

과제구분	기본연구	수행시기	전반기		
중장기 Code	LS0208	RIMS Code	2007B00110000042		
연구과제 및 세부과제		연구분야 (Code)	수행기간	연구실	책임자
시설과채류 관비재배 기술개발		LS0208	'06~'08	원예연구과	원재희
1) 토마토 관비재배시 실시간 영양진단 방법 구명		LS0208	'06~'08	원예연구과	원재희

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the analysis method of nitrate concentration within petiole sap using test strip for the efficient utilization of nutrient and alleviation of salt accumulation in fertigation of the tomato. The more the amount of nitrogen fertilization was increased, the more vegetative growth of tomato occurred. The optimal amount of nitrogen fertilization for maximal yield was about 70 percent of the amount of standard fertilization. The changes of nitrate concentration within petiole sap were diverse according to growth stages and positions of fruit cluster. The nitrate concentration within petiole sap located in rapidly increasing fruit size was the lowest among the positions of fruit cluster. So it was the most demand of nutrient transition from leaf to fruit. And on the analysis of nitrate concentration, a good criterion for growth condition is a clear day rather than a cloudy day. The nitrate concentration within petiole sap in the treatment of 200mg N/plant/day as the standard fertilization was from 3,000 to 4,000mg/L. The nitrate concentration in the treatment of 50 to 100mg N/plant/day as proper range of suitable growth was from 2,000 to 3,500mg/L.

1. 연구목표

작물이 생장하는 과정에서 필요한 영양원을 파악하여 필요량만큼 공급하기 위한 연구가 수행되어 왔다. 토경에서는 배지가 토양이기 때문에 물이나 암면에서의 수경재배과는 달리 배지가 균질하지 않고 양분함량과 부식의 다소 또는 토성도 다양하다. 이렇듯 재배조건과 양분조건이 포장마다 다르기 때문에 일정한 수분 및 비료관리가 어렵게 된다.

기존에 식물의 영양진단 방법으로서 잎을 분석하여 건물중을 기준으로 표현하는 방법이 가장 합리적인 방법으로 밝혀져 이용되어 왔다(Kenworthy, 1973). 그러나 엽 분석을 통한 영양진단 방법은 적절한 시기에 필요한 양분을 공급해 줄 수 없는 단점이 있어 기존의 방법을 대체할 수 있는 새로운 실시간 영양진단법으로서 test strip을 이용한 영양진단 방법이 미국, 호주 및 일본에서 이용되고 있다(김 등, 2003; 김 등, 2004).

최근 들어 각 작물별 필요한 비료성분과 수분을 공급하기 위한 방법으로 관비재배가 도입되었다. 관비재배는 토양에 양분량을 작물의 필요량만큼 공급하는 것으로서, 적절한 수준으로 조절해주지 못하면 재배관리에 실패할 수도 있으므로 세심한 관리방법이 요구된다. 따라서 농가에서 관비재배시 토양조건 및 작물의 영양상태에 맞는 금액체계의 확립이 필요

하다(임 등, 2001).

관비재배시 급액농도를 결정하기 위한 방법으로 토양 EC 측정이나 식물체 분석은 소요시간이 길고 복잡하여 농가에서의 활용이 낮다. 따라서 간이측정장비를 이용한 엽병즙액 내 질산태 질소 농도를 실시간 측정하여 관비재배시 급액 EC의 농도를 결정하는 방법을 구명하고자 본 시험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 2006년부터 2007년까지 2년간 강원도농업기술원 원내 연동형 비닐하우스에서 토마토를 이용하여 수행되었다. 1차년도인 2006년에는 요쿠산마루 품종을 이용하여 공정숙묘장에서 육묘한 접목묘를 이용하여 5월 1일에 정식하여 6단 재배를 실시하였다. 정식 전에 토양분석(표 1)을 통하여 표준시비량(N-P-K = 24-16.5-24kg/10a)을 기준으로 무비구, 점정시비량의 0.5배, 1.0배, 1.5배 등 4수준으로 처리하였으며 처리량의 기비 사용량은 인산은 전량 기비로 사용하였고 질소와 카리는 기비와 추비를 각각 50%로 분시하였고 추비방법은 점적관수 방법을 이용하여 관비방법으로 일일 시비량으로 환산하여 분시하였다. 관비방법으로는 질소를 기준으로 일일 시비량을 계산하여 처리별로 표 2와 같이 공급하였다. 조사항목으로는 간이측정장치인 RQflex를 이용하여 식물체 엽병즙액 내 질산태 질소 농도, 토양 이화학적, 생육 및 수량을 조사하였다. 2차년도인 2007년에는 계우스42 품종을 이용하여 공정숙묘장에서 육묘한 접목묘를 이용하여 7월 27일에 정식하여 6단 재배를 실시하였다. 정식 전에 토양분석(표 1)을 통하여 표준시비량(N-P-K = 24-16.5-24kg/10a)을 기준으로 관비방법을 이용하여 무비구, 50, 100, 200mg/주/일 4수준으로 처리하였다. 조사항목으로는 식물체 엽병즙액 내 질산태 질소 농도, 토양 이화학적, 생육 및 수량을 조사하였다.

