

토양의 EC 수준에 따른 관비공급 농도가 시설토마토 수량과 토양의 염류집적에 미치는 영향

이성태* · 김영봉 · 이영한 · 이상대

경상남도농업기술원

(2005년 11월 16일 접수, 2006년 3월 2일 수리)

Effect of Fertigation Concentration on Yield of Tomato and Salts Accumulation in Soils with Different EC Level Under PE Film House

Seong-Tae Lee*, Yeong-Bong Kim, Young-Han Lee, and Sang-Dae Lee (Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea)

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the concentration of fertigation for optimum yield and soil management of tomato cultivation in soils with different Electrical conductivity (EC) level under PE film house. The EC levels of soil were adjusted to 1.4, 3.0 and 5.4 dS/m and fertigation concentrations were supplied with 0.0 (groundwater), 1.0, 2.0 and 3.0 dS/m, respectively. When the concentration of fertigation was supplied over 3.0 dS/m to soil with EC 1.4 dS/m, the concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$, avail.- P_2O_5 , and exchangeable K in soil were increased after the experiment. When fertigation concentration was supplied over 2.0 and 1.0 dS/m to soil with EC 3.0 and 5.4 dS/m respectively, the nutrients were also accumulated in the soil. Thus, the optimum concentrations of fertigation for optimum yield and soil management for tomato cultivation were recommended 1.0~2.0 dS/m, 1.0 dS/m and ground water (0.0 dS/m) to soils with EC 1.4, 3.0 and 5.4 dS/m, respectively. The fruit weight, marketability and marketable yield of tomato were not significant among the treatments at 5% level by LSD. The concentrations of T-N, P_2O_5 and K_2O in tomato leaf were increased with increasing of fertigation concentration, whereas the concentrations of CaO and MgO decreased with increasing of fertigation concentration.

Key Words: fertigation concentration, yield and nutrient, tomato, soil EC

서 론

관비재배(Fertigation)는 관수(Irrigation)와 시비(Fertilization)를 동시에 수행함으로써 토양속에 함유하고 있는 비료(다량원소 및 미량원소) 성분을 이용하고 점토와 유기물의 완충능력을 활용하여 작물을 재배하는 농법이다. 이는 분수호스나 점적호스로 물을 공급할 때 작물이 요구하는 양분을 함께 공급하는 방법이다. 또한 관비재배는 합리적인 시비관리를 통해 양분의 이용 효율을 높일 수 있으며 주로 사탕토 등의 양분유실이 심한 곳에서 많이 도입하고 있다^{1,3)}. 관비재배가 발달한 이스라엘은 농업용수 절약 및 효율적 이용을 위하여, 일본은 소량의 물과 양분을 수시로 공급하므로 양분 흡수능력 향상을

위하여, 유럽은 스페인을 중심으로 환경오염 대책으로 관비재배를 행하고 있다^{4,9)}. 따라서 관비재배는 작물이 필요한 양분과 수분을 적절한 간격으로 적정농도의 비료염 희석액으로 적량을 공급하므로 비료의 흡수율이 좋아져 수량과 품질이 향상될 뿐만 아니라 토양오염과 양분의 유실에 의한 지하수 및 하천오염을 최소화할 수 있는 환경친화적 재배방식이다¹⁰⁾.

Kang 등¹⁾은 관상용 고추(ornamental pepper) 재배시 생육시기에 따라 관비농도 조절과 관비 주기가 수량에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였으며, Cho 등¹¹⁾은 방울토마토를 관비재배한 결과 관행재배에 비해 수량 뿐만 아니라 품질도 우수하다고 보고 하였다. 경남의 관비재배 면적은 150 ha를 차지하며 매년 30 ha씩 증가하고 있다¹²⁾. 관비재배가 이루어지고 있는 우리나라 시설재배지 토양은 작물 생산성 증대를 위한 화학비료 및 가축분 부산물비료 등의 과다 사용으로 염류집적이 심각한 실정이다. 2003년 경남지역 시설재배

*연락처:

