

토마토 양액 재배시 비파괴 간이 질소 영양 진단

이용범 · 노미영 · 조영렬 · 배종항
서울 시립 대학교 환경 원예학과

Nondestructive Nutrient Diagnosis for Nitrogen with Specific Color Difference Sensor(SCDS) in Hydroponics of Tomato (*Lycopersicon esculentum* MILL.)

Lee, Y. B., M. Y. Roh., Y. R. Cho and J. H. Bae
Dept. of Environ. Hort., Seoul City Univ., 90, Jeonnongdong, Dongdaemunku, Seoul, Korea

Abstract

This study was conducted to establish the nondestructive nutrient diagnosis method for nitrogen in tomato leaf using SCDS(specific color difference sensor). NFT(nutrient film technique) system was used in this experiment and nitrogen concentrations treated in nutrient solution were 0, 10, 50, 100, 150, 200, 300 and 600ppm.

As nitrogen concentration in nutrient solution was increased from 0ppm to 150ppm, the stomatal resistance of tomato leaf was decreased abruptly, the CO₂ assimilation rate was increased but there was no big difference in the range of 100~500ppm. As the SCDS value of tomato leaf was increased, the CO₂ assimilation rate was increased linearly but the total average fruit weight and marketable yield were increased quadratically. The CO₂ assimilation rate was largely increased in the 0~3% range of leaf nitrogen content, but photosynthetic saturation was shown in 3.3~3.5%. The leaf nitrogen content was closely related to SCDS value of tomato leaf. Considering physiological activity, growth and yield of tomato, the optimum ranges of leaf nitrogen content were found to be 3.0~3.8% and the SCDS values equivalent for those ranges were 40.0~52.2.

키 워 드 : 토마토, 양액재배, 질소, 영양진단, SCDS

Key words : tomato, hydroponics, nitrogen, nutrient diagnosis, specific color different sensor

서 언

지금까지 작물의 영양 진단은 토양 분석이나 엽분석에 의해 주로 이루어져 왔는데, 이

는 정확성은 높지만 시료의 채취나 보관에 세심한 주의가 필요하며, 정밀 분석 기기의 구입 및 이용에 많은 경비와 시간이 소요될 뿐만 아니라 분석에 숙련된 기술이 필요하므로

실제 재배 농가에 적용하는 것은 다소 무리가 있다.

따라서 보다 빠르고 간편하게 작물의 영양 상태를 진단할 수 있는 방법이 요구되는데, 최근에는 엽색표(color chart)나 적색광과 근적외광 파장에서의 잎의 흡광도차를 구하여 엽록소 함량을 측정하는 간이 엽록소 측정 장치가 개발되어 이용되고 있다. 엽색표나 간이 엽록소 측정 장치를 이용하면 작물의 외형을 손상시키지 않고도 영양 상태를 진단할 수 있으며, 진단 내용을 토대로 추비시거나 시비량을 결정하여 빠른 시간 내에 적절한 처방을 내릴 수 있는 장점이 있으며, 특히 양액재배에 있어서는 작물의 영양 상태를 신속히 파악하여 배양액 관리에 적극적으로 활용할 수 있다.

山崎 等¹⁾은 사과, 포도, 단감의 엽내 질소 함량 관독용 엽색표를 개발하였으며, Ichiki⁵⁾는 1973년에 감귤의 엽내 질소 함량 관독용 엽색표를 개발하여 실용화시켰다. 堀内 等⁶⁾은 온실 멜론, Park 等⁷⁾은 아스파라거스 외 13종의 채소에 대하여 근적외광 분광 분석법에 의해 엽내 성분함유율을 분석한 후 영양 평가를 실시하였다. 우리 나라의 경우는 농촌진흥청 과수 연구소³⁾에서 1992년에 사과의 엽내 질소 영양 진단용 엽색표를 개발하였고, 간이 엽록소 측정 장치를 이용한 엽내 질소 분석법을 확립하였다.

간이 엽록소 측정 장치를 이용한 엽내 질소 분석에서 질소량은 620nm와 760nm의 반사 계수에 의해 추정 가능하고, 엽록소 함량은 560nm와 850nm의 반사 계수에 의해 추정되는데⁴⁾, 작물의 종류, 품종, 재배시기에 따라 반사 계수가 달라지므로 목적에 따라 반응 곡선을 따로 만들어야 한다.

