

Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 토마토의 신속한 영양진단

김권래 · 정한울 · 김계훈*

서울시립대학교 문리과학과 환경원예학과

(2003년 1월 28일 접수, 2003년 4월 28일 수리)

본 연구는 지금까지 제시된 여러 가지 간이 식물영양 진단 방법들 중 test strip과 chlorophyll meter의 이용 가능성을 검토하고 실제 이용 방안을 모색하고자 수행되었다. 본 실험에서는 양액의 N, P, K 수준을 달리하여 토마토를 재배하면서 생육시기별로 specific color difference sensor value (SCDSV), 엽병 즙액 중 NO₃, PO₄, K의 함량을 측정하였다. 실험 결과 양액중 N, P, K의 농도 변화에 따른 엽병 즙액 중 NO₃, PO₄, K 함량 변화가 엽 중 total-N, P, K 함량의 변화보다 더 민감하였다. Test strip을 이용하여 측정된 토마토 엽병 즙액 중 NO₃, PO₄, K 함량은 엽 내 total-N, P, K의 농도와 고도의 일차상관관계를 나타내었다. 지금까지 여러 연구를 통해 확립된 토마토의 엽 중 total-N, P, K의 적정 함량을 회귀식에 대입하여 구한 즙액의 적정 NO₃, PO₄, K의 함량은 각각 3.4~5.9, 0.3~0.5, 3.6~6.5 g/l이었다. Chlorophyll meter를 이용하여 측정된 SCDSV는 엽 중 total-N와 높은 상관관계를 나타내었으며 기존에 연구된 토마토의 엽 중 total-N 함량을 회귀식에 대입하여 계산한 결과 적정 SCDSV는 36.0~40.0이었다. 본 연구 결과 test strip과 chlorophyll meter는 토마토의 신속한 영양 진단에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

Key words: 영양진단, 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill), test strip, chlorophyll meter

서 론

식물 생장에 필수적인 영양원소와 식물체 내 각 원소의 적정함량에 대한 연구는 식물영양 분야의 기초적인 연구로 현재까지 지속적으로 이루어지고 있다. Kenworthy¹⁾는 1970년대 초반까지 이루어진 연구를 토대로 식물 영양진단 방법으로 엽을 분석하는 것이 가장 합리적인 것임을 밝혔다. 그 후 식물체 잎을 건조시켜서 그 안에 있는 영양원소의 함량을 측정 후 건조물중을 기준으로 표현하는 방법은 전형적인 식물 영양진단 방법으로 널리 이용되어 왔다. 그러나 엽분석을 통한 영양진단 방법이 적정 시기에 필요한 양분을 신속하게 공급해 줄 수 없다는 근본적인 문제점이 있으며 이를 바탕으로 한 기비 위주의 기존 시비법은 토양 및 수질 오염 등 환경부하를 증가시켜 엽 분석을 대체할 새로운 진단법의 필요성이 강력히 제기되었다. 그 결과 식물의 영양상태를 신속하게 파악할 수 있는 여러 가지 지표들이 모색되었고 이를 대상으로 한 연구들이 진행되었다. 신속한 영양진단을 위한 지표로는 엽색, 광합성량, 증산량, 확산저항, 엽록소 함량, 식물즙액 내의 원소함량 등이 있으며 식물 영양 연구에 이와 같은 지표들이 이용되어왔다. 이 중 chlorophyll meter를 이용한 엽록소 측정 방법과 test strip을 이용한 식물 즙액 내 원소 함량을 측정하는 방법이 활발히 연구되었고²⁻¹⁰⁾ 그 결과 현재 외국에서는 실제로 이 방법들을 현장에서 이용하고 있다. 식물의 영양진단에 test strip을 도입한 초

기에는 test strip과 즙액을 반응시켜 일정시간이 지난 후 발색 정도를 표준 color chart와 비교하여 즙액 내 NO₃ 함량을 알아내는 방법을 이용하였다.²⁾ 그 후 여러 가지 다른 원소에 대한 test strip이 개발되었고, test strip의 발색 정도를 측광법을 이용하여 측정하는 장치가 개발됨에 따라 그 정확성이 증가하였다. 식물 잎의 광학적 특성은 식물 생육상태 진단에 매우 유용한 수단임이 많은 연구 결과로 보고된 바 있다.¹¹⁻¹³⁾ Chlorophyll meter는 식물 잎의 광학적 특성을 이용한 대표적인 기기로서 식물 잎의 광투과율(transmittance)을 측정하여 간접적인 방법으로 엽록소 함량을 측정하는 기기이다.¹⁴⁾ Peng 등⁸⁾은 수도작에서 시비량과 시비시기를 결정하기 위해 chlorophyll meter를 이용하면 관행 시비구에 비하여 식물영양학적 효율뿐만 아니라 경제적 효율도 좋다고 하였다.