Tel: +82-55-771-6414 Fax: +82-55-771-6419

E-mail: LST08@gsnd.net

지 토양분석 결과¹³⁾ 표토의 평균 EC 농도는 3.6 dS/m 이었고 토마토 재배지 토양의 평균 EC는 4.2 dS/m 로서 적정 수준인 2.0 dS/m 보다 2배 이상 높았으며, NO₃-N의 함량도 213 mg/kg으로 높은 수준인 것으로 나타났다. 관비재배로 과잉 공급된 양분은 지하로 용탈되어 지하수 오염을 가속화시키고 비점오염원의 잠재성을 지니게 된다¹⁴⁻¹⁶⁾. 그럼에도 대부분의 농가에서는 토양의 양분을 고려하지 않고 일정한 양분농도로 관비하는 경우가 많아 토양에 양분 과다집적 및 생산물의 품질에 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구는 토마토 관비재배시 토양 EC 수준별 관비공급 농도에 따른 토양과 토마토 수량을 분석하여 농업환경 오염을 최소화하고 안전 농산물을 생산하기 위한 토마토 재배지의 적정 관비공급 농도를 검토하였다.

재료 및 방법

토마토 재배 및 관비공급농도

공시작물인 토마토는 모모따로요크 품종을 2002년 11월 16일 파종하고, 재식거리를 180×20 cm(1조)로 하여 2003년 1월 8일 정식하였다. 시험구 면적은 6.9 m²이며, 시험구는 분할구배치 3반복으로 실시하였으며 6화방까지 재배하였고 관비로 공급되는 EC는 0.0(groundwater), 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m 4처리를 두었다. 관비의 조성은 미량원소를 제외한 다량원소만 공급하였고 EC 수준별 비료의 N, P, K 함량은 질산암모늄, 1인산칼륨 및 질산칼륨으로 조절하였으며, EC 수준별 각 성분 농도는 Table 1에서 보는 바와 같다. 관비는 1일 1회 공급하였으며 비오고 구름긴날은 공급하지 않고 맑은날만 공급하였다. 관비공급은 2003년 2월 11일부터 5월 23일까지 공급하였고, 그 이후부터 시험종료시까지는 물만 공급하였

Table 1. Ingredient of fertilizer by different EC concentration of fertigation (Unit : mg/ L)

Fertilizer	EC concentration of fertigation (dS/m)			
	0.0 (groundwater)	1.0	2.0	3.0
N	2.0	90	180	270
P ₂ O ₅	-	45	90	135
K ₂ O	0.9	130	260	390

Table 2. Chemical properties of the soil used for experiment

Soil EC	pH	OM	Ava.- P ₂ O ₅	Exch.-cation			NH ₄ -N	NO ₃ -N
				K	Ca	Mg		
dS/m	1:5	g/kg	mg/kg	----- (cmolc./kg) -----			----- (mg/kg) -----	
1.4	6.9	18.2	300	0.23	8.8	2.6	3.2	24.1
3.0	6.9	19.1	366	0.96	7.9	2.7	44.1	69.6
5.4	7.2	18.5	430	2.17	7.6	2.9	56.0	190.6

다. 수확은 2003년 3월 27일부터 6월 16일까지 하였다.

토양 EC 조절

시험 토양은 미사질양토로서 EC 수준을 1.0, 3.0 및 5.0 dS/m의 3처리를 계획하여 요소, 용성인비 및 염화칼리 비료를 사용하여 인위적으로 조절하였으나 실제 토양이 안정화되었을 것으로 생각되는 1개월 후 토양의 EC 수준은 1.4, 3.0 및 5.4 dS/m로 되어 이를 시험 토양으로 사용하였다. 각 토양의 EC 수준별 양분함량은 Choi 등¹³⁾이 경남지역 시설재배지 토양에 대하여 조사된 EC 수준별 Ava.-P₂O₅, K, NH₄-N와 NO₃-N 성분 함량과 비슷하게 요소, 용성인비 및 염화칼리를 사용하여 인위적으로 조절하였다(Table 2). 그러나 EC 수준 3.0 및 5.0 dS/m에서 Ava.-P₂O₅ 함량을 800 및 1,400 mg/kg으로 조절하고자 하였으나 사용한 용성인비는 용해도가 낮고 불용화가 심해 목적하는 수준까지 올라가지는 않았다.