따라서 본 연구는 질소 농도에 따른 토마토 생육 및 수량 반응과 생육 단계별 엽내 질소 농도의 최적 상태를 구명하여 질소 영양을 신속하게 진단하는데 필요한 기초 자료를 얻고 시비 모델을 개발하기 위해서 수행되었다.

재료 및 방법

공시 작물은 광수 토마토(중양 종묘)로서 파종은 1992년 3월 25일에, 정식은 5월 7일에 실시하였다. 수경 재배 방법으로는 박막수경법(NFT)을 택하였으며, 시험에 사용된 배양액은 Allen Cooper¹⁾의 NFT 배양액으로 Fe는 3ppm, Mn은 1ppm으로 조정하여 사용하였다. 배양액의 pH는 5.8~6.2 범위를 유지하도록 pH meter(TOA, HM-20E)로 측정하면서 H₂SO₄와 KOH를 이용하여 조절하였고, 배양액 농도는 EC meter (TOA, CM-20E)로 측정하여 조절하였다. 비파괴적인 영양 진단을 위하여 질소 농도는 0, 10, 50, 100, 150, 200, 300, 600 ppm으로 조절하여 사용하였다.

SCDS(Specific color difference sensor)값의 측정은 질소 흡수가 가장 많이 이루어지는 생육 초기부터 1화방 개화기까지의 기간을 제외하고 파종 후 70일(착과기)부터 파종 후 120일(수확기)까지의 기간 동안 15일 간격으로 chlorophyll meter(Minolta, SPAD-502)로 측정하였다. 측정엽은 완전 전개된 중상위엽으로 하였으며, 반복당 5주씩, 1주당 20회씩 측정하여 평균 처리하였다. 이때 SCDS값을 측정한 잎은 채취하여 농진청 식물체 분석법²⁾에 준하여 무기 성분 함량을 분석하였다.

토마토 잎의 광합성 관련 특성을 측정하기 위하여 휴대용 광합성 측정 장치(Licor, Li-6200)를 이용하여 광합성 속도와 기공 저항 및 확산 속도를 측정하였는데, 온실 내 600 μ molm⁻²s⁻¹ 이상의 광조건에서 오전(10:00~12:00)에 측정하였다.

수확은 1992년 7월부터 8월까지 실시하였으며, 과실은 제 3 화방까지의 상품 과수, 상품 과중을 조사하였는데, 상품과는 120g 이상인 것으로 하였다.

결과 및 고찰

토마토의 엽내 질소 함량을 비파괴적인 방법으로 추정하기 위하여 질소 농도별로 실험

을 수행한 결과, 배양액 내 질소 농도가 0ppm에서 150ppm으로 높아짐에 따라 기공 저항은 급격하게 줄어든 반면 기공 확산 속도는 반대로 급격히 증가되었다. 그러나 질소 농도가 150ppm 이상으로 높아짐에 따라 기공 확산 속도는 다시 감소하는 경향을 보였다(그림 1-A, B). 배양액 내 질소 농도를 0~600ppm 범위 내에서 8가지 수준으로 처리했을 때, 기공 확산 속도는 질소 농도가 100ppm일 때 높았으며 150ppm에서 가장 높게 나타났다. 그러므로, 배양액 내 질소 농도를 100~150ppm 정도로 관리하면 기공 확산 속도가 높아 토마토 잎의 기공을 통한 체내로의 CO₂ 흡수가 원활히 이루어져 광합성 효율이 좋으리라 생각된다.

한편 배양액 내 질소 농도가 높아짐에 따라 광합성 속도도 증가하였는데, 질소 농도 100ppm에서 600ppm까지는 큰 차이를 보이지 않았다(그림 1-C). 그림 1-B의 기공 확산 속도 자료를 기초로 하여 질소 농도가 100~150ppm일 때 광합성 효율이 높을 것이라는 생각은 실제 광합성 속도 측정 결과와 잘 일치되었다. 300ppm과 600ppm의 질소 농도에서도 광합성 속도가 높게 나타나는 했지만 장기적으로 볼 때 질소로 인한 고농도 장애를 일으킬 우려가 있으므로 배양액 내 질소 농도로는 바람직하지 못하다고 생각된다.

