

토마토 잎의 비파괴 계측에 의한 N, P, Ca 결핍 장애 진단법 비교

Comparison of Non-destructive Measuring Methods of Tomato Plant to Detect N, P and Ca Deficient Stresses

서 상 룡	류 욱 성	정 갑 채	성 제 훈	이 성 희
정회원	정회원		정회원	
S. R. Suh	Y. S. Ryu	G. C. Chung	J. H. Sung	S. H. Lee

SUMMARY

A series of experiments was conducted to evaluate the capability of detecting nutrimental deficient stress of N, P and Ca of a tomato plant using several fast and intact type physiological properties measuring devices - a chlorophyll content meter, an infra-red thermometer to measure leaf temperature, a chlorophyll fluorescence meter, a porometer, an optical spectrometer, a multi-scan radiometer, and a canopy analyzer.

To detect N deficient stress a chlorophyll content meter, a spectrometer and a multi-scan radiometer were useful and their possibility to detect was estimated as about 50%, 100% and 100%, respectively. To detect P deficient stress the infra-red thermometer, the porometer and the spectrometer proved their usefulness and their possibility to detect was estimated as about 70%, 70% and 70%, respectively. To detect Ca deficient stress an thermometer, a porometer, a spectrometer and a multi-scan radiometer were useful and their possibility to detect was estimated as about 60%, 70%, 80% and 100%, respectively.

The experiments resulted that use of a spectrometer and a multi-scan radiometer in combination with a chlorophyll content meter, an infra-red thermometer and a porometer were desirable to distinguish the nutrimental stresses tested in the study.

주요용어(Key Words) : 장애 진단(Stress detection), 토마토(Tomato), 질소 결핍장애(N deficient stress), 인 결핍장애(P deficient stress), 칼슘 결핍장애(Ca deficient stress)

1. 서 론

재배 중인 작물의 생육상태를 파악하는 수단으로서 농업 종사자들은 인간의 육안에 의해 관찰한 결과를 그 동안 축적한 경험과 대조하여 그 장애

정도를 판단하여 왔다. 그러나 이와 같은 방법은 관찰자의 주관에 좌우되는 문제가 있다. 최근 과학기술의 발달에 따라 특정 계측기를 사용하여 관찰 대상 작물의 특성을 관찰하고 그 결과로부터 작물의 생육상태를 객관적으로 파악하려는 기술이

개발되고 있다(Buschmann 등, 1994; Carter, 1994; Jackson 등, 1986; Lichtenthaler 등, 1988).

생육중인 작물을 대상으로 할 경우 작물의 계측은 작물의 잎이나 줄기의 비파괴적인 생체계측을 필요로 하며 비접촉의 원격측정이 더욱 바람직하다. 이러한 특성을 갖춘 주요 계측기의 종류와 특성은 Sung 등(1999)과 Ryu(2000)와 Suh와 Chung(2000)이 논의한 바와 같다. 작물재배 현장에서 이러한 계측기는 생체정보 수집의 가능성과 측정의 신속성이 기본적으로 요구되고, 이러한 기기의 유용성은 그 측정에 의한 생육장해 진단 가능성과 진단의 신속성(조기진단; early detection) 정도에 의해 결정된다.

본 연구는 오이와 토마토의 생육장해 진단법을 찾는 Suh와 Chung(2000)이 수행한 연구의 일환으로서 일반 작물의 주요 영양소인 N, P, Ca 결핍장해를 인위적으로 부여한 토마토를 공시재료로 하여 연구대상 영양 결핍 장해에 대한 다양한 측정기의 진단 가능성과 그의 조기진단 수준을 판단하는 내용으로 수행하였다. 이는 단엽 또는 군락으로부터 비교적 신속하게 생체정보 수집이 가능한 주요 비파괴 계측기를 대상으로 하여 각 측정기의 토마토 영양장해 진단의 특성을 파악하고 상호 비교하여 실험한 각 영양장해에 유용한 계측기를 결정하기 위한 목적으로 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료와 사용기기

(1) 실험재료

본 연구에서 사용한 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)는 인큐베이터 내에서 발아시켜 훈탄(carbonized chaff) 포트에 이식한 다음 본엽이 4~5 매 전개될 때까지 재배한 후 4 ℓ 양액 통 또는 양액 박막 시스템에 정식하여 양액재배 방식으로 생육하였다. 공시 작물인 토마토를 양액재배한 이유는 토마토에 공급하는 특정 영양분의 제한을 용이하게 할 수 있어 특정 원소 결핍을 유발하기에 편리하기 때문이다. 양액재배시 사용한 양액은 3차 증류수에 기본적으로 Cooper(1975) 양액 조성법을 적용하되 처리구 토마토의 양액은 각각 N,

P, Ca 성분을 배제하여 조성하였다. 양액재배시 지하부의 환경을 균일하게 하기 위해 양액 통에는 공기펌프를 설치하여 공기를 공급하였다. 배양액은 토마토의 양분 흡수가 배양액 영양분의 종류별로 달라서 시간 경과에 따라 배양액의 조성이 변하기 때문에 2~3일 간격으로 배양액 전량을 새로운 것으로 교체하며 실험하였다.