토양과 식물체 화학성 및 과실의 당도 분석

토양 및 식물체의 화학성분 분석은 토양 및 식물체 분석법¹⁷⁾에 준하여 분석하였다. 토양의 pH는 pH-미터(ORION 900A), 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 유효규산은 NaOAc법, 치환성 양이온은 1N-Ammonium acetate(pH 7.0) 침출법, NH₄-N과 NO₃-N은 Kjeldahl법으로 각각 분석하였다. 토마토 엽의 식물체 분석은 열풍건조기로 80℃에서 건조하여 40 mesh로 분쇄한 시료 0.5 g을 습식분해액(HClO₄ : H₂SO₄ = 2 : 1) 10 ml로 분해시킨 여액을 희석하여 분석하였다. 총 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadomolybdate법으로 발색시켜 Spectrophotometer(Genesys 5, USA)를 사용하여 분석하였고, K, Ca, Mg는 Atomic Absorption Spectrophotometer(Perkin elmer, Analyst 300, USA)를 이용하여 분석하였다.

토마토 과실의 당도 함량은 토마토를 착즙하여 이것을 Refractometer(ATAGO N1, Japan)로 측정하였다.

결과 및 고찰

토양 화학성 변화

토양의 EC 수준이 1.4, 3.0 및 5.4 dS/m인 조건에서 관비공급 EC 수준을 0.0(groundwater), 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m의

4 수준으로 공급하여 토마토를 재배하였고 2003년 1월 9일부터 6월 20일까지 4회에 걸쳐 토양의 화학성 변화를 분석하였다. 토양 EC 1.4 dS/m에서 관비 EC 수준을 0.0, 1.0 및 2.0 dS/m로 처리하여 토마토를 재배했을 때 토양의 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , K 함량 및 EC 값은 생육초기에 비하여 감소하거나 약간 증가하였다. 그러나 관비 EC 수준을 3.0 dS/m로 공급하였을 때 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , K 및 EC 값은 생육 초기 보다 수확기에 크게 증가하였다. 특히, $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 P_2O_5 함량은 각각 26 및 300 mg/kg에서 164 및 463 mg/kg으로 증가하였고, 토양 EC는 1.4에서 1.8 dS/m로 증가하여 토양중에 양분이 집적되는 것으로 나타났다. Cho 등¹⁸⁾은 토양 EC가 1.35 dS/m인 양토에 아마자키 오이배양액을 각각 EC 1.0 및 2.0 dS/m으로 공급하여 오이를 재배하였을 때 상품과 수량은 2.0 dS/m 공급에서 높았지만 재배후 토양의 EC는 3.81 dS/m로 증가하였다고 하였다. 이는 본 시험의 미사질양토에서 토마토를 관비재배한 연구결과와 비교해 볼 때 초기 EC는 비슷하였지만 재배후 토양의 EC 증가 정도는 차이를 보여 토성에 따라 양분 집적 정도는 다양한 것으로 생각되었다. 토양의 EC가 3.0 dS/m에서 관비 EC 수준을 0.0로 처리하여 토마토를 재배했을 때 수확 종료 시점의 토양중 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , K 및 EC 값은 생육 초기값에 비하여 감소하였으나, 관비의 EC 수준을 1.0과 2.0 dS/m로 처리했을 때 토양의 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 , K 및 EC 값은 초기 보다 약간 증가하였다.

그러나 관비의 EC 수준을 3.0 dS/m로 공급하였을 때 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 및 EC 값은 생육초기에 비하여 수확기에 크게 증가하여 $\text{NO}_3\text{-N}$ 와 P_2O_5 함량은 각각 114 및 366 mg/kg에서 255 및 474 mg/kg으로 증가하였고, 토양중 EC는 3.0에서 5.0 dS/m로 증가하였다. Choi 등¹⁹⁾은 토마토 관비재배시 적합한 배양액의 EC 수준을 구명하기 위해 관비의 EC를 0.8~3.0 dS/m까지 4수준으로 달리하여 비교한 결과 생육에는 처리간에 차이가 없었으며, 염류집적을 줄일수 있는 관비수준은 EC 1.2~1.6 dS/m가 적당하다고 보고하였다. 또 Kang 등¹⁾은 Ornamental pepper 재배시 생육초기 관비농도는 높이고 후기는 낮추는 것이 주당 열매수와 수량이 높았다고 보고하였다. 이는 생육시기에 따라 관비농도 조절과 관비 주기가 수량에 영향을 미치는 것으로 토양과 작물관리면에서 적절한 관비시스템이 바람직한 것으로 생각된다.