Chlorophyll meter로 SCDS값을 측정한 결과, SCDS값이 높은 수치를 나타낼 때 광합성 속도도 높게 나타났다(그림 2-A). 이 때의 광합성 속도 추정식은 $y = 0.3625x - 0.7567$ (x =SCDS값, $r^2=0.8415$)였다. 배양액 내 질소 농도가 100~150ppm일 때, SCDS값은 대략 40~50 범위였다. 배양액 내 질소 농도가 300ppm이나 600ppm으로 높을 경우에는, SCDS값이 50을 상당히 초과하였으며 가시적으로도 진한 암록색을 띠거나 영양 과다로 과번무한 것을 볼 수 있었다.

SCDS값이 높아짐에 따라 평균 과중과 상품 수량이 증가하여, 그래프는 2차 방정식 곡선 모양으로 나타났다(그림 2-B, C). 배양액 내 질소 농도가 100~150ppm일 때 광합성 효율

이 높았고, 또 이 농도에서의 SCDS값을 측정한 결과 그 값이 40~50을 나타냈는데, 평균 과중과 상품 수량도 이 값의 범위에서 높게 나타났다. 광합성 효율이 높은 질소 농도 처리구에서 평균 과중과 상품 수량이 높게 나타

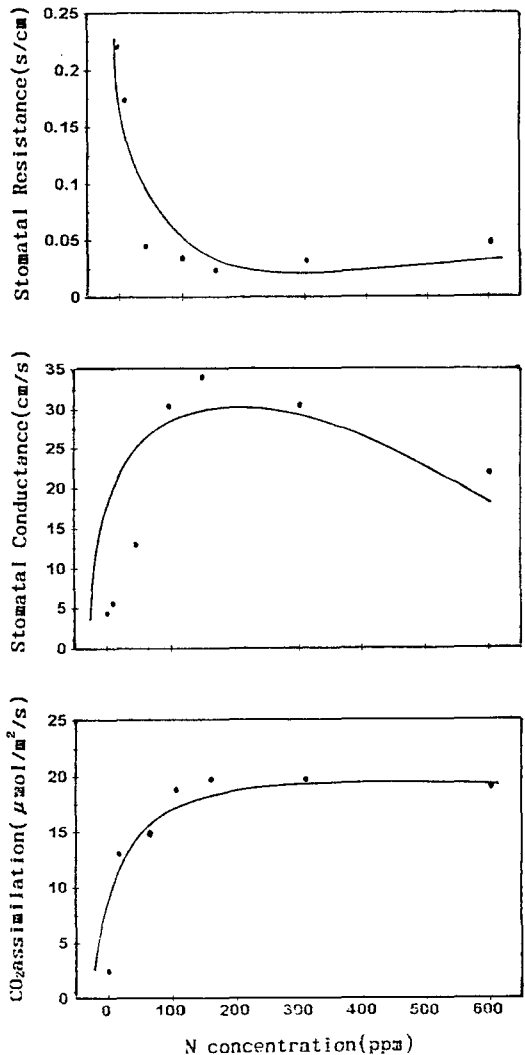


Fig. 1. Gas exchange parameters of tomato leaves in the different nitrogen concentration. Leaf temperature was 29.5°C and photon flux density was 800 μmol · m⁻² · s⁻¹.