표 1. 처리 전 토양 조건

연도	pH	EC(dS/m)	T-N(%)	P ₂ O ₅ -P(%)	Ca	Mg	K
					--- cmol(+)/Kg ---		
2006	6.56	1.18	0.07	0.03	5.93	1.92	1.42
2007	6.43	1.05	0.15	0.14	4.75	1.72	1.53

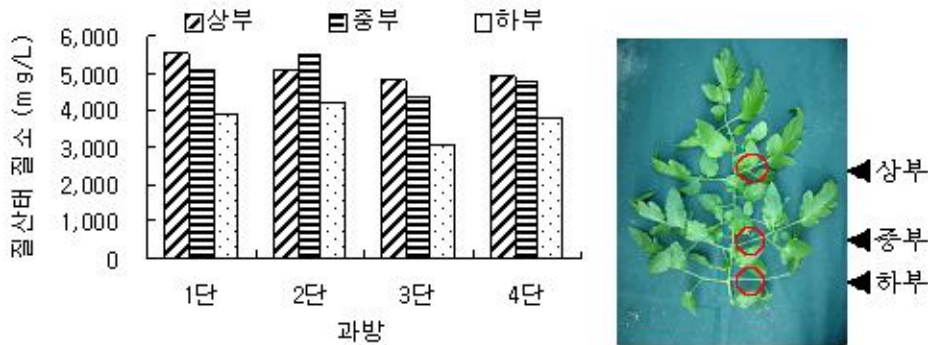
표 2. N 기준 일일 시비량

연도	일평균 질소시비량 (mg/주/일)	질소시비량 (g/주)	총질소량 (kg/10a)
2006	0	0	0
	100	5.0	12.0
	200	10.0	24.0
	300	15.0	36.0
2007	0	0	0
	50	2.5	6
	100	5.0	12
	200	10.0	24

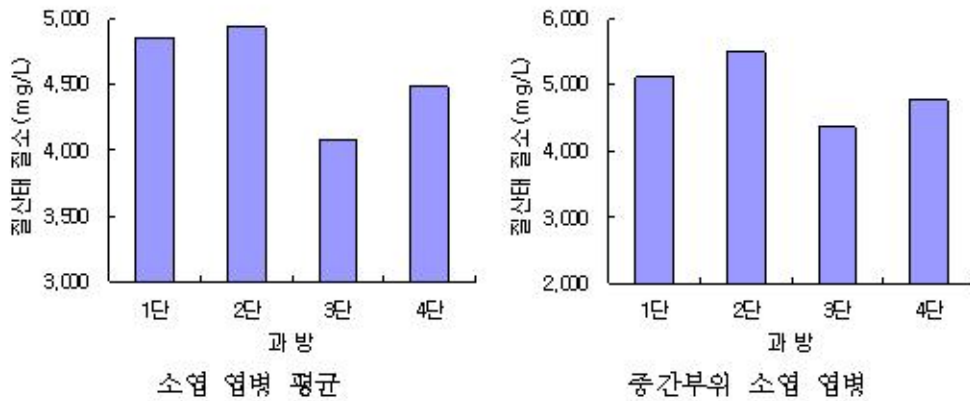
3. 결과 및 고찰

표준시비 처리구의 정식 50일 후에 각 과방 바로 아래쪽 엽의 엽병즙액 내 질산태 질소의 함량을 측정하였다(그림 1). 엽 내 소엽의 위치에 따른 차이를 보고자 상부, 중부 및 하부로 나누어 분석을 실시한 결과, 소엽의 위치에 따른 엽병즙액 내 질산태 질소의 함량은 상부가 가장 높았고 중부와 하부로 갈수록 감소하였다. 또한 과방에 따른 차이는 1~2단 과방 부위가 높았으며 3~4단 부위에서 다소 감소하였으며 특히 3단 과방 위치의 엽병 하부의 질산태 질소 함량이 가장 낮았다.