(2) 실험기기

본 연구에서 사용한 실험기기는 모두 7 종류로서 이들은 작물 생체정보를 수집하는 방법에 따라 식물의 단엽용과 군락(canopy)용으로 구분할 수 있다. 단엽을 대상으로 측정하는 계측기는, 엽록소함량을 제작회사에서 정의한 SPAD 단위로 측정하는 엽록소측정기(chlorophyll meter, Minolta Co. Ltd., model SPAD-502), 엽온을 이용하여 영양결핍 장해 토마토를 진단하고자 대기온과 엽온 차(DT)를 비접촉방식으로 측정하는 적외선 엽온측정기(infrared AG multimeter, Everest Interscience, Inc., model 510B), 광화학효율을 측정하는 Fv/Fm(variable fluorescence/maximum fluorescence) 또는 Fm/2 상승시간($t_{1/2}$)으로 측정하는 엽록소형광측정기(chlorophyll fluorescence measurement system, Morgan Scientific Inc., model CF-1000), 잎의 기공저항과 증산량을 측정하는 기공저항측정기(LI-COR, Inc., model LI 1600), 측정 범위가 400 ~ 2500 nm에서 2 nm 간격으로 식물 잎의 흡광도 스펙트럼 자료를 수집하기 위한 분광분석기(NIRSystem, Perstorp Analytical, Inc., model 6500)이었다. 식물군락을 대상으로 사용한 계측기는 다파장복사계(multi spectral radiometer, Cropscan, Inc., model MSR16)였다. 본 연구에서 사용한 다파장복사계는 작물 군락의 광학적 반사도를 측정하는 기기로서 중심파장 485, 560, 660, 830 nm에서 작물 군락 복사에너지의 입사 에너지에 대한 비율을 측정하는 기기이다.

나. 실험방법

실험은 N, P, Ca 결핍 장해를 준 토마토(처리구)와 정상생육 토마토(대조구)를 동시에 동일 환경에서 다음과 같이 재배하며 전술한 측정기로 토마토 잎 또는 군락의 특성을 측정 비교하는 방법으로 수행하였다.

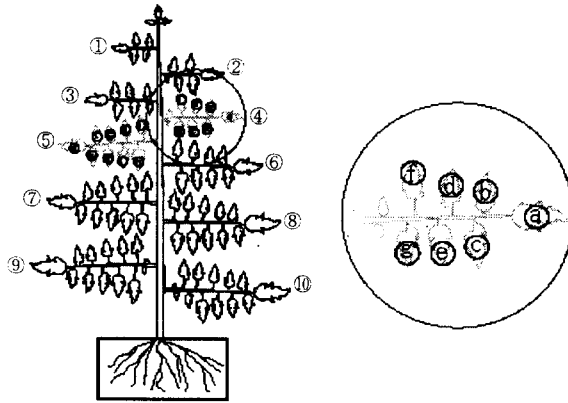


Fig. 1 Shape of a tomato tree and various locations of tomato leaves.

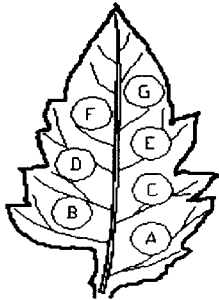


Fig. 2 Possible locations on a tomato leaf to measure the physiological properties of a tomato plant.

단엽용 계측기는 소형의 4 l 양액통이나 양액 박막 시스템으로 재배한 토마토에서 3~4주를 선택하고 이들의 여러 잎 중 엽령이 3~4주 정도 된 2개 잎(그림 1에서 가지 번호 4와 5의 b 위치 잎)을 각각 측정대상으로 정하고, 각 잎에 있어서는 그림 2의 C 위치에서 그 특성을 측정하였다. 이러한 측정위치는 여러 가지 장애에 대하여 대체로 민감한 것으로 알려진 활발한 성장과정에 있는 잎으로서, 그 잎에서의 측정위치는 그 잎의 특성을 대표할 수 있는 위치를 선택한 결과이다. 군락용 계측기는 실제의 양액 박막형 토마토 재배장치에 정식한 토마토를 대상으로 하여 그 군락의 특성을 측정하였다. 전술한 7종 계측기의 각 측정항목은

15~20일간의 토마토 재배 실험기간 동안 매일 오전 10:00~12:00 사이에 측정하였다.

이러한 토마토의 생육장애에 대한 실험은 그 결과의 재현성 정도를 확인하기 위하여 각 장애별로 수회 반복하였는데, 단엽용 계측기의 경우 N 결핍 장애 실험은 6회(기공저항측정기의 실험은 5회), P 결핍 장애 실험은 3회, Ca 결핍 장애 실험은 5회(기공저항측정기의 실험은 3회) 반복 실험하였고, 군락용 계측기인 다과장복사계에 의한 실험은 N과 Ca 결핍 장애에 대하여 2회 반복 실험하였다.