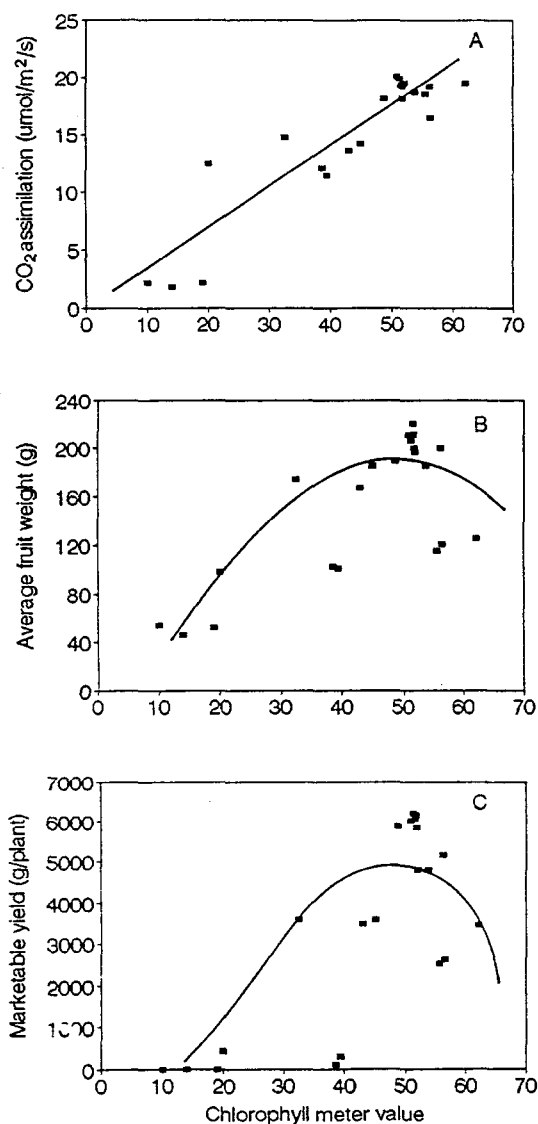


Fig. 2. Relation between CO₂ assimilation(A), average fruit weight(B), and marketable yield(C) and special color difference sensor value(SCDSV) on the tomato leaves.

난 것은 광합성이 원활히 이루어져 동화 산물의 합성이 많았고 이 동화 산물이 과실로 전

류 되어 과실의 비대를 촉진하였기 때문이라 생각된다.

엽내 질소 함량과 광합성 효율은 직접적인 관계는 아니지만 질소가 광합성 기구인 엽록체의 생성을 촉진하고 엽록소의 농도를 높이는 역할을 하기 때문에 간접적인 관계를 가지고 있다⁶⁾. 따라서 엽내 질소 함량과 광합성 효율과의 관계를 나타낼 수 있다. SCDS값을 측정된 잎을 엽분석하여 엽내 질소 함량을 측정된 결과, 엽내 질소 함량이 높을 수록 광합성 효율이 높았으며, 특히 엽내 질소 함량이 3.3~3.5%일 때 광합성 포화상태를 나타냈다(그림 3-A).

엽내 질소 함량이 3.5% 수준을 나타낼 때, 토마토 과실의 평균 과중이 가장 무거웠고 상품 수량도 가장 높았다. 반면에 엽내 질소 함량이 3% 이하인 경우와 4% 이상인 경우에는 평균 과중과 상품 수량의 감소가 현저하였다(그림 3-B, C).

엽색의 지표인 SCDS값과 엽내 질소 함량과의 상관관계를 조사한 결과, SCDS값과 엽내 질소 함량은 고도로 유의한 정적 상관관계를 보였다(그림 4). 그 추정식은 $y = 0.068x + 0.2495$ ($r = 0.9152$)였다. 식물의 엽색은 일반적으로 질소가 부족하면 황록색이 되고 질소사용량이 많을 수록 녹색이 짙어지는 경향이 있다. 이것은 위에서도 언급했듯이 엽내의 질소 농도가 높아지면 엽록체의 생성이 촉진되고 엽록소의 농도가 높아지기 때문이다. 이와 같이, 엽색에 대해서 엽록소는 직접적으로 관계가 있으며, 질소는 간접적으로 관계가 있기 때문에 엽색은 엽록소 함량과의 관계 정도는 아니라 하더라도 엽내 질소 함량과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다⁶⁾. 그러므로, chlorophyll meter를 이용하여 측정된 SCDS값을 알면 엽내 질소 함량을 손쉽게 추정할 수 있리라 생각된다.