토양의 EC가 5.4 dS/m에서 관비 EC 수준을 0.0(groundwater)로 처리하여 토마토를 재배한 경우 6월 20일(수확 후기)의 토양 EC는 4.7 dS/m로 감소하였지만 관비의 EC 수준을 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m로 처리했을 때 토양의 $\text{NO}_3\text{-N}$, P_2O_5 및 EC는 생육초기에 비하여 수확 후기에 증가하였다. 관비의 EC 수준을 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m로 공급하였을 때 토양의 EC는 생육초기 5.4 dS/m에 비하여 수확 후기에 각각 6.1, 7.7 및 8.9 dS/m로 크게 증가하여 양분이 과다하게 집적되는 것으로 나타났다.

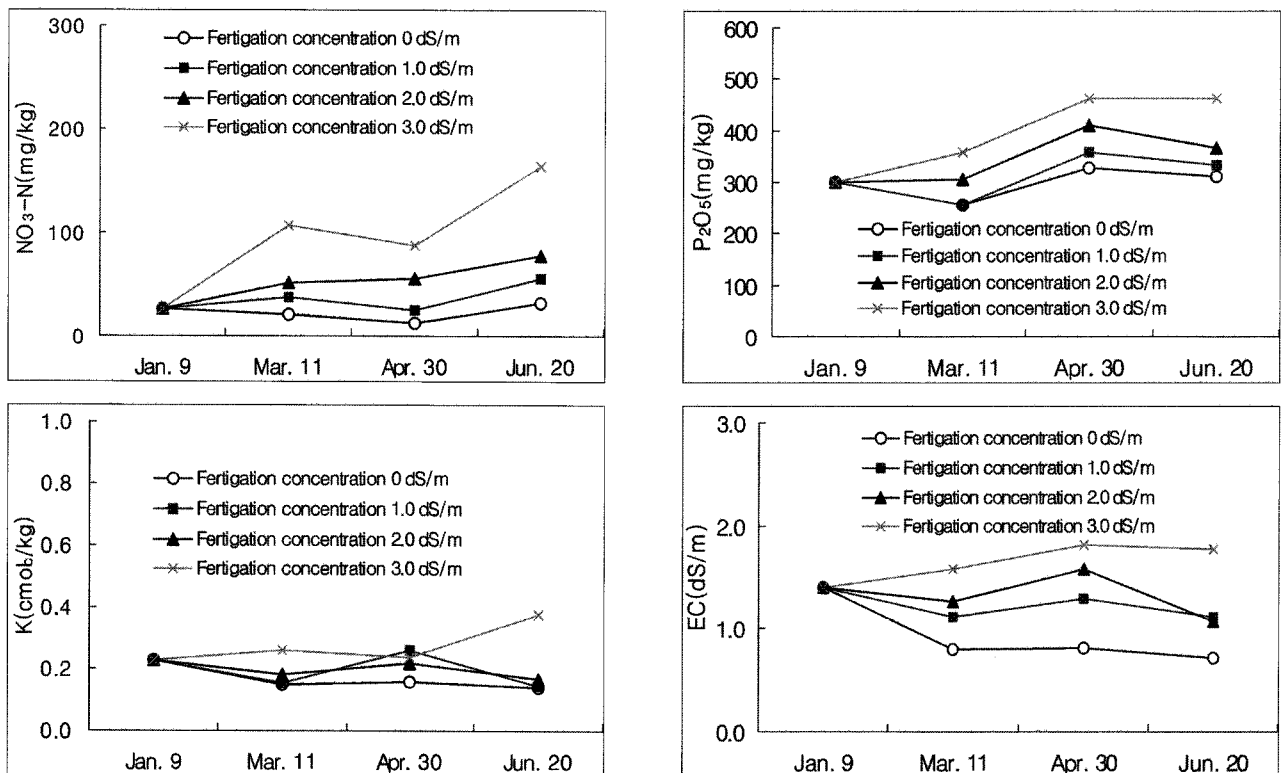


Fig. 1. Effect of different fertigation concentrations on the soil nutritional status at different growth stages of tomato in soil with EC 1.4 dS/m.