이와 같이 test strip과 chlorophyll meter를 이용하면 작물에 대한 신속한 영양 관리가 가능하다. 따라서 본 연구는 토마토의 영양관리에 test strip과 chlorophyll meter를 이용하기 위한 자료를 확보할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

수퍼도태랑토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. super momotaro)를 공시작물로 이용한 본 연구는 1차 재배실험을 2001년 10월 5일~2001년 12월 7일에, 2차 재배실험을 2002년 9월 5일~2002년 11월 17일에 각각 실시하였다. 토마토 재배를 위한 배지는 펄라이트와 암면을 1:1로 혼합하여 사용하였고 재배는 비순환식 양액재배 방식을 택하였으며 토마토에 대한 야마자키양액을 점적관수 형식으로 공급하였다. 공시작물은 본

*연락처

Phone: 82-2-2210-2605, Fax: 82-2-2214-4030

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

Table 1. Concentrations of N, P and K in the Yamazakki nutrient solution for tomato

Treatment	Element (mg/l)	Element (mg/l)		
		N	P	K
1st	N	4/15/32/63/133/208	21	148
	P	133	0.2/2/4/10/21/38	148
	K	133	21	4/23/43/80/148/202
2nd	N	4/16/63/127/320	24	221
	P	146	0/3/9/22/46	221
	K	122	23	4/17/68/183/373

엽이 4매가 되었을 때 실험 pot에 정식하고 5매가 되었을 때 농도별 양액 공급을 개시하였으며 공급된 양액의 농도는 Table 1과 같다.

1차 실험중 측정은 최근에 완전 전개한 7~8번째 엽을 대상으로 생육초기, 개화기, 과실비대기 등 총 3회 걸쳐 실시하였다. 2차 재배실험에서는 토마토를 과실비대기까지 생육시킨 후 정단부 바로 아래 엽을 1번 엽으로 하고 그 아래 방향으로 차례로 번호를 붙여 3, 7, 11, 15, 19번 엽을 측정대상으로 하였으며 각 번호에 해당하는 엽과 그 바로 아래 엽을 합하여 하나의 시료로 하였다. 측정 당시 총 엽 수는 22~24개였다. 각 처리당 식물체 4개 주를 반복으로 하였으며 그 중 하나의 식물체에서 생육초기, 개화기, 과실비대기 등 3회에 걸쳐 7번 엽을 대상으로 즙액 중 NO₃, PO₄, K 함량과 SCDVS를 측정하였다. Test strip을 이용한 측정을 위해서 시료의 조제는 측정 대상이 되는 엽의 엽병을 잘라내어 착즙기로 즙액을 착즙하여 이용하였으며 즙액을 채취한 후 test strip의 측정 범위에 들도록 희석하여 RQ reflectoquant meter(Reflectoquant, Merck, Germany)로 측정하였다. 즙액 측정에 이용한 엽의 엽신은 chlorophyll meter(SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 SCDSV를 측정된 후 건조·분쇄하여 total-N(Kjeldahl법), P(Vanadate법) 및 K(AAS)를 각각 분석하였다.¹⁵⁾ 분석결과를 test strip을 이용한 즙액의 측정 결과 및 SCDSV와 각각 비교하여 직선회귀식과 결정계수(R²)를 구하는데 이용하였다.