이상의 결과로부터 토마토의 생리적 기능, 생육 및 수량 등을 고려해 볼 때 육묘기 이후 엽내 질소 함량은 3~3.8% 범위가 최적 조건인 것으로 간주되었다. 엽내 질소 함량이 부족하여 각종 생리 장애를 유발하고 생산성 및

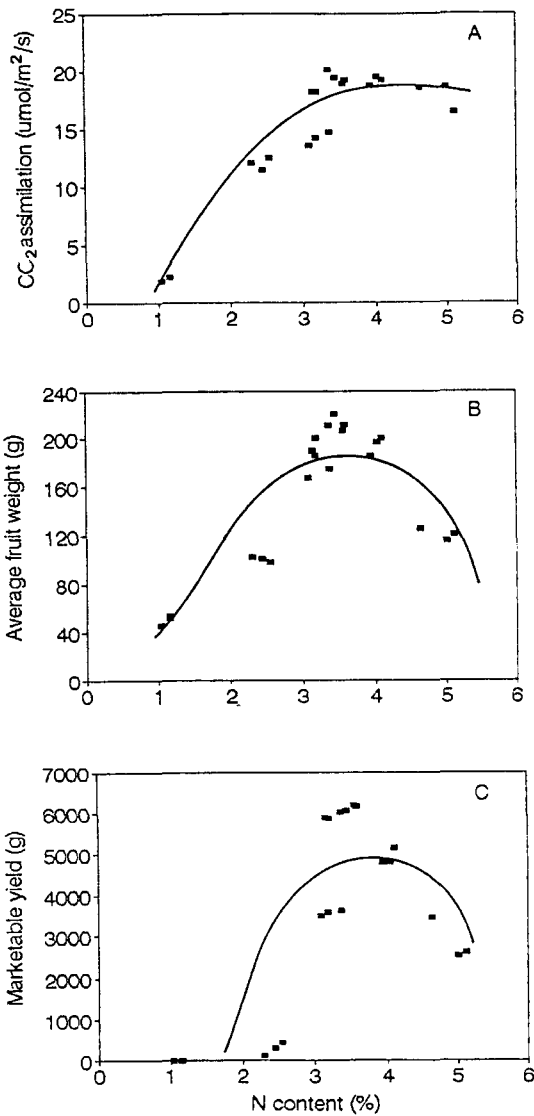


Fig. 3. Relation between CO₂ assimilation(A), average fruit weight(B), and marketable yield(C) and nitrogen content of tomato leaves.

품질에 큰 지장을 줄 수 있는 엽내 질소 함량은 2% 이하였으며, 엽내 질소 함량이 높아 과잉 장애를 유발할 수 있고 과실의 품질을

저하시킬 수 있는 조건은 4% 이상으로 나타났다. 高橋 等¹⁰⁾은 토마토 영양 진단 판정 기준을 최적 질소 함량이 2.5~3.5%이고, 결핍은 2.5% 이하, 과잉은 4.0% 이상이라고 하였으며, 미국 캘리포니아 대학의 식물엽 분석 기준에서는 적정 질소 함량이 2.5~3.0% 이상, 결핍이 1.5~2.0% 이하로서 서로 적정 범위에 차이를 보여 주고 있다⁸⁾. 한편 화란 온실 작물 연구소의 Sonneveld 等⁹⁾도 토마토의 엽내 적정 질소 함량을 2.8~4.2% 수준으로 밝히고 있다. 이들 3가지 자료에서 토마토 엽내 적정 질소 함량이 약간씩의 차이를 보이는 것은 재배 형태, 조사 시기 및 품종간의 특성에 기인하는 것으로 보인다. 전반적으로 볼 때 NFT방식으로 수경 재배할 때의 국내 토마토의 엽내 적정 질소 함량은 화란 온실 작물 연구소의 자료와 더 일치하는 경향을 보여 주고 있다.

이상에서 토마토 엽내 적정 질소 함량을 3.0~3.8% 수준으로 설정하였을 때, 그림 4와 같이 chlorophyll meter의 이용으로 신속한 영

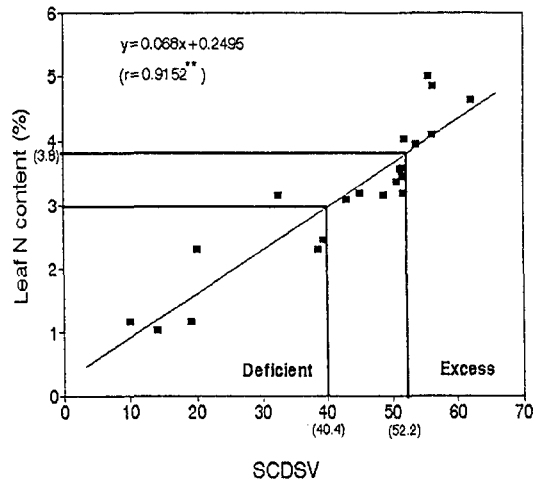


Fig. 4. Relation between specific color difference sensor value(SCDSV) and nitrogen content of tomato leaves in the hydroponics.