이상의 모든 실험은 광주시 소재 전남대학교 실험포장내 플라스틱 온실과 인공생육실(growth chamber)에서 98년 1월부터 2000년 6월까지 약 2.5년간에 걸쳐 수행하였다. 온실내 실험의 실험기간은 7월과 8월의 하절기 고온기간을 제외한 기간으로서 실험기간 중 온실내 생육환경은 실험에 따라 차이가 있으나 전반적으로 토마토 재배에 적합한 수준으로서 주중과 야간의 평균 온습도는 각각 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 와 $70 \pm 10\%$, $15 \pm 5^\circ\text{C}$ 와 $85 \pm 10\%$ 의 범위였다. 인공생육실내 실험시 토마토의 생육환경은 가능한 온실내 토마토 재배환경과 유사하게 오전 7시부터 오후 7시까지 실내온도는 25°C , 상대습도는 $65\sim 70\%$, 광도는 $370 \pm 30 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$ 으로 조절하였고, 오후 7시부터 익일 오전 7시까지 조명없는 암실상태에서 실내온도는 15°C , 상대습도는 $80\sim 85\%$ 로 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

각 측정기의 실험결과는 먼저 토마토 영양장애 진단의 가능성 여부를 판단하는 내용으로 분석하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 장애 진단이 가능한 경우를 각 측정일에 있어 처리구와 대조구 측정값간의 유의수준이 5% 이하이고 이 조건을 연속해서 3일 이상 유지한 경우로 정의하여 그 가능성을 판단하였다. 이러한 처리구와 대조구간의 유의성은 Microsoft사의 Excel 프로그램의 t-검정을 이용하여 분석하였으며, 매 실험에서 이상의 장애진단 가능성 분석은 처리 후 12일까지 매일 계속하였다.

임의 측정기에 의한 토마토 영양장애의 진단의 유용성을 다른 측정기와 비교하기 위하여, 본 연구에서는 수차에 걸친 동일한 반복실험 결과로부터 각 측정기에 의한 진단의 가능성(반복실험 중 진단이 가능했던 실험 횟수의 비율로서 10% 단위로 산출)을 구하였고, 진단이 가능한 경우 장애발생 후 최초진단가능일(진단가능 기간의 첫째 날)을 구하였다. 이러한 실험결과 분석의 중간과정은 Suh와 Chung(2000)의 보고자료와 같다.

이상의 방법으로 각 측정기의 진단 유용성을 분석한 결과를 측정기별로, 엽록소측정기, 엽온측정기, 엽록소형광측정기, 기공저항측정기를 첫째 군, 분광분석기를 둘째 군, 다과장 복사기를 셋째 군으로 나누어 설명하면 다음과 같다.

가. 엽록소측정기, 엽온측정기, 엽록소형광측정기, 기공저항측정기를 이용한 장애진단의 유용성 분석

엽록소측정기, 엽온측정기, 엽록소형광측정기 및 기공저항측정기를 이용하여 실험한 3가지 영양장애의 진단가능성과 최초진단가능일의 분석 결과를 나타낸 것은 표 1이며, 이를 기초로 각 측정기의 진단의 유용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

엽록소측정기에 의한 토마토 영양장애의 진단 가능성은 N 결핍 장애의 경우(그림 3 참조) 50% 정도였고, P 결핍 장애 토마토는 3회의 실험에서 모두 장애처리 후 12일이 경과해도 처리구와 대조구간의 차이가 불분명하여 그 진단이 불가능한 것으로 나타났으며, Ca 결핍 장애의 경우 진단의 가능성은 40% 정도였다. 최초진단가능일은 표와 같이 N 결핍과 Ca 결핍 장애의 경우 대체로 10 일 전후로 나타났다.

적외선 엽온측정기의 경우 대부분의 실험에서 영양장애 처리구와 대조구의 DT(대기온과 엽온차)는 -7 ~ 0℃ 범위에서 변화하였으며 처리구의 DT와 대조구의 DT간의 차이는 실험기간 경과에 따라 명백한 차이를 견지한 경우도 있었으나 대부분 실험의 경우 그 차는 실험일에 따라 비교적 큰 변화를 보였다. N 결핍 장애 토마토의 경우 처리구의 DT가 대조구의 DT에 비하여 약간 높은 경향이었으나 그 차는 불분명하였고 6회의 실험 중 DT에 의해 N 결핍 장애의 진단이 가능했던 실험은 오직 1 회였다. P 결핍 장애 토마토 경우 대조

Table 1 Possibility of detection of nutrimental deficient stresses of tomato (in %) and a range of first detectable day (in parenthesis) from the day of application of the stresses by the chlorophyll meter, the infrared thermometer for leaf temperature, the chlorophyll fluorescence meter and the porometer