결과 및 고찰

토마토 재배실험 결과 양액의 N 농도가 4 mg/l에서 208 mg/l로 증가함에 따라 엽병 즙액 중 NO₃ 농도는 0.4 g/l부터 10 g/l까지 약 25배 증가하였다. 반면에 엽 중 total-N의 농도는 1.5 g/l에서 5.7 g/l까지 약 4배 증가하였다(Fig. 1). 이것은 지하부 N 농도가 변화함에 따라 엽병 즙액 중 NO₃ 농도가 엽 중 농도 변화보다 더 민감하게 변화하며 그 변화폭이 넓어 test strip을 이용하여 과잉 및 결핍의 N 공급 상태를 용이하게 파악할 수 있음을 나타내는 것이다. 따라서 토마토의 N 수준 진단에는 엽분석을 이용하는 것보다 test strip을 이용하여 측정된 엽병 즙액 중 NO₃ 함량이 더 좋은 지표가 될 것으로 생각된다.

양액의 P 및 K의 농도 증가에 따른 엽병 즙액 중 PO₄와 K의 농도 변화는 PO₄는 0.07 g/l에서 0.59 g/l로 K는 0.7 g/l에서 5.8 g/l로 각각 약 8배 증가하였다. 이에 반해 엽 중 P의 농도는 0.25 g/l에서 0.9 g/l로 약 3배, K의 농도는 1.1 g/l에서 4.1

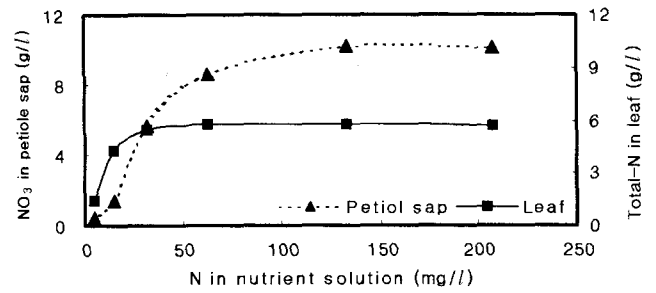


Fig. 1. Changes of NO₃ content in petiole sap and total-N content in leaf according to feeding N concentrations.

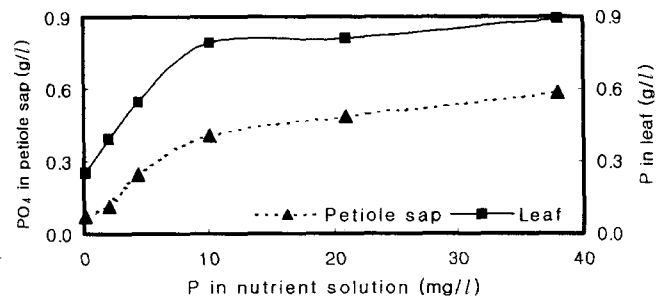


Fig. 2. Changes of PO₄ content in petiole sap and P content in leaf according to feeding N concentrations.

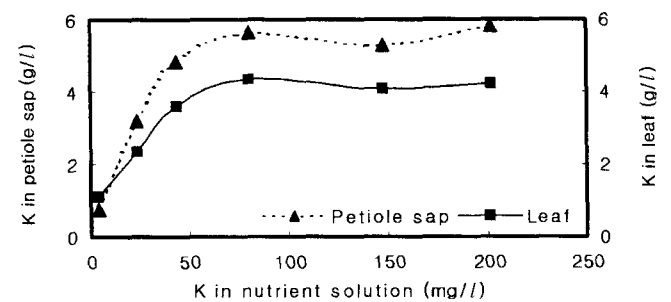


Fig. 3. Changes of K content in petiole sap and K content in leaf according to feeding N concentrations.

g/l로 약 4배 증가하였다(Fig. 2, Fig. 3). 이 결과 역시 지하부의 P와 K의 농도 변화에 따라 엽병 즙액 중 PO₄ 및 K 함량이 엽 중 P 및 K보다 민감하게 반응한 것을 나타낸다. 따라서 토마토의 P와 K의 영양상태 파악을 통한 양분관리를 위해서 test strip을 이용하여 측정된 엽병 즙액의 PO₄ 및 K 농도가 이용되는 것이 바람직할 것으로 보인다.

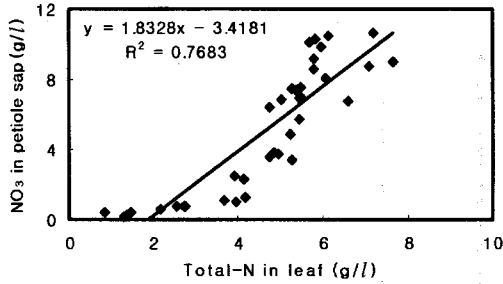


Fig. 4. Relationship between NO₃ contents of petiole sap and total-N contents of leaves.