양 진단이 가능하여 연구 기관, 지도 기관과 토마토 재배 농가에서 엽내 질소의 과부족을 판단할 수 있으므로 과실의 품질과 생산성을 증대시키는데 일익을 담당할 수 있으리라 본다.

적 요

본 연구는 SCDS(specific color difference sensor)를 이용하여 토마토의 비파괴적인 질소 영양 진단 방법을 확립하기 위하여 질소 농도를 0, 10, 50, 100, 150, 200, 300, 600ppm으로 조절하여 NFT방식으로 실험을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

배양액 내의 질소 농도가 0ppm에서 150ppm으로 높아짐에 따라 토마토 잎의 기공 저항은 급격히 줄어든 반면 기공 확산 속도는 증가하였다. 한편, 질소 농도가 높아짐에 따라 광합성 속도도 증가하였지만 100ppm에서 부터 600ppm까지는 큰 차이를 보이지 않았다. 토마토 잎의 SCDS값이 높아짐에 따라 광합성 속도는 직선적으로 증가하였으며 평균 과중과 상품 수량은 2차 곡선모양으로 증가하는 경향을 보였다. 엽내 질소 함량이 3% 정도될 때 까지 광합성 속도는 크게 증가하였지만 3.3~3.5% 수준부터 광합성은 포화상태를 나타냈다. 토마토 잎의 SCDS값과 엽내 질소 함량 간에는 고도로 유의한 정의 상관을 보였다. 토마토의 생리적 활성, 생육 및 상품 수량을 고려해 볼 때, 엽내 질소 함량의 적정 범위는 3.0~3.8%인 것으로 나타났다. 이 범위에 해당되는 SCDS값은 40.4~52.2였다.

인용문헌

1. Cooper, A. J. 1979. The ABC of NFT.

Grower books, London.

2. 농촌진흥청. 1988. 토양 화학 분석법 - 토양, 식물체, 토양 미생물-. p. 226-230.
3. 농촌진흥청 과수 연구소. 1992. Specific color difference sensor를 이용한 신속영양진단법 개발. 과학기술처 특정연구, 서울.
4. 堀内正美, 佐藤克服, 佐藤展之, 鈴木義彦. 1991. 近赤外分光分析法による温室メロンの生育中の葉中成分含有率及び果實糖度の簡易測定. 静岡農試 研報. 36 : 47-55.
5. Ichiki, K. 1985. 葉色에 의한 柑橘의 窒素 營養狀態 診斷. In ed FFTC/ASPAC and RDA 葉 分析에 의한 果樹施肥改善 세미나. p. 12-1~12-8.
6. 稻田勝美. 1994. "綠"을測る(6) - 葉色の測定とその營養・生育診斷への利用-. 農耕および園藝 69(2) : 61-66.
7. Park, Y. W., M. J. Amderson and A. W. Mahoney. 1982. Potential of near infrared reflectance(NIR) spectroscopy for estimating nutrient content of dehydrated vegetables. Jour. Food Sci. 47 : 1558-1561.
8. Reisenauer, H. M. 1983. Soil and plant tissue testing in California. Div. Agr. Sci. Uni. California. Bul. 1879.
9. Sonneveld, C., C. de Kreij, M. G. Warmenhoven and N. Straver. 1990. Guide values for nutrient element contents of vegetables and flower under glass. p. 12.
10. 高橋英一, 吉野 實, 前田正男. 1980. 作物の要素缺乏と過剩症. 農山漁村 文化協會.
11. 山崎利彦, 鈴木義彦, 村瀬昭治, 深井尙也, 玉村浩司. 1981. 營養診斷のためリングとブドウ及びびかき葉色基準. 日本果樹試報. A8 : 101-108.