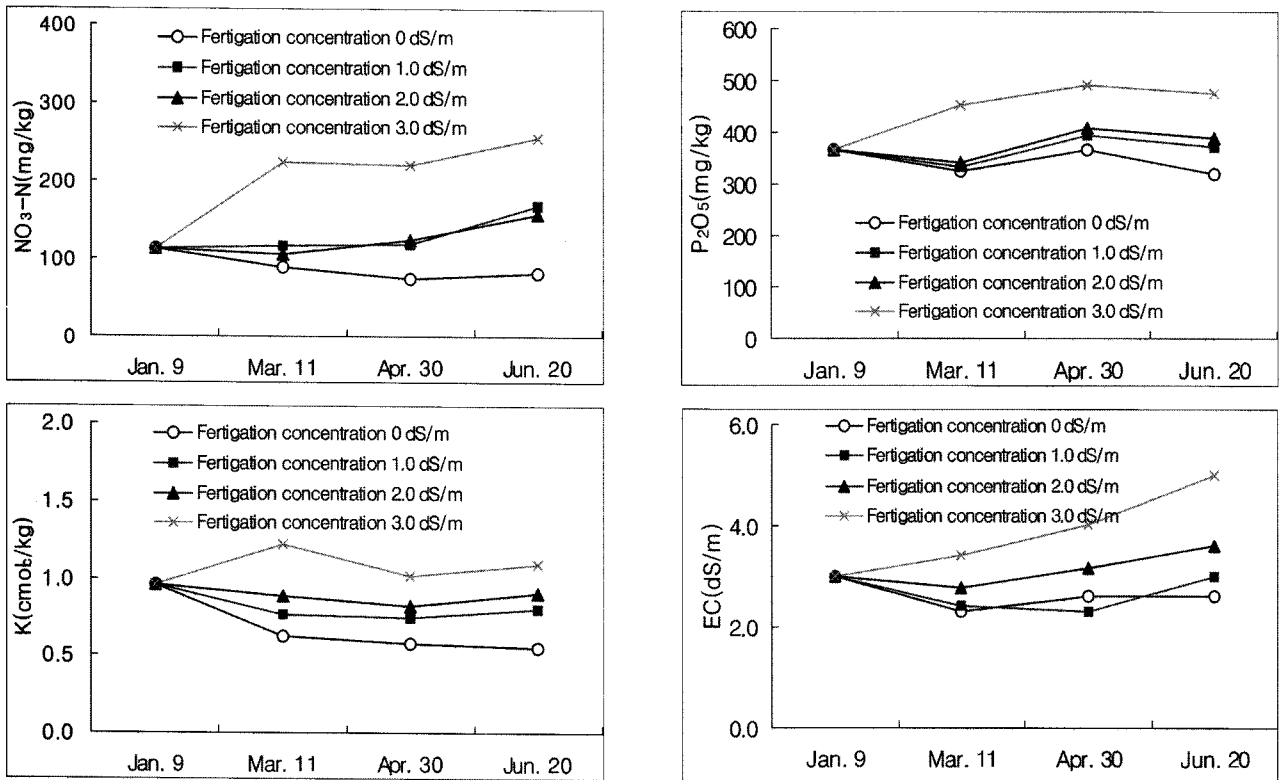


Fig. 2. Effect of different fertigation concentrations on the soil nutritional status at different growth stages of tomato in soil with EC 3.0 dS/m.

