 오전 6시경에 최대에 달한 후 증산의 증가와 함께 감소하기 시작하여 증산이 최대에 달한 시각보다는 다소 지체되어 15시경에 최소를 나타냈으며 이후 증산의 감소와 함께 증가하였다. 이는 일출 이후 수분 흡수의 증가가 증산의 증가보다 지체되기 때문이다<sup>9)</sup>. 오전 6시에 비하여 15시의 생체중은 약 22g/개체 감소하였는데, 이 기간 중의 광합성에 의한 생체중 증가를 감안하면 실제 수분함량의 감소는 이보다 큼을 알 수 있다. 한편 경직경의 일변화 패턴 역시 생체중의 변화와 매우 유사하여 6시경에 줄기가 최대로 팽창하였다가 이후 수축하기 시작하여 15시경에 최대로 수축되고 이후 다시 팽창하였다. 따라서 경직경 변화는 식물체의 수분 흡수와 증산의 불균형에 의한 식물체의 수분 함량 변화를 잘 반영하는 것으로 판단이 되었는데, Simonneau 등<sup>17)</sup>도 복숭아나무에서 같은 결과를 보고하였다.

그림 2는 7월 1일부터 16일까지 토양수분포텐셜, 생체중 및 경직경의 경시적 변화를 나타낸 것이다. 물관리는 실험 시작 날인 7월 1일에 충분히 관개를 하였으며 이후는 외관상으로 위조 증상이 나타나기 시작한 다음날 오전 8시경에 관개를 하였다. 실험기간중 토양수분포텐셜의 경과를 보면 토중 10cm는 -0.2bar, 20cm는 -0.15bar로 유지되다가 7일부터 낮아지기 시작하여 각각 -0.7bar와 -0.3

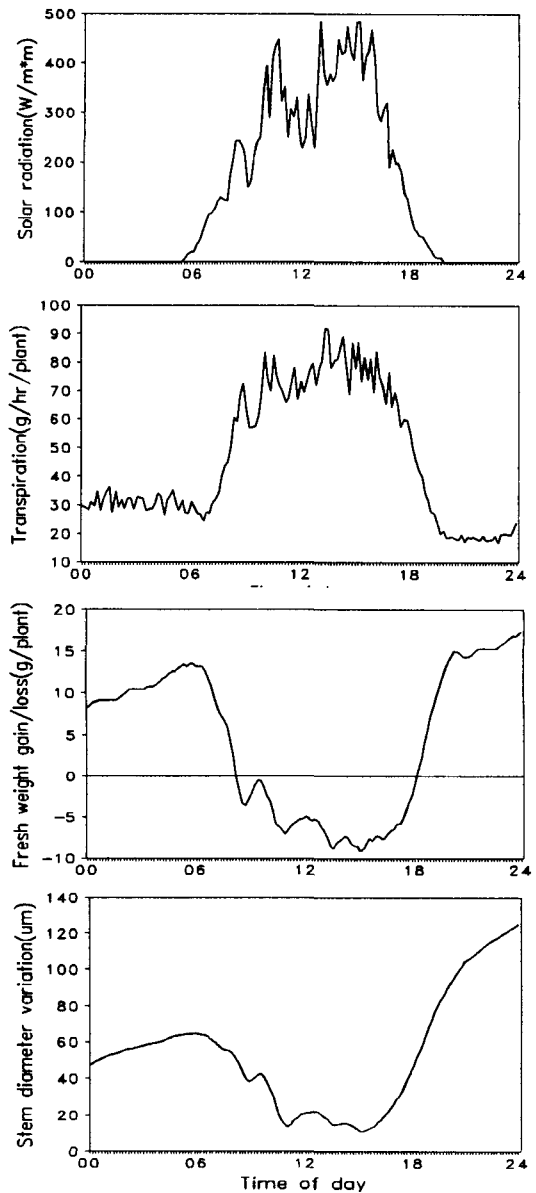


Fig. 1. Diurnal fluctuations of solar radiation, transpiration, fresh weight and stem diameter of greenhouse tomato on 3 July, 1996.

bar까지 저하하였으며 8일 오전에 관개 후 다시 각각 -0.2bar 및 -0.18bar까지 높아졌다.