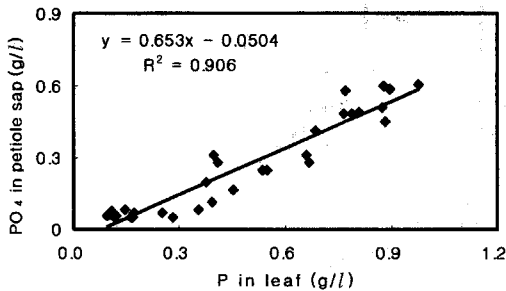


Fig. 5. Relationship between PO₄ contents of petiole sap and P contents of leaves.

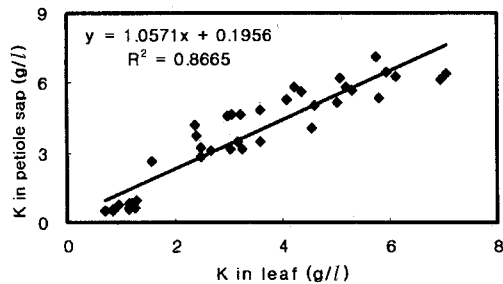


Fig. 6. Relationship between K contents of petiole sap and those of leaves.

현재까지 작물의 영양진단을 위해 이용되고 있는 표준분석 방법은 엽분석 방법이다. 본 실험에서는 test strip을 이용한 엽병 즙액 분석결과와 이 용 가능성과 정확성을 알아보기 위해서 test strip으로 측정된 엽병 즙액 중 NO₃, PO₄, K의 함량을 표준분석 방법으로 분석한 엽 중 total-N, P, K의 농도와 각각 비교하였다. 그 결과 즙액 중 NO₃, PO₄, K의 함량은 엽 중 total-N, P, K 함량과 모두 고도의 일차 상관관계를 나타내었으며 각각의 직선회귀식을 구할 수 있었다(Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6). 이와 같은 높은 상관관계와 직선회귀식을 이용하면 엽 중 total-N와 엽병 즙액 중 NO₃, 엽 중 P와 엽병 즙액 중 PO₄ 함량, 엽 중 K와 엽병 즙액 중 K 함량간에 상호 추정이 가능할 것으로 판단된다.

따라서 이미 연구 보고된 토마토의 엽 중 적정 total-N, P, K의 함량을 본 연구에서 구한 직선 회귀식에 대입하여 토마토의 엽병 즙액 중 적정 NO₃, PO₄, K의 함량을 구할 수 있었다 (Table 2).

Table 2. Sufficient ranges of total-N, P, K in tomato leaves and those of NO₃, PO₄, K in petiole sap calculated by regression equations

Element	Leaf* (g/l)	Petiole (g/l)
Total-N	3.5-5.0	-
NO ₃	-	3.0-5.7
P	0.5-0.8	-
PO ₄	-	0.3-0.5
K	3.0-6.0	3.4-6.5

*Mills 와 Jones (1996).

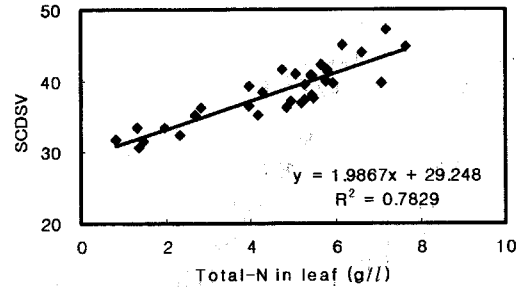


Fig. 7. Relationship between SCDSV and total-N in leaves.

Table 3. Sufficient ranges of total-N in tomato leaves and those of SCDSV calculated by regression equation

Element	Leaf*
Total-N (g/l)	3.5-5.0
SCDSV	36.0-40.0

*Mills 와 Jones (1996).

Chlorophyll meter를 이용하여 측정된 토마토 엽의 SCDSV는 엽 중 total-N의 농도와 높은 일차상관관계를 보였으며 Fig. 7과 같은 회귀식을 구할 수 있었다. 따라서 SCDSV를 측정하여 토마토의 엽 중 total-N의 농도를 추정할 수 있을 것으로 판단되었고, 이미 연구 보고된 토마토의 엽 중 total-N의 적정 함량을 본 연구에서 구한 회귀식에 대입하여 토마토의 적정 SCDSV를 Table 3과 같이 구할 수 있었다.