Nutritional Stress	Chlorophyll meter	Infra-red Thermometer	Chloro. Fluore. meter	Porometer
N	50%, (6-10)	20%, (11)	30%, (8-9)	30%, (1-5)
P	0%	70%, (1-2)	0%	70%, (1-5)
Ca	40%, (11-12)	60%, (1-3)	0%	70%, (2-8)

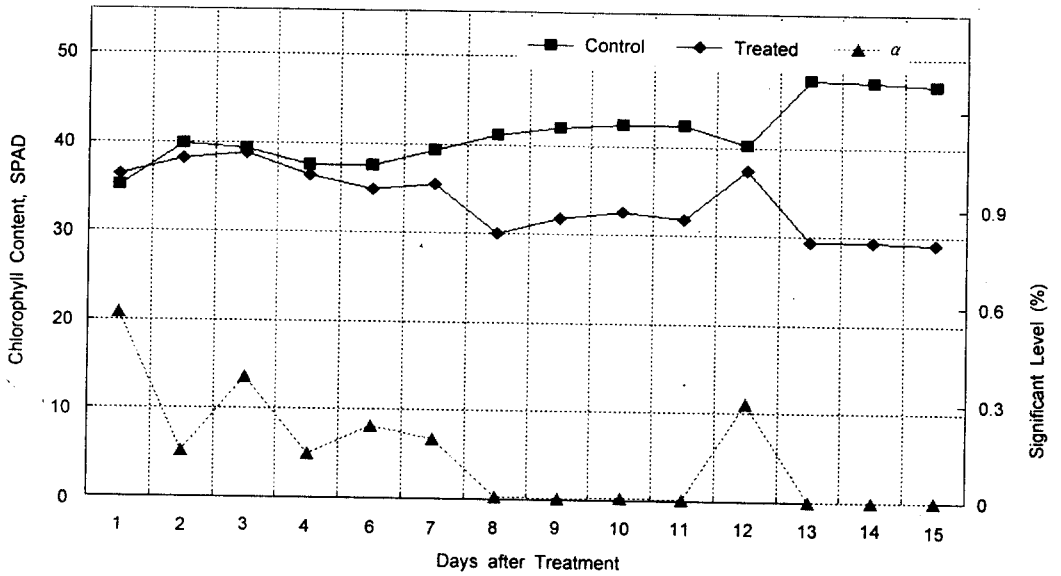


Fig. 3 An experimental result to detect N deficient stress by measurement of chlorophyll content of leaf, where α is the significant level of difference between control and treated tomato plants.

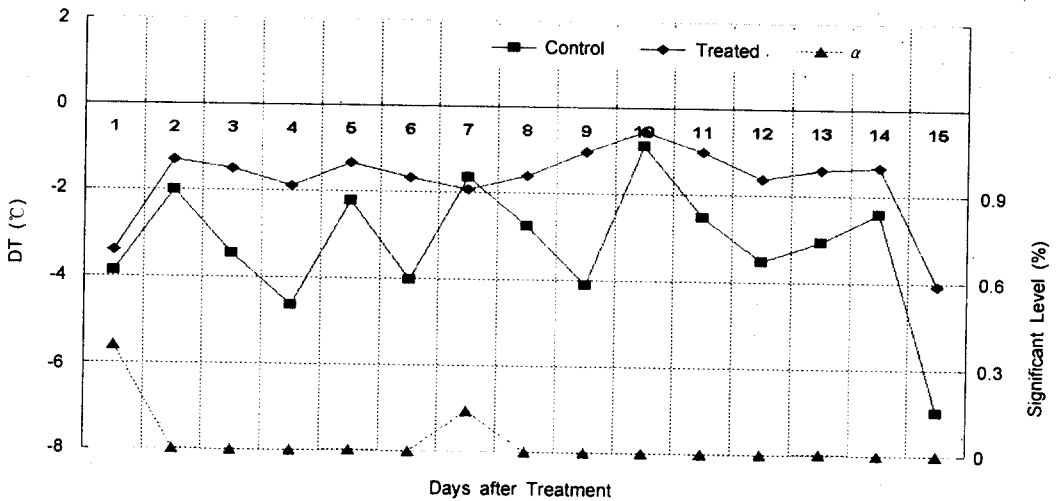


Fig. 4 An experimental result to detect P deficient stress by leaf temperature measurement, where DT = ambient temperature - leaf temperature and α is the significant level of difference between control and treated tomato plants.

구와 처리구의 DT를 비교한 결과 대조구와 처리구간 DT의 차이는 실험에 따라 비교적 큰 차이를 보였으며 유의성 분석 결과 이에 의한 P 결핍 장애

의 진단은 가능하였으며 진단의 가능성은 70%의 비교적 높은 수준으로 나타났다. Ca 결핍 장애 토마토도 DT에 의한 진단이 가능한 것으로 나타

났으며, 진단의 가능성은 60% 수준이었다. 참고로 엽온에 의한 P 결핍 장애의 진단이 가능했던 실험의 예는 그림 4와 같다.