10cm의 경우는 11일부터 다시 낮아지기 시작하여 12일 오전 관개하기 직전에는  $-0.35\text{bar}$  까지 낮아졌으며 20cm의 경우는 이 기간중 서서히 낮아져  $-0.21\text{bar}$ 를 나타내었다. 12일 이후는 10cm와 20cm 모두 약  $-0.2\text{bar}$ 를 유지하였다. 지상부 생체중과 경직경은 매우 유사한 변화 패턴을 보였는데, 앞에서 언급한 바와 같이 일출 경에 최저에 이르고 낮에는 감소하는 일변화를 보이는 동시에 식물체가 성장함에 따라서 경시적으로 증가하는 변화를 보였다. 그러나 낮에 외관적으로 위조 증상이 나타났고 토양수분포텐셜이 현저하게 낮아졌던 7일과 11일의 경우 생체중 및 경직경의 증가가 둔화되거나 정지하였고 관개 이후 다시 정상적인 증가 경향을 나타내었다. 10일의 경우는 외관적인 위조 증상이 나타나지 않았고 토중 10cm와 20cm의 토양 수분 포텐셜이  $-0.2\text{bar}$  이상으로 유지되었음에도 불구하고 생

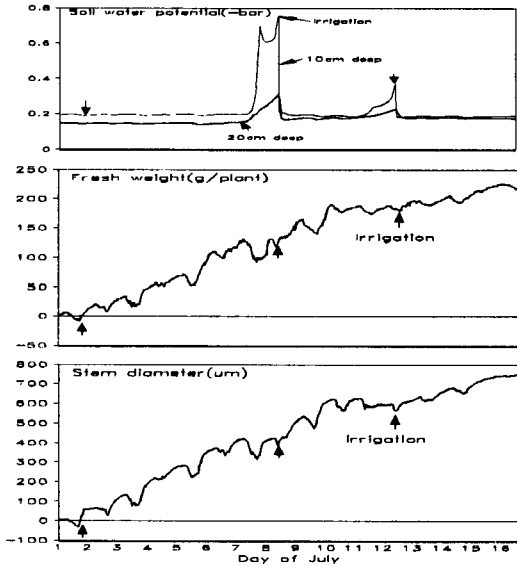


Fig. 2. Time course changes of soil water potential, shoot fresh weight and stem diameter of tomato plant from July 1 to 16, 1996. Stem diameter and shoot fresh weight were described on the basis of 0 at 10:00h on July 1.

체중 및 경직경의 증대가 이루어지지 않았다.

실험기간 중 식물체의 수분장애 여부를 판단하기 위하여 증산량의 측정치와 증산모델<sup>10)</sup>에 의하여 예측한 증산량을 대비하여 나타낸 것이 그림 3이다. 이 증산모델은 일사량, 균락 순복사량, 열-대기수증기압차 등을 입력변수로 하여 토양수분이 부족하지 않은 상태에서 증산을 예측하는데<sup>10)</sup>, 그림에서 보는 바와 같이 7, 10, 11일을 제외하면 실측치와 예측치가 매우 잘 일치한다. 그러나 7, 10, 11일은 예측치 보다 실측치의 증산량이 현저하게 낮아 수분장애가 있었던 것으로 판단된다.

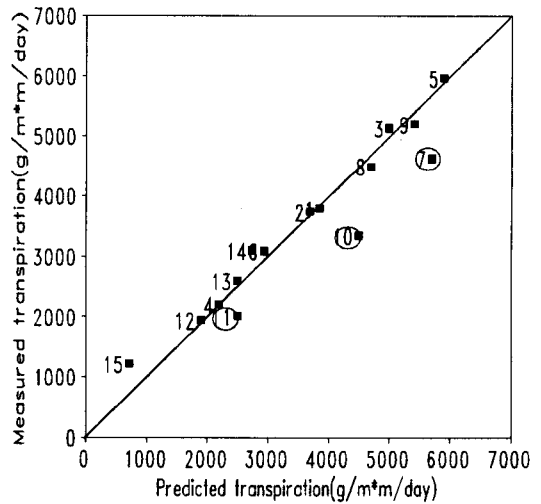


Fig. 3. Comparison of daily transpirations measured and predicted by the model(Lee, 1997). Numbers in the graph mean the dates of July.