또한 과방 부위별 소엽 전체의 엽병즙액 내 질산태 질소 평균 농도는 1단과 2단은 높았으나 3단 부위가 가장 낮았으며 4단은 그 중간이었고, 과방 부위별 중간 소엽의 엽병즙액 내 질산태 질소 농도 역시 같은 경향이였다(그림 2).



<그림 1> 표준시비구의 과방별 엽병부위에 따른 NO₃⁻ 농도(정식 후 50일)



<그림 2> 표준시비구의 과방별 엽병부위의 NO₃⁻ 농도(정식 후 50일)

이러한 원인으로는 조사시기가 정식 50일 경과한 시점으로 3단 과방의 과실이 착과 후 비대기에 접어들었기 때문에 양분의 흡수 및 소모가 심하였기 때문이라고 여겨진다. 이는 田中哲司(2003)의 실험에서 엽위별 엽병즙액 내 질산태 질소 농도는 상위엽으로 올라갈수록

증가하다가 과실의 비대, 착생 및 개화기에 도달한 과방 부근 엽에서 농도가 크게 감소하는 특징을 보인다는 결과와 유사하였다. 결산태 결소 농도가 급격히 감소하는 위치인 제3과방의 평균 과장 및 과폭이 山田良三 등(1995, 1996)이 보고한 바와 같이 양분의 흡수량이 많은 과실비대기에 과실 크기가 2~4cm 정도일 때에 해당되었다(표 3).

山田良三 등(1995)은 2년간의 시험을 통해 수확이 시작되는 생육 전기에는 엽병즙액 중의 결산태 결소는 하위엽에서 고농도이고 상위엽은 저농도였다고 하였고, 수확후기에는 하위엽을 제거해서 전체적으로 결산태 결소농도는 낮았으나 특히 수확과실 주변의 엽병에서 뚜렷하게 저농도로 낮은 것을 확인하였다고 보고하였다.

표 3. 표준시비구의 과방위치별 과실 특성 (정식 후 50일)

과방	과수 (개/과방)	수량 (g/과방)	과중 (g/과)	과장 (cm)	과폭 (cm)
1	5.0	545	121	5.3	6.8
2	4.0	341	83	4.9	5.4
3	3.3	112	34	3.6	3.8
4	2.3	29	11	2.6	2.7

또한 정식 후 80일째의 생육과 수량을 보면(표 4, 5), 생육의 경우 초장은 무비구에서 가장 작았고 0.5배구에서 가장 높았으며 경경은 시비수준이 높아질수록 굵어졌다. 또한 수량의 경우 검정시비량의 1.0배의 관비처리구일 때 가장 높았다. 그러나 이는 착과수 증가에 따른 평균과중의 감소를 초래하였다.

표 4. 관비처리에 따른 생육 특성 (정식 후 80일)

관비처리	초장 (cm)	경경 (mm)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
무비구	177.6	9.3	24.4	29.8	53.2	57.1
0.5배	190.0	10.6	23.1	30.8	57.8	56.6
1.0배	184.4	11.9	20.2	31.2	56.8	55.0
1.5배	180.0	12.1	24.8	31.0	58.9	56.2

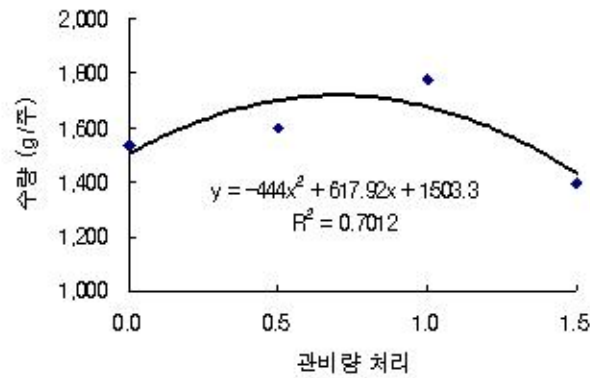
표 5. 관비처리에 따른 수량 특성 (정식 후 80일)