적외선 엽온측정기에 의한 최초진단가능일은 진단의 가능성이 60% 이상인 P와 Ca 결핍의 경우 1~3일로서 표에서 나타낸 4종의 측정기 중 가장 조기진단이 가능한 측정기임을 알 수 있었다.

엽록소형광측정기로부터 측정된 Fv/Fm 값은 광화효율을 나타내는 지수로서 정상 상태의 식물체에 비하여 생육장애를 받고 있는 식물체의 Fv/Fm 값이 낮으므로 이를 이용하여 식물체의 생육장애 여부를 확인할 수 있는데(Lichtenthaler와 Rinderle, 1988), 실험 결과 N 결핍 장애의 Fv/Fm 값에 의한 진단의 가능성은 30% 정도로 낮은 수준이었고, P 결핍과 Ca 결핍 토마토의 엽록소형광측정기에 의한 진단은 표와 같이 불가능한 것으로 나타나 결과적으로 엽록소형광측정기에 의한 토마토의 영양장애 진단은 유용하지 않는 것으로 판단되었다.

기공저항측정기로부터 측정된 기공저항은 정상 상태의 식물체에 비하여 생육장애를 받고 있는 식물체의 경우 그 값이 증가하고 증산량은 생육장애를 받고 있는 식물체의 경우 감소하는 경향이 있으므로 이를 이용하여 식물체의 생육장애 여부를 판단할 수 있다. N 결핍 장애 토마토의 기공저항과 증산량 관찰에 의한 진단의 가능성은 40% 수준이고, P 결핍 토마토는 70% 수준으로 비교적 높은 편이었으며, Ca 결핍 토마토도 70% 수준에서 그 진단이 가능한 것으로 분석되었다. 이러한 진단의 가능성으로 판단할 때 기공저항측정기는 토마토 영양장애 진단을 위한 측정기로서 전술한 4종의 측정기 중 가장 효과적인 측정기임을 알 수 있었다.

이상의 실험 결과를 Sung 등(1999)이 보고한 오이의 N 결핍장애 실험 결과와 비교하면, 엽록소측정기의 경우 진단 가능성이 오이의 경우 거의 100%이었음에 비하여 토마토의 경우는 상당히 낮은 수준이며 최초진단가능일은 서로 비슷한 결과였다. 엽온측정기의 실험 결과는 오이와 토마토 공히 비슷한 결과이고, 엽록소형광측정기에 의한 토마토의 장애진단의 수준은 오이에 비하여 매우 낮은 수준임을 알 수 있었다. 토마토의 장애진단

수준이 오이에 비하여 낮은 것은 토마토가 오이에 비하여 생육장애에 강한 식물일 뿐만 아니라 오이는 광엽 식물임에 비하여 토마토는 소엽 식물로서 장애가 일어 발현되는 정도가 낮았던 것으로 판단되었다. 따라서 전술한 측정기에 의한 작물의 영양장애 진단 방법을 모색할 경우, 작물별 각 측정기의 특성이 상호 유사한 부분도 있으나 작물에 따라 상당한 차이가 있으므로 이를 고려하여 장애진단을 위한 방법을 모색해야 할 것으로 판단되었다.

나. 분광분석기를 이용한 장애진단의 유용성 분석

분광분석기로 얻은 측정자료는 피측정체의 흡광도 자료로서, 1개 측정자료는 측정 범위 400~2,500 nm 내에서 2 nm 간격으로 수집한 스펙트럼 자료로서 1,050개, 즉 1,050종류의 파장별 흡광도로 구성된 것이다. 본 연구에서는 수집한 실험자료 분석을 위해 먼저 실험한 3가지 영양장애에 민감한 파장대와 그 중심파장을 구한 다음 이들을 중심으로 분광분석에 의한 장애진단의 유용성을 전술한 방법과 같은 방법으로 분석하였다.

장애에 민감한 파장대의 결정방법은 각 장애별 각각의 실험에서 토마토 영양장애 처리구와 대조구의 유의성을 전술한 400 nm~2,500 nm의 측정범위에서 2 nm 간격의 1,050가지 파장별로 매일의 측정자료를 분석한 다음 그 중 여러 실험에서 명백하게 조기에 유의성을 나타낸 파장대역을 구하는 방법이었다. 중심파장은 앞서 구한 민감 파장대역 내의 대체적인 중간 파장으로 결정하였다. 이렇게 구한 민감 파장대와 중심파장은 실험마다 차이가 있어 본 연구에서는 이들을 10 nm 단위로 구하였다. 이러한 민감 파장대와 중심파장의 결정과정을 예시한 것은 그림 5와 같다.