식물체의 경직경 변화와 수분 상태 및 성장 변화의 관계를 정량적으로 파악하기 위하여 생체중과 경직경의 일변화(그림 1) 및 경시적 변화(그림 2) 특성을 그림 4와 같이 정량화 하였다. 즉 J일과 J+1일의 일출 무렵의 생체중 및 경직경의 차는 J일의 주간 광합성에 의한 성장뿐만 아니라 식물체 수분함량의 변화를 동시에 의미하는 것으로서 각각 일당 생체

중 증가량(g/일, DG) 및 일당 경직경 증가량( $\mu\text{m}$ /일, DI)으로 나타내었다. 또한 일출 무렵의 최대생체중 및 경직경과 낮 동안의 최저생체중 및 경직경의 차이는 증산과 수분흡수의 불균형에 의한 체내수분 감소를 반영하는 것으로서<sup>3,17)</sup> 각각 최대수분손실량(g/일, ML) 및 최대경직경수축량( $\mu\text{m}$ /일, MC)으로 나타내었다.

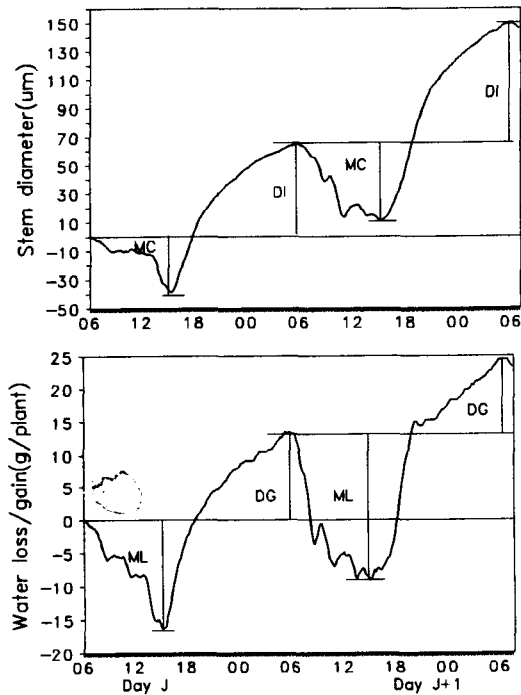


Fig. 4. Schematic representation of time course change in stem diameter and fresh weight of tomato: MC, maximum contraction of stem diameter; DI, daily increase in stem diameter; ML, maximum loss of water; DG, daily gain of fresh weight.

그림 5에서 보면 DG와 DI 및 ML과 MC는 고도로 유의한 정의 상관성을 나타내어 경직경의 증가는 생체중의 증가를 잘 반영하며 또한

낮 동안의 경직경의 수축은 체내 수분함량의 감소를 잘 반영하여 경직경의 변화는 성장과 식물체의 수분변화에 대한 유용한 정보를 제공하는 것으로 판단된다. Schoch 등<sup>14,16)</sup>은 DI와 순광합성량 간에는 정의 상관성이 있다고 하였다. 또한 Garnier와 Berger<sup>3)</sup>는 MC와 일중 최소 엽수분포텐셜 간에, Simonneau 등<sup>17)</sup>은 주간의 경 수축과 수분함량간에 밀접한 관련이 있다고 하여 본 연구와 유사한 결과를 보고한 바 있다.

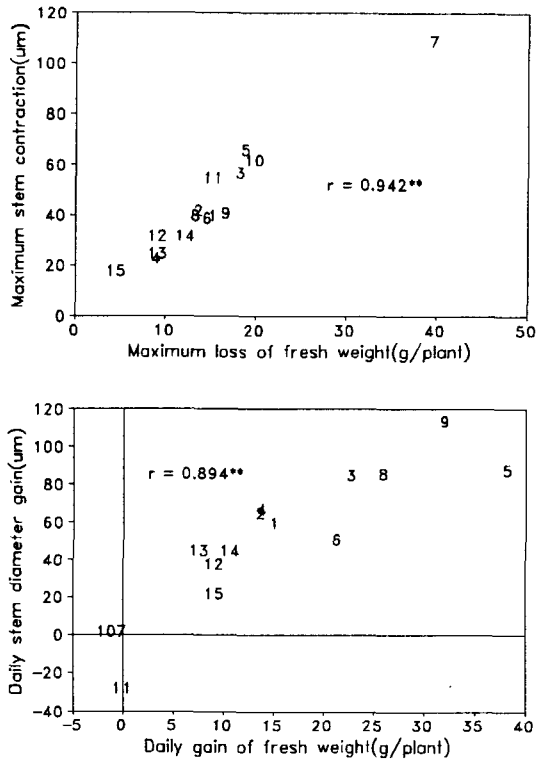


Fig. 5. Relationship between daily increases of shoot fresh weight(DG) and stem diameter(DI), and daily maximum contraction of stem(MC) and daily maximum loss of shoot fresh weight (ML).