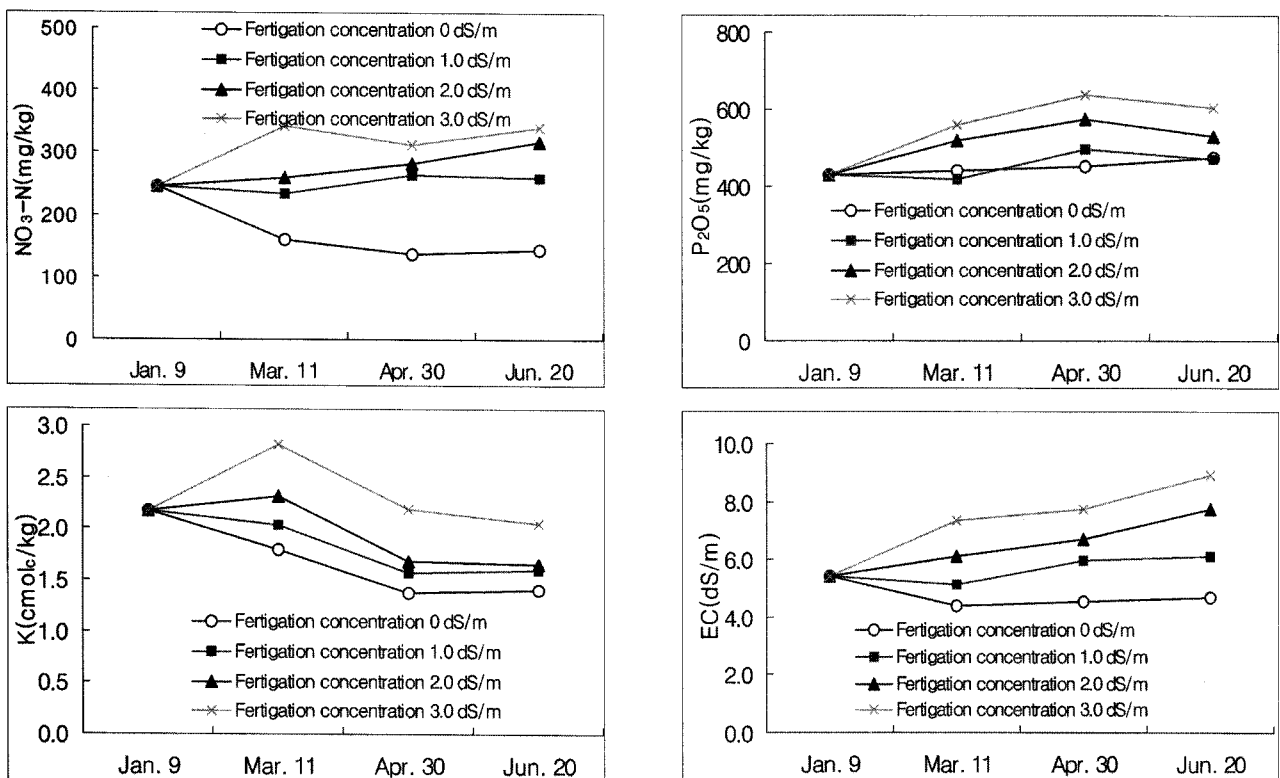


Fig. 3. Effect of different fertigation concentrations on the soil nutritional status at different growth stages of tomato in soil with EC 5.4 dS/m.

토마토 품질 및 수량

토양의 양분농도가 다른 EC 1.4, 3.0, 5.4 dS/m 의 토양에서 각각 관비공급 수준을 0(지하수), 1.0, 2.0, 및 3.0 dS/m 4처리로 달리하여 토마토를 재배한 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 각 처리별 토마토의 1과중은 141.8~166.0 g 이었고, 상품 과실율은 76.6~84.0% 이었으며, 상품수량은 8,031~9,382 kg/10a으로서 주구와 세구 처리간 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다. 과실의 당도도 5.3~5.6 Brix를 함유하고 있어 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 그러나 Park²¹⁾등은 사과나무에 추천시비량의 1/3을 관비로 공급한 결과 대조구에 비해 수채 생육도 좋았으며, 과실

의 착색도 선명하여 품질이 양호하였다고 보고하였다. 그리고 Cho 등¹⁸⁾은 토양 EC가 1.35 dS/m인 양토에 야마자키 오이배양액을 각각 EC 1.0 및 2.0 dS/m으로 공급하여 오이를 재배하였을때 2.0 dS/m로 공급에서 재배후 토양의 염류 집적 문제는 있었지만, 상품과 수량은 양액 1.0 dS/m에서 보다 높았다고 보고하였지만 본 시험 결과는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 토양 EC 1.4 dS/m에서 관비 공급수준을 EC 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m로 공급하였을 때 토마토의 상품율은 79.9, 77.9 및 80.5% 이었고, 상품수량은 8,586, 8552 및 8,990 kg/10a 이었으며, 처리간에 유의성은 나타나지 않았다. 토양 EC 3.0 dS/m에서 관비 공급농도를 EC 2.0과

Table 3. Yield and quality of tomato from soils of different EC as affected by the fertigation concentration

Soil EC (dS/m)	Fertigation EC (dS/m)	Brix	Fruit weight (g)	Marketability (%)	Marketable yield (kg/10a)	Total yield (kg/10a)
1.4	0	5.3	156.7	81.6	8,432	10,125
	1.0	5.4	154.9	79.9	8,586	10,060
	2.0	5.2	155.5	77.9	8,552	10,170
	3.0	5.5	141.8	80.5	8,990	10,499
3.0	0	5.6	157.0	81.1	8,743	9,994
	1.0	5.5	161.7	78.2	9,162	11,219
	2.0	5.6	151.3	80.0	9,382	11,041
	3.0	5.3	156.7	81.0	8,712	10,093
5.4	0	5.2	163.5	84.0	9,447	10,844
	1.0	5.5	161.7	80.6	9,103	10,505
	2.0	5.6	161.7	79.0	9,362	11,150
	3.0	5.4	166.0	76.6	8,031	9,743

