

토양 pH와 질소 관비 비종에 따른 토마토 생육 및 토양화학성 변화

강윤임¹ · 노미영¹ · 권준국¹ · 박경섭¹ · 조명환¹ · 이시영² · 이인복³ · 강남준^{4*}

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예시험장, ²농촌진흥청 연구정책국, ³농촌진흥청 국립원예특작과학원, ⁴국립경상대학교 원예학과

Changes of Tomato Growth and Soil Chemical Properties as Affected by Soil pH and Nitrogen Fertilizers

Yun-Im Kang¹, Mi-Young Roh¹, Joon-Kook Kwon¹, Kyoung-Sub Park¹, Myeong-Whan Cho¹, Si-Young Lee², In-Bok Lee³ and Nam-Jun Kang^{4*} (Protected Horticulture Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Busan 618-300, Korea, ²