그림 6은 일사량과 DG, DI, ML 및 MC와의

관계를 나타낸 것이다. 일사량과 DG 및 DI와는 고도로 유의한 정의 상관관계가 있어서 DG 및 DI는 일사량의 증대에 비례하여 증대되는 경향으로 물이 부족하지 않은 상태에서 DG와 DI는 광합성 증대에 따른 성장을 잘 반영하는 것으로 생각되며 Schoch 등<sup>15,16)</sup>도 적산일사량과 최대 경직경, 순광합성과 경직경 증가량(DI)은 정비례 관계가 있다고 하였다. 그러나 수분장애가 나타난 것으로 판단되는 7, 10, 11일의 경우는 각 날의 일사량에 의하여 기대되는 DG 및 DI보다 현저하게 낮았다. 따라서 DG 및 DI는 작물의 수분장애 여부를 판단하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 보이며 10일의 경우 외관상으로는 토양수분 상태로부터는 작물의 수분 부족을 파악하기 어려웠으

나 DG 및 DI에 의하여 분명하게 수분 부족이 파악될 수 있었던 것을 감안하면 토양수분에 근거하여 관계 시기를 결정하는 것 보다 DG 또는 DI로 판단하는 것이 유리한 것으로 판단된다. 한편 일사량과 ML 및 MC와는 유의한 정의 상관관계를 보여 일사량이 많아 증산이 증대될수록 낮 동안의 식물체 수분함량 감소 및 줄기의 수축이 비례하여 증대되며 수분장애가 나타났던 날은 경향치 보다 높은 경향이였다. 그러나 수분장애가 미약하게 나타나기 시작한 10일의 경우는 확연하게 구분이 되지 않았는데 이는 식물체가 수분부족상태에 들어가면 기공을 닫아 증산이 줄어들기<sup>7)</sup> 때문인 것으로 생각된다. 따라서 경직경 및 생체중의 변화로 관계 시기를 판정하고자 하는 경우 ML 또는