Main plot LSD (5%) ----- ns¹⁾ ----- ns ----- ns

Subplot LSD (5%) ----- ns ----- ns ----- ns

Main plot x Subplot LSD (5%) ----- ns ----- ns ----- ns

¹⁾ ns : Not significant

Table 4. The inorganic nutrient contents of tomato leaves from soils of variable EC supplied with different concentration of fertigation

Soil EC (dS/m)	Fertigation EC (dS/m)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O (%)	CaO	MgO
1.4	0.0	1.6	0.5	0.7	3.9	2.4
	1.0	1.8	0.6	0.9	4.0	2.2
	2.0	1.9	0.7	1.3	3.9	2.0
	3.0	1.9	0.8	2.3	3.4	1.5
3.0	0.0	1.6	0.5	1.3	4.0	2.4
	1.0	1.7	0.5	1.6	3.6	1.9
	2.0	1.9	0.6	1.9	3.7	1.8
	3.0	1.9	0.6	2.0	3.6	1.9
5.4	0.0	1.7	0.9	1.5	3.5	2.3
	1.0	1.8	0.8	1.8	3.5	2.0
	2.0	2.0	0.9	1.8	3.3	1.9
	3.0	2.1	1.2	2.1	3.0	1.7

3.0 dS/m로 공급하였을 때 상품수량은 각각 9,382와 8,712 kg/10a으로, 관비농도 1.0 dS/m 처리의 9,162 kg/10a와 차이가 없었다. 토양 중 양분이 과다 집적된 EC 5.4 dS/m 조건에서 비료를 공급하지 않고 지하수만 공급하여 토마토를 재배한 처리는 수확후 양분의 집적 문제없이 상품수량이 9,447 kg/10a으로 정상적이었다(Fig. 3).

식물체 양분 함량

토양 EC에 따른 관비공급 농도별 토마토 엽의 무기성분을 분석한 결과는 Table 4에서 보는 바와 같다. 토양 EC 수준이 증가할수록, 또 관비의 EC 수준이 증가할수록 식물체의 T-N, P₂O₅ 및 K₂O의 함량은 약간씩 증가하였고 CaO와 MgO 함량은 조금 감소한 것으로 나타났다. 이는 N, P 및 K를 비교적 작물이 흡수하기 좋은 형태의 질산암모늄, 1인산 칼륨 및 질산칼륨을 이용하여 관비함으로써 관비공급 농도가 증가함에 따라 토마토 엽의 T-N, P₂O₅ 및 K₂O 함량이 약간씩 증가한 것이며, K의 길항작용에 의해 상대적으로 CaO와 MgO 함량은 감소된 것으로 생각된다.

요 약

토양의 양분을 고려하지 않고 관비재배 하는 경우는 토양에 양분 과다집적, 지하수 오염 및 작물생산성에 영향을 미칠 수 있다. 토마토 재배시 토양 양분 함량에 따른 최적 관비농도를 알아보고자 토양의 EC 수준에 따라 관비공급 농도를 4 수준으로 처리하여 토양 환경변화와 토마토의 수량을 평가한 결과는 다음과 같다.

EC 수준이 1.4, 3.0 및 5.4 dS/m인 토양에 관비농도를 0(groundwater), 1.0, 2.0 및 3.0 dS/m으로 공급하여 토마토를 관비재배 하였을때 1과중, 상품율 및 상품수량은 처리 간에 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 적정 수량을 유지하고 토양내 양분집적이 일어나지 않도록 관비하는 것이 가장 좋은 관비방법이라 생각된다. 토양의 EC가 1.4 및 3.0 dS/m인 조건에서 관비 농도를 3.0 dS/m으로 공급한 경우 수확후 토양의 EC는 각각 1.8 및 5.0 dS/m로 생육초기 보다 크게 증가하였고, NO₃-N, P₂O₅ 및 K 등의 양분이 집적되었다. 따라서 3.0 dS/m 미만으로 관비를 공급하는 것이 토마토의 적정 수량과 토양관리에 바람직할 것으로 생각되었다. 토양의 EC가 5.4 dS/m인 조건에서 관비공급 농도 1.0 dS/m 이상은 NO₃-N, P₂O₅ 및 K 등의 양분이 집적되었으며 지하수만 공급하여도 정상적인 수량을 생산할수 있었다. 토마토 엽의 무기성분 함량은 토양 EC 수준과 관계없이 관비공급 농도를 높였을 때 T-N, P₂O₅ 및 K₂O 함량이 증가하였고, CaO와 MgO 함량은 감소하였다.