참고문헌

1. Kenworthy, A. L. (1973) In *Soil testing and plant analysis: Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards* (Revised ed.) Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
2. Scaife, A. and Stevens, K. L. (1983) Monitoring sap nitrate in vegetable crops: comparison of these strips with electrode methods, and effects of time of day and leaf position. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **14**, 761-771.
3. Coltman, R. R. (1988) Yields of greenhouse tomatoes managed to maintain specific petiole sap nitrate levels. *HortScience* **23**, 148-151.
4. Hochmuth, G. J. (1994) Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. *Hortitechnology* (July/Sept.) **4**, 218-222.
5. Jemison, J. M. and Fox, R. H. (1988) A quick-test procedure

- for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **19**, 1569-1582.
6. Nagarajah, S. (1999) A petiole sap test for nitrate and potassium in sultana grapevines. *Australian J. Grape Wine Res.* **5**, 56-60.
 7. Schaefer, N. L. (1986) Evaluation of a hand held reflectometer for rapid quantitative determination of nitrate. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **17**, 937-951.
 8. Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M. and Cassman, K. G. (1996) Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Res.* **47**, 243-252.
 9. Feibo, W., Lianghuan, W. and Fuhua, X. (1998) Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Res.* **56**, 309-314.
 10. Shaahan, M. M., El-Sayed, A. A. and Abou El-Nou, .E. A. A. (1999) Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status in some perennial crops using a portable chlorophyll meter. *Scientia Horticulturae* **82**, 339-348.
 11. Ralph, P. J. and Burchett, M. D. (1995) Photosynthetic responses of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to high irradiance stress, using chlorophyll a fluorescence. *Aquatic Botany* **51**, 55-66.
 12. Rho, Y. D., Park, S. H., Park, R. K. and Wilson, J. M. (1986) Assessment of the chilling sensitivity of Korean rice cultivars by chlorophyll fluorescence analysis. *Korean J. Crop Sci.* **31**, 356-360.
 13. Yamada, M., Hidaka, T. and Fukamachi, H. (1996) Heat tolerance in leaves of tropical fruit crops as measured by chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae* **67**, 39-48.
 14. Store, M. L. (1996) Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Trans. ASAE.* **39**, 1623-1631.
 15. Jones, J. B. and Case, V. W. (1990) In *Soil and plant analysis: Sampling, handling and analyzing plant tissue samples* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
 16. Mills, H. A. and Jones, J. B. (1996) In *Plant analysis handbook II* Micro-Macro Publishing, Athens, GA, USA.

Rapid Nutrient Diagnosis of Tomato by Test Strips and a Chlorophyll Meter

Kwon Rae Kim, Han Ul Jeoung and Kye Hoon Kim* (*Department of Environmental Horticulture, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea*)

Abstract: This study was performed to develop a more rapid and simple nutrient diagnosis method of plants than the conventional leaf analysis method. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. super momotaro) was planted in the mixed media produced by mixing perlite and rock wool at 1 : 1 (v/v) ratio. The Yamazakki nutrient solutions for cucumber and tomato were supplied to the media using the micro-drip irrigation system. Experimental plots produced consisted of no fertilization, deficient fertilization, adequate fertilization and surplus fertilization for N, P and K, respectively. Each experimental plot was replicated four times. Specific color different sensor values (SCDSV) measured by the chlorophyll meter were closely related to total-N concentrations in the leaves measured by the conventional method. Nitrate, PO₄ and K concentrations in petiole sap measured by test strips (Reflectoquant®, Merck, Germany) showed a significant relationship with total-N, P and K concentrations in leaves. The linear regression equations between NO₃, PO₄ and K concentrations in petiole sap and total-N, P and K concentrations in the leaves were prepared. The optimum levels of NO₃, PO₄ and K in petiole sap were obtained by plugging the optimum concentrations of total-N, P and K in the leaves by other researchers into the equations. In conclusion, the SCDSV by the chlorophyll meter and concentrations of NO₃, P and K in petiole sap measured by the test strips would be suitable for rapid estimation of plant nutrient status.

Key words: nutrient diagnosis, tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), test strip, chlorophyll meter

*Corresponding author