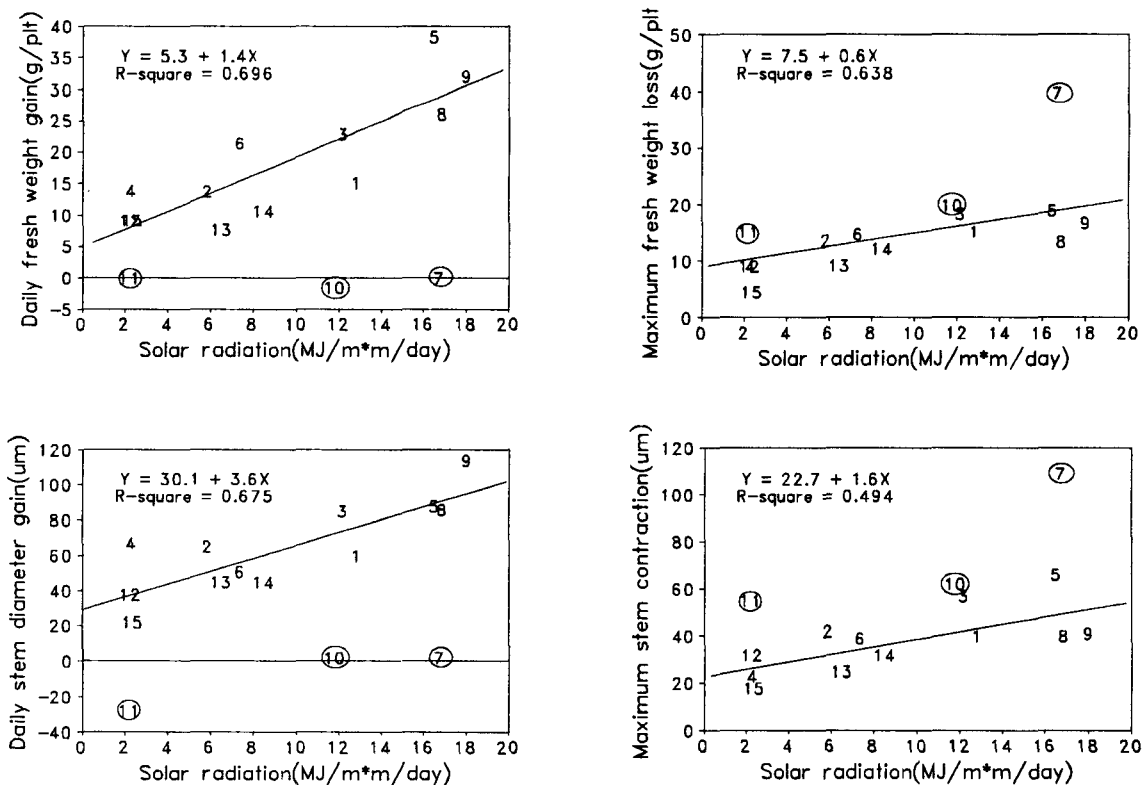


Fig. 6. Relationship between the daily solar radiation and the daily increases of shoot fresh weight(DG) and stem diameter(DI), and the maximum loss of shoot fresh weight(ML) and the maximum contraction of stem diameter(MC). The encircled dates were water-stressed and excluded in the calculation of regressions.

MC를 기준으로 하는 것보다는 DG 또는 DI를 기준으로 판단하는 것이 유리할 것으로 판단되었는데 Katerji 등<sup>6,7)</sup>도 가지와 옥수수에 대한 실험에서 MC를 기준으로 하는 것보다 DI에 근거하여 관개 시기를 진단하는 것이 타당하다고 하였다.

이상의 결과들로부터 볼 때 DG 및 DI는 작물의 수분상태 변화를 잘 반영하며 이들의 연속적인 monitoring을 통하여 관개 시기의 정확한 진단이 가능하며 이를 토마토의 관개 자동화에 이용할 수 있을 것이다.

## 적 요

본 연구의 목적은 온실재배 토마토에서 경직경의 경시적 변화와 식물체내 수분, 토양수분, 증산 및 일사량 등과의 관계를 정량적으로 파악하여 토마토 경직경의 monitoring에 의한 관개시기 진단 방법을 모색하는 것이다. 스트레인게이지로 제작한 경직경 미소변화 측정장치와 load cell을 이용하여 각각 경직경 변화 및 지상부 생체중의 변화를 1996년 7월 1일부터 16일까지 10분 간격으로 측정하였으며, 또한 토양 수분함량, 증산, 일사량 등도 동시에 관측하였다. 실험을 시작하기 전에 충분한 관개를 하였으며 이후는 외관상으로 위조증상이 나타나기 시작할 때 관개를 하였다. 생체중과 경직경은 매우 유사한 일변화를 보였는데 해뜰 무렵인 오전 6시경에 최대치에 이르고 이후 일사량과 증산의 증대에 따라서 감소하기 시작하여 증산이 최대에 이르는 시각보다 다소 늦은 오후 3시경에 최저에 달하였다가 일사 및 증산의 감소에 따라서 다시 증대하여 경직경의 변화와 체내수분함량의 변화와는 매우 밀접한 관계가 있었다. 수분부족 증상이 없었던 날들의 일당 경직경 증가량(DI) 및 생체중 증가량(DG)은 일사량과 높은 정의 상관관을 보였으나 수분부족장애를 받은 날들은 일사량에 따른 이들의 기대치보다 현저하게 낮아 생체중 및 경직경 증대가 매우 둔화되거나 오히려 감소하여 이를 기준으로