참고문헌

1. Kang, J. G., Yang, S. Y., Lee, B. S., and Jeong, S. J.

(2003) Effects of Changing Fertilizer Concentrations and Fertigation Frequencies on Growth and Fruiting of Subirrigated Ornamental Pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44(4), 523-529.

2. Kim, Y. C. (1970) Studies on the nutri-irrigation culture applicable to sandy waste lands I. Studies on productivity and mineral constitution of nutri-irrigation culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 8, 23-105.

3. Park, J. Y., Choi, J. M., and Yoon W. M. (2002) Effect of Starting Time of Fertilization on Growth and Nutrient Uptake of Plug Seedlings of *Perilla frutescens var. japonica*. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43(6), 686-692.

4. Feigin, A., Ginzbug C., Ginzburg C., Gilead, S., and Akerman, A. (1986) Effects of NH⁴⁺/NO³⁻ ratio in nutrient solution on growth and yield of greenhouse roses. *Acta Hort.* 189, 127-132.

5. Haifa Chemicals Ltd. (2003) Fertigation techniques information manual. Haifa, Israel.

6. Hanson, B. R., May, D. M., and Schwankl, L. J. (2003) Effect of irrigation frequency on subsurface drip irrigated vegetables. *HortTechnology* 13, 115-120.

7. Hartz, T. K. and Hochmuth, G. J. (1996) Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology* 6(3), 168-172.

8. Li, J., Zhang, J., and Rao, M. (2004) Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agricultural Water Management* 67, 89-104.

9. Soundy, P., Cantliffe, D. J., Hochmuth, G. J., and Stoffella, P. J. (2005) Management of nitrogen and irrigation in lettuce transplant production affects transplant root and shoot development and subsequent crop yields. *HortScience* 40, 607-610.

10. Lim, J. H., Lee, I. B., and Kim, H. L. (2001) A criteria of nitrate concentration in soil solution and leaf petiole juice for fertigation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse cultivation. *J. Korean Soil Sci. Fert.* 34(5), 316-325.

11. Cho, Y. D., Joung, S. K., and Heo, J. C. (1998) Effects of fertigation system on the yield and quality of cherry tomatoes in plastic house. *Kor. J. Soc. Hort. Sci. and Tech* 16(1), p. 142.

12. Lee, S. T. (2004) The report of experiment of Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension Services. p. 230-237.

13. Choi, Y. J. (2003) The report of experiment of Gyeongnam-do Agricultural Research and Extension

- Services. p. 171-177.
14. Jung, G. B., Lee, J. S., and Kim, B. Y. (1996) Survey on groundwater quality under plastic film house cultivation areas in southern part of Gyeonggi province. *J. Korean Soil Sci. Fert.* 29(4), 389-395.
 15. Bergstrom, L. (1987) Nitrite leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual.* 16, 11-18.
 16. Yun, S. G. and Yoo, S. H. (1993) Behavior of NO₃-N in soil and groundwater quality. *Korean J. of Environ. Agric.* 12(3), 281-297.
 17. NIAST. (2000) Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
 18. Cho, S. S., Lee, J. K., Kim, J. M., Kim, J. Y., and Lee, Y. B. (2002) Effects of soil texture and nutrient concentration on the nutrient absorption, growth and yield in cucumber fertigation. *Kor. J. Hort. Sci. and Tech.* 20(Suppl II), p 87.
 19. Choi, H. S., Lee, H. J., Seo, Y. M., Lee, J. Y., and Lee, Y. B. (2002) The cultural fluid selective examination for fertigation of tomato plants and EC investigation. *Kor. J. Hort. Sci. and Tech.* 18(2), p 93.
 20. 농촌진흥청. (1999) 작물별 시비처방 기준. 상록사
 21. Park, M. Y., Kang, I. K., Yang, S. J., Chung, J. K., and Byun, J. K. (2004) Effect of fertigation system on fruit quality and tree growth in apple (*Malus domestica* Brokh). *Kor. J. Hort. Sci. and Tech.* 22(2), 195-199.
-