이상의 방법으로 분석한 결과, N 결핍 장애 진단에 민감한 파장대는 440~510 nm, 510~640 nm, 680~750 nm의 3개 대역이 선정되었다. 이 결과를 오이의 N 결핍장애 진단 결과(Sung 등, 1999)와 비교하면, 오이의 경우는 민감 파장이 560과 710 nm인 가시광선 영역과 1,890~1,970 nm의 근적외선 영역에서도 있었지만 토마토의 경우는 가시광

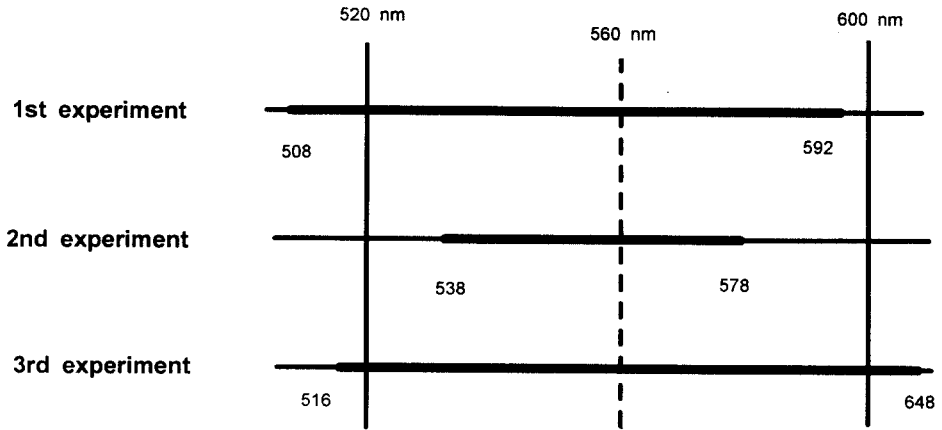


Fig. 5 A graphical demonstration to determine a sensitive wavelength band and a central wavelength around 560 nm to detect Ca deficient stress.

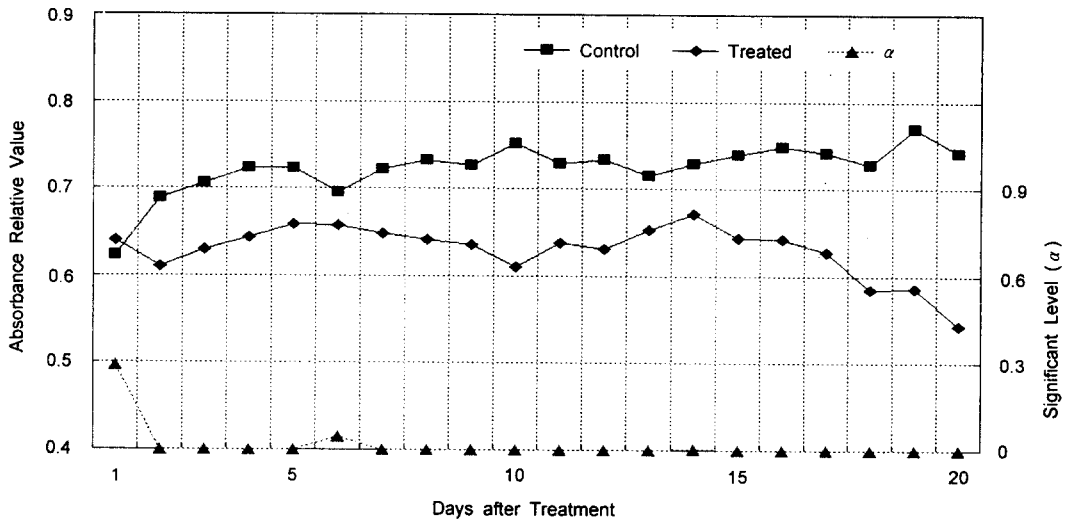


Fig. 6 An experimental result to detect Ca deficient stress by measurement of light absorbance of leaf at a wavelength of 560 nm, where α is the significant level of difference between control and treated tomato plants.

선 영역에서만 나타난 점이다. P 결핍 장애 진단에 민감한 파장대는 440~510 nm, 1,100~1,130 nm의 2개 대역이었고, Ca 결핍 장애 진단에 민감한 파장대는 440~510 nm, 520~600 nm, 690~740 nm의 4개 대역이었다. 이 결과로부터 실험한 3가지 장애를 진단하는데 민감한 파장대의 중심파장을 구하였는데, 이는 장애별 중복되는 영역에서는

동일한 중심파장으로 구하였으며 그 결과는 480, 560, 710, 1,120 nm이었다.