관비처리	과장 (cm)	과폭 (cm)	과중 (g)	당도 (°Brix)	과수 (개/주)	수량 (g/주)	수량 지수
무비구	5.2	6.0	112.2	5.5	13.8	1,537	100
0.5배	6.3	6.2	130.1	5.9	12.4	1,601	104
1.0배	5.2	6.0	114.3	5.5	15.8	1,777	116
1.5배	5.1	5.7	109.1	5.9	12.6	1,398	91

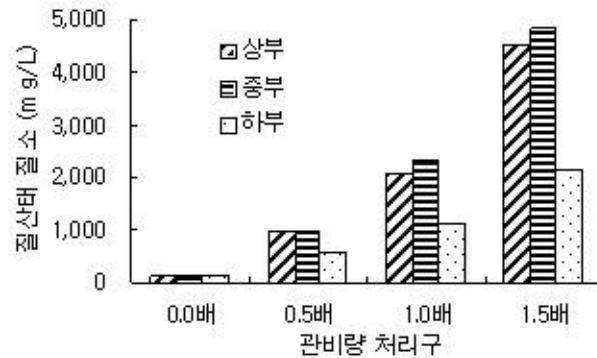
이러한 관비처리 수준과 수량과의 관계에 대하여 시비와 수량과의 2차함수관계를 알아보고자 회귀곡선식을 구한 결과는 그림 4와 같다. 이 회귀곡선식에 의한 최대 수량을 위한 최적 관비량 처리 수준은 검정시비량의 0.7배에 해당하였다. 이는 기존의 관비 재배시 적정 시비량 수준은 표준시비량의 0.7~0.8배라고 하는 기존 보고(김등, 2004)와 일치하였다.

관비량 처리 수준에 따른 소엽부위별 엽병즙액 중 질산태 질소 농도는 그림 5와 같다. 관비량이 증가할수록 질산태 질소는 증가하여 무처리구는 매우 낮았으나 1.5배의 경우 4,500~5,000mg/L 범위로 높았다. 소엽부위에 따른 질산태 질소 농도는 상부와 중부에 비해 하부의 농도가 낮았는데, 이는 잎과 과실과의 질소경합에 따른 것으로 여겨졌다.

山田良三(2004)은 토마토 축성작형에서 엽병즙액 중 질산태 질소 농도의 경시적인 변화를 생육이 왕성하고 착과부하가 심해지는 시기인 3화방 개화기부터 농도감소가 급격해지며 이후 생육 후기까지 지속되어 거의 1,000mg/L 이하로 지속된다고 보고하였는데, 실제로 적정 관비 수준이었던 것이 표준시비 대비 0.7배 정도의 수준이라면 이때의 농도는 1,000~2,000mg/L 수준으로서, 山田良三(2004)의 보고보다 높았던 것은 작형의 차이에 따른 시설 내 온도 및 광도 차이에 의한 양분흡수 패턴과 생육의 왕성한 정도 차이에 의해 발생되었다고 사료되었다.



<그림 4> 관비량 처리에 따른 수량 회귀곡선식

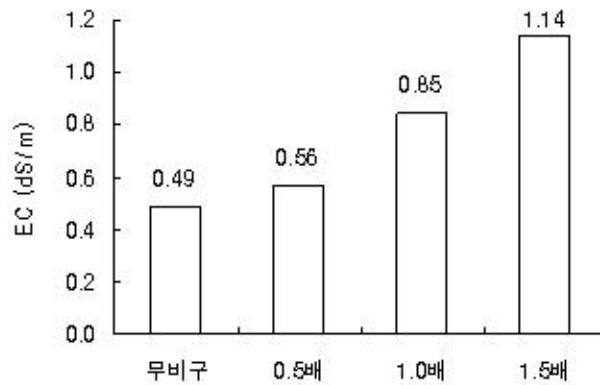


<그림 5> 생육후기 비대과실 부위의 소엽 부위별 엽병즙액 중 NO₃ 농도

표 6. 생육 후기 부위별 엽병즙액 중 NO₃ 농도(정식 후 80일) (단위 : mg/L)