관개시기를 정확하게 판단하는 것이 가능하였다. 실험기간 중 7월 10일의 경우 외관상으로는 위조증상이 없었으나 증산량은 현저히 감소하여 식물체가 수분부족 상태였던 것으로 판단되었는데 이 날 토중 10cm 및 20cm에서의 토양수분 포텐셜은  $-0.2\text{bar}$  이상으로 전일과 큰 차이가 없었으나 경직경 및 생체중의 증가는 현저히 둔화되어 수분 부족을 잘 반영하였다. 한편 낮 동안의 생체중 최대감소량(ML)과 경직경 최대수축량(MC) 역시 일사량과 유의한 정의 상관관을 보여 일사량 및 증산량 증대에 따라 체내 수분 손실량이 증대하고 이에 따라서 경직경이 감소하는 관계를 보였다. 그리고 식물의 수분장애가 심한 경우에는 일사량에 따른 이들의 기대치보다 현저하게 높았으나 수분장애가 미약한 경우에는 기대치와 구별하기가 어려워 이들을 기준으로 관개시기를 정확하게 판단하기는 어려운 것으로 판단되었다. 따라서 관개시기의 판단에는 토양수분, MC 및 ML을 기준으로 하는 것보다 DG 또는 DI를 기준으로 하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다.

## 인 용 문 헌

1. Baille, M., J. C. Lauty and A. Baille. 1992. Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeter, greenhouse  $\text{H}_2\text{O}$  balance and LVDT sensors. *Acta Hort.* 304 : 199-208.
2. de Koning, A. N. M and J. C. Bakker. 1992. In situ plant weight measurement of tomato with an electronic force gauge. *Acta Hort.* 304 : 183-186.
3. Garnier, E. and A. Berger. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *J. Appl. Ecol.* 23 : 193-209.
4. Higgs, K. H. and H. G. Jones. 1984. A microcomputer-based system for contin-

- uous measurement and recording fruit diameter in relation to environmental factors. *J. Exp. Bot.* 35 : 1646-1655.
5. Huguet, J. G. 1985. Appr ciation de l'eta hydrique d'une plante a partir des variations micrometrique de la dimension des fruits ou des tiges en cours de journees. *Agronomie* 5 : 733-741.
  6. Katerji, N., P. G. Schoch, P. Rimgoto and J. C. L'Hotel. 1990. Diagnostic des p riodes de contrainte hydrique chez des plantes d'aubergine cultiv es en serre, au moyen des microvariations des tiges. *Agronomie* 10: 541-549.
  7. Katerji, N., T. Francois, B. Olivie and Q. Philippe. 1994. Behavior of maize stem diameter during drying cycles: Comparison of two methods for detecting water stress. *Crop Sci.* 34 : 165-169.
  8. Klepper, B., V. D. Browning and H. M. Taylor. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiol.* 48: 683-685.
  9. Kramer, P. J. and J. S. Boyer. 1995. *Water relations of plants and soils.* Academic Press. pp. 495.
  10. 이 변 우. 1997. 온실재배 토마토의 증산 모델 개발 및 검증. *생물생산시설환경* 6 (3): 투고중.
  11. Li, S. H. and J. G. Huguet. 1990. Controlling water status of plant and scheduling irrigation by the micromorpho-metric method for fruit trees. *Acta Hort.* 278 : 332-342.
  12. Moriya, H., K. Iwao. and H. Kageyama. 1992. Studies on non-destructive and continuous measurement of water contents and applications to irrigation in crop culture. *Acta Hort.* 304 : 345-351.
  13. Namken, L. N., J. F. Bartholic and J. R. Runkles. 1969. Monitoring cotton plant stem radius as an indication of water stress. *Agron. J.* 61 : 891-893.
  14. Schoch, P. G., J. C. L'H tel, P. Daupl and G. Conus et M. J. Fabre. 1989. Microvariations de diam tre de tige pour le pilotage de l'irrigation. *Agronomie* 9 : 137-142.
  15. Schoch, P. G., J. C. L'H tel et B. Brunel. 1990. Croissance du diametre de la tige de tomate : Errets du rayonnement et de la temperature nocturne. *Agric. and For. Meteor.* 50 : 229-238.
  16. Schoch, P. G., N. Katerji, P. Rimgoto, M. Tchamitchian, P. Malet. J. C. L'Hotel and M. C. Daunay. 1987. Influence du niveau d'alimentation hydrique sur les variations du diametre des tiges, du potentiel hydrique, de la resistance stomatique, de la transpiration et de la photosynthese de l'aubergine(*Solanum melangena* L.). *Agric. and For. Meteor.* 40 : 89-104.
  17. Simonneau, T., R. Habib, J. P. Goutouly and J. G. Huguet. 1993. Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content : Direct evidence in peach trees. *J. Exp. Bot.* 44(260) : 615-621.