이러한 중심파장으로 판단한 분광분석의 토마토 3 가지 영양장애의 진단가능성과 최초진단가능일을 분석한 결과는 표 2와 같다. 분광분석에 의한 토마토 영양장애 진단은 중심파장 480 nm의 경우 N, P, Ca 결핍장애 공히 진단가능성이 30~40% 범

Table 2 Possibility of detection of nutrimental deficient stresses of tomato (in %) and a range of first detectable day (in parenthesis) from the day of application of the stresses by the selected central wavelengths of the spectrophotometric measurement

Nutrimental Stress	480 nm	560 nm	710 nm	1120 nm
N	30%, (1-5)	100%, (1-8)	100%, (1-11)	
P	30%, (8)			70%, (5-8)
Ca	40%, (3-5)	80%, (2-9)	80%, (2-10)	

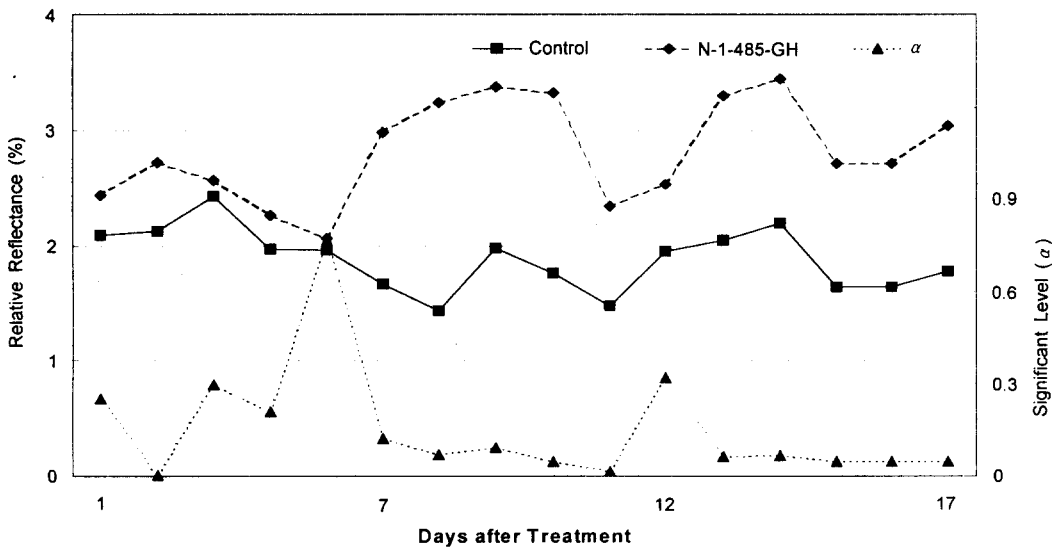


Fig. 7 An experimental result to detect N deficient stress by the multi-spectral radiometer at a center wavelength of 485 nm, where α is the significant level of difference between control and treated tomato plants.

위의 낮은 수준으로 나타났다. 그러나 중심파장 560과 710 nm의 경우는 N과 Ca 결핍 진단에 매우 우수한 결과를 보였으며, 최초진단가능일은 표와 같이 1~11 일의 범위로서 실험에 따라 상당한 차이를 나타냈다. 중심파장 1,120 nm의 경우 P 결핍 진단의 가능성이 70%로 나타난 점은 특기할 만한 결과였다. 분광분석 방법에 의해 토마토의 생육장애를 진단할 경우 이러한 결과를 응용하면 장애여부를 판단할 뿐만 장애의 종류도 예측할 수 있을 것으로 예상되었다.

다. 다파장복사계를 이용한 장애진단의 유용성 분석

다파장복사계와 균락분석기로 판단한 토마토 3 가지 영양장애의 진단가능성과 최초진단가능일을 분석한 결과는 표 3과 같다. 다파장복사계를 사용하여 N 결핍 장애 처리구와 대조구 토마토를 분석계의 4가지 파장대에서 관찰한 결과, 2회의 실험에서 모두 중심파장 485, 560, 660, 830 nm의 4 종 파장대에 의해 N 결핍 장애를 진단(그림 7 참조)할 수 있어 다파장복사계가 N 결핍 장애 진

Table 3 Possibility of detection of nutrimental deficient stresses of tomato (in %) and a range of first detectable day (in parenthesis) from the day of application of the stresses by 4 wavelength bands of the multi-scan radiometer

Nutrimental Stress	485 nm	560 nm	660 nm	830 nm
N	100%, (4-10)	100%, (1-7)	100%, (4-11)	100%, (4-7)
Ca,	50%, (5)	100%, (5-7)	100%, (5-8)	0%

단에 매우 유용한 기기임을 알 수 있었다. Ca 결핍 장애 토마토도 정상 생육 토마토와 재배하며 관찰한 결과, 중심파장 560 nm(그림 6 참조)와 660 nm의 경우는 2회의 실험에서 모두 Ca 결핍 장애를 진단할 수 있어 사용한 다파장복사계가 Ca 결핍 장애 진단에도 매우 유용한 기기임을 알 수 있었다. 그리고 중심파장 830 nm의 경우 N 결핍 진단은 가능하고 Ca 결핍 진단은 불가능한 것으로 보아 전술한 분광분석 결과와 같이 이러한 결과를 응용하면 장애의 종류도 예측할 수 있을 것으로 판단되었다.