관비처리	4단	5단	6단
무비구	73	110	90
0.5배	650	967	633
1.0배	3,083	2,350	3,000
1.5배	6,967	4,833	1,950

작기 종료 후의 토양 EC 변화는 재배 전 1.18dS/m에서 처리수준별로 0.49~1.14 dS/m로 저하되었는데, 이는 염류집적 발생을 억제하기 위하여 작부기간 중에 시비량을 적정 수준으로 공급한 후 작기 종료 전에 관비농도 및 양을 감소시킨 후 중단한 결과였다. 이는 관비를 이용할 때 작부 후기에 관비량을 감소시키는 것이 작기 종료 후 토양 염류집적 없이 재배할 수 있는 관리방법이라는 것을 시사하였다.



<그림 6> 작기 종료 후 관비처리별 토양 EC

2007년도 2년차 시험에서 생육은 초장 및 경경이 질소공급량 수준이 증가함에 따라 증가하였으며 이는 질소를 기준으로 증가시켰기 때문에 영양생장을 촉진시켰다고 판단되었다. 또한 수량은 질소공급량에 비례하여 증가하지 않았으며 주당 수량이 100mg/L 처리 수준에서 가장 많았다(표 5, 6).

표 5. 질소 공급량 처리에 따른 생육 특성

질소공급량 (mg/주/일)	초장 (cm)	경경 (mm)	절간장 (cm)	엽수 (매)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
0	164.6	8.5	22.4	25.3	51.2	53.4
50	172.4	11.5	23.5	26.4	58.5	57.2
100	177.5	12.8	24.6	28.2	57.4	55.3
200	182.0	13.4	24.3	27.5	59.2	56.1

표 6. 질소 공급량 처리에 따른 수량 특성

질소공급량 (mg/주/일)	과장 (cm)	과폭 (cm)	과중 (g)	당도 (°Brix)	과수 (개/주)	수량 (g/주)
0	5.9	6.2	122.3	6.4	18.7	4,025
50	6.7	6.5	130.5	6.5	20.3	4,662
100	6.9	6.8	136.7	6.4	22.2	5,341
200	6.6	6.4	134.1	6.5	22.1	5,215

이러한 수량 결과에 따른 질소 공급량과 수량과의 관계에 대한 2차 회귀곡선식을 구한 결과는 그림 7과 같다. 이 회귀곡선식에 의한 산출한 적절한 하루의 주당 질소공급량은 148mg/L 수준이었다. 齋藤俊久(2004)는 토마토 작형별 시비 및 관수의 모델을 제시하였는데, 억제재배시 정식 직후 서서히 관비량을 높이다가 3단 개화기를 정점으로 적심기까지 지속 후 서서히 감소시키는 것을 제시하였는데, 이때 1일 최대 질소시비량은 축성작형에서는 150mg/L, 억제작형에서는 120mg/L 수준이라고 하였다. 본 시험 결과 齋藤俊久(2004)가 보고한 범위

의 농도와 유사하였다.

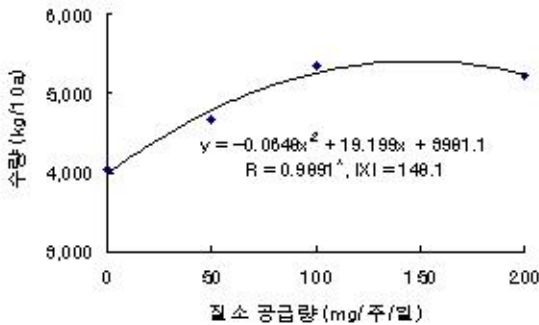
표준시비구의 과방별 엽 부위에 따른 엽병즙액 중 질산태 질소 농도는 1년차와 유사하게 엽병부위가 기부로 갈수록 질산태 질소농도가 낮았으며 과방의 위치는 비대기 및 착과부하가 많았던 3단 과방 위치에서 가장 낮았다(표 7).