라. 종합 검토

이상의 실험의 결과에서 유의할 점은 장애진단이 가능한 경우 최초진단가능일이 동일한 반복실험에서 실험간 상당한 차이를 보인 점이다. 이는 최초진단가능일이 토마토의 온실 재배시 온습도나 일사량 등 인위적 제어가 불가능한 주요 재배환경 관련 변수 또는 측정시 선택한 측정대상 잎의 생육상태 등에 의한 영향인 것으로 판단되었다. 이러한 현상은 측정상의 기술적인 방법으로 극복할 수 없을 것으로 판단되었고, 이는 잎의 측정기의 작물 생육장애 진단 목적의 유용성을 판단하거나 또는 본 연구에서 시도한 진단방법을 실제 재배 현장에 적용할 경우 유념하여야 할 사항으로 사료되었다.

작물의 장애 진단시 장애의 유무를 판단하는 것도 중요하지만 장애의 원인을 파악하는 것은 성공적인 작물재배를 위해 더욱 중요하다. 이상의 실험의 결과로 보아 장애 원인을 규명하기 위해서는 분광분석기나 다파장복사계와 같은 측정기의 사용이 바람직하며 이들을 엽록소측정기, 엽온측정기,

기공저항측정기와 조합으로 사용하면 좀더 정확한 장애의 원인 규명이 가능하다. 다만 이러한 기기의 사용으로 원인 규명이 가능한 장애는 본 연구와 같이 한 종류의 장애만이 발생한 경우이고, 두 종류 이상의 장애가 복합적으로 발생한 경우는 그에 관한 추가적인 실험으로 원인 규명방법을 찾아야 할 것이다.

4. 요약 및 결론

생육 중인 식물 잎으로부터 비교적 신속하게 생체정보를 수집할 수 있는 비파괴 계측기인 엽록소 측정기, 적외선 엽온측정기, 엽록소형광측정기, 기공저항측정기, 분광분석기, 다파장복사계를 사용하여 N, P, Ca 결핍 장애 토마토를 대상으로 각 측정기의 작물 영양장애 진단의 특성을 파악하고 상호 비교하기 위한 목적으로 실험한 후 각 측정기별 진단 가능성과 진단의 신속정도를 분석하였다. 이 연구 결과로부터 판단한 각 장애별 진단(한 종류의 장애만이 발생한 경우의 진단)에 유용한 측정기와 장애 진단상의 고려사항은 다음과 같다.

N 결핍 장애진단에 유용한 계측기는 엽록소측정기, 분광분석기 및 다파장복사계로서 진단 가능성은 각각 50%, 100%, 100%이었다. 조기진단의 가능성은 분광분석기가 비교적 높은 편으로서 중심파장 560, 710 nm에서 장애 발생 후 평균 5~6일부터 진단이 가능한 것으로 판단되었다.

P 결핍 장애진단에 유용한 계측기는 적외선 엽온측정기, 기공저항측정기, 분광분석기로서 진단 가능성은 각각 70%, 70%, 70%로 나타났다. 조기진단의 가능성은 적외선 엽온측정기와 기공저항측정기가 높아 빠르면 장애 발생 후 다음날부터 진단이 가능한 것으로 분석되었다.

Ca 결핍 장애진단에 유용한 계측기는 적외선 엽온측정기, 기공저항측정기, 분광분석기 및 다파장복사계로서 진단 가능성은 각각 60%, 70%, 80%, 100%로 판단되었다. 조기진단의 가능성은 적외선 엽온측정기가 가장 높고, 나머지 3종의 측정기는 장애 발생 후 평균 4~6일부터 진단이 가능한 것으로 판단되었다.

재배 중인 토마토의 장애 여부와 그 원인을 규명하기 위해서는 분광분석기나 다파장복사계와 같은 측정기의 사용이 바람직하며 이들을 엽록소측정기, 엽온측정기, 기공저항측정기와 조합으로 사용하면 좀더 정확한 장애의 원인을 규명할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Buschmann Claus, et al. 1994. Spectrometer for fast measurements of *in vivo* reflectance, absorbance, and fluorescence in the visible and near-infrared. *Remote Sensing Environ.* 48:18-24.
2. Carter, G. A. 1994. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *Int. J. Remote Sensing.* 15(3):697-703.

3. Cooper, A. J. 1975. Crop production in recirculating nutrient solution. *Scientia Hort.* 3:251-258.
4. Jackson, Ray D., et al. 1986. Detection and evaluation of plant stresses for crop management decisions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 24(1):99-106.
5. Lichtenthaler, H. K. and U. Rinderle. 1988. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry* 19(Sep.):S29-S85.
6. Ryu, Y. S. 2000. *In vivo* nondestructive measurement and diagnosis of stresses of tomato. Thesis for M.S. Chonnam Nat'l Univ.
7. Suh, S. R. and G. C. Chung. 2000. Acquisition of *in-vivo* physiological data and diagnosis of plant stress of cucumber and tomato plants using AI. Research report, MAF of Korea
8. Sung, J. H., S. R. Suh, Y. S. Ryu and G. C. Chung. 1999. Comparison of nondestructive Methods to detect nitrogen deficient cucumber. *J. of KSAM* 24(6):539-546.