또한 광조건에 따른 엽병즙액 중의 질산태 질소 농도를 보면(그림 8), 맑은 날에 측정된 농도가 낮았으며 흐린 날에는 다소 높았으며 특히 맑은 날의 비대 중인 과실 부위의 엽병에 해당하는 3단 과방 바로 아래 잎의 엽병즙액 중의 질산태 질소 농도가 특히 낮았다. 이는 뿌리, 줄기로부터 잎으로 전이된 질산 이온은 질산환원효소의 작용으로 빠르게 아질산, 암모니아로 변화되어 최종적으로 동화산물로서 과실에 축적되는데, 토마토 잎에서의 질산환원효소 활성은 광도가 높은 상태에서 활성이 높은 광 의존성 효소이기 때문에 맑은 날과 흐린 날의 질산태 질소 농도의 차이가 나타났고 또한 비대 과실 부위의 잎이 효소활성이 높기 때문에 이러한 결과가 나타난 것이라고 사료된다(山田良三, 2000; 2004).

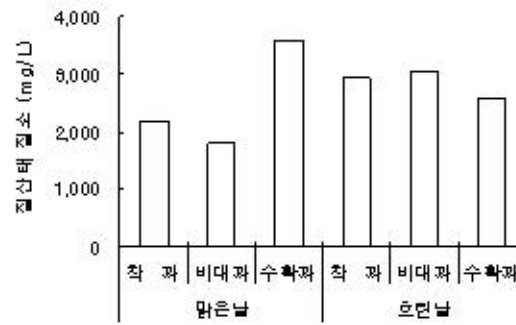
표 7. 표준시비구의 과방별 엽 부위에 따른 엽병즙액 중 NO₃ 농도 (정식 후 60일)

(단위 : mg/L)

과 방	상 부	중 부	하 부
1단	3,320	3,073	2,347
2단	3,073	3,307	2,507
3단	2,880	2,627	1,847
4단	2,967	2,860	2,260



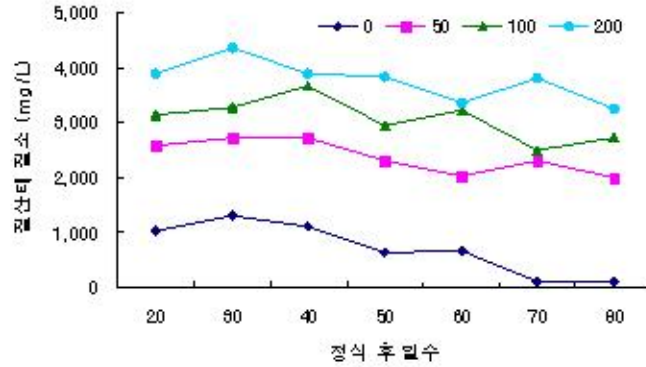
<그림 7> 질소 공급량 처리에 따른 수량 회귀곡선식



<그림 8> 광조건 및 부위에 따른 엽병즙액 중 NO₃ 농도

질소공급량 처리 수준별 질산태 질소 농도의 경시적인 변화를 보면, 무처리구의 경우 정식 초기에는 1,000mg/L 수준으로 유지되다가 이후 점차 감소하였고 나머지 처리수준에서는 2,500~4,000mg/L 수준으로 변화되었다(그림 9). 山田良三(2004)은 토마토 축성작형에서 엽병즙액 중 질산태 질소 농도의 경시적인 변화를 토경과 관비재배시 조사한 결과, 관비구는 생육이 왕성하고 착과부하가 급격해지는 시기인 3화방 개화기에 급격한 농도 감소가 발생하

였으며 거의 1,000mg/L 이하로 낮아졌으며, 토경의 경우 3,000~4,000mg/L 수준으로 변화하다가 이후 낮아지는 특징을 보였다고 보고하였다. 이러한 엽병증액 중 질산태 질소 농도에 대한 기존의 보고들과 일치하거나 차이가 발생하는 이유는 재배작형, 품종, 기타 토양조건이나 시설 내 재배환경에 따른 차이에 기인된다고 여겨진다.



<그림 9> 질소 공급량 처리별 엽병 중 NO₃ 농도의 경시적 변화

본 시험은 토마토의 관비재배시 엽병증액 중의 질산태 질소를 측정함으로써 실시간 영양진단에 의해 관비재배에 적용하고자 수행하였다. 이러한 관비재배시 엽병증액 중 질산태 질소 농도 분석에 따른 진단시비에 의한 재배를 통하여 비료량의 절감 및 토양 염류집적도 경감시키는 효과가 있다고 사료되며, 이러한 결과를 바탕으로 향후 농가수준에서 활용이 가능한 진단시비 및 처방이 가능하리라 생각된다.

4. 적 요

시설 토마토의 관비재배시 비료의 효율적 이용과 과다 시비에 의한 염류집적을 경감시키고자 실시간 간이영양진단 방법으로서 test strip을 이용한 질산태 질소 농도의 측정 방법을 구명하고자 본 시험을 수행하였다. 질소 시비량이 증가할수록 영양생장은 증가하였으며 최대 수량을 위한 질소시비량은 표준시비량의 70% 수준이었다. 엽병증액 중 질산태 질소 농도의 변화는 생육단계 및 과방 부위별로 변화가 다양하였으나, 급속한 비대기에 해당하는 과방 위치에 있는 엽의 엽병부위에서 질산태 질소농도가 가장 낮아 엽으로부터 과실로의 질산태 질소의 요구량이 많았다고 사료되었다. 또한 맑은 날 측정시 흐린 날에 측정하는 것에 비해 과실 비대기 과방 부위의 엽 내 농도가 낮아 생육상황 판단 기준에 적합하였다. 표준시비구의 질소급액농도 수준인 200mg/주/일 급액시 엽병증액 내 질산태 질소 농도는 3,000~4,000mg/L 수준이었으나, 정상적인 생육 범위의 질소 급액 농도 수준인 50~100mg/주/일 급액시 엽병증액 내 질산태 질소 농도는 2,000~3,500mg/L 수준이었다.

5. 인용문헌

- Kenworthy, A.L. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. p. 381-392. In L.M. Walsh and T.D. Beaton (ed.) Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- 김권래, 김계춘. 2003. Test strip과 chlorophyll meter를 이용한 오이의 신속한 영양진단. 한국토양비료학회지 36:272-279.
- 山田良三. 2000. 養液土耕栽培における施設トマトの葉柄汁液硝酸濃度及び硝酸酵素活性. 日本土壤肥料學會中部支部講演要旨集. 6-7.
- 山田良三・加藤俊博ら. 1995. リアルタイム土壤・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理 (第1報). 葉柄汁液の硝酸濃度に基づく診断基準の作成. 愛知農総試年報. 27. 205-211.
- 山田良三・加藤俊博ら. 1996. リアルタイム土壤・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理 (第2報). 持続的生産のために施肥管理技術. 愛知農総試年報. 28. 133-140.
- 田中哲司. 2003. トマトの養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度をを用いた生育診断指標の策定. 愛知農総試年報. 35:73-78.
- 山田良三. 2004. リアルタイム栄養診断・土壤診断の實際. pp. 417-424. In; 社団法人農山漁村文化協會. 野菜園藝大百科 第2版. 第22巻 養液栽培・養液土耕. 農文協編.
- 齋藤俊久. 2004. 抑制トマト・促成トマト. pp. 447-451. In; 社団法人農山漁村文化協會. 野菜園藝大百科 第2版. 第22巻 養液栽培・養液土耕. 農文協編.
- 김기덕, 이재욱, 조일환, 김태영, 우영희, 남은영, 문보흠. 2004. 반쪽성 관비재배 오이의 생육 단계별 시비관리를 위한 일일시비량 및 엽병증액의 농도 기준 설정. 한국생물환경조절학회지 13:96-101.
- 임재현, 이인복, 김홍림. 2001. 시설 오이의 관비재배를 위한 토양용액과 엽병증액 중 질산태 농도 기준 설정. 한국토양비료학회지 34:316-325.

6. 연구결과 활용

연도 (연차)	활용구분	계 목
2007년도 (2년차)	기초자료	시설 토마토 재배농가의 영양진단 판단기준 설정

7. 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성명	수행업무	참여년도	
					06	07
책임자	원예연구과	농업연구사	원재희	과제총괄	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구사	전신재	생육조사 및 연구대행	○	○
공동연구자	원예연구과	농업연구사	서현택	생육조사 및 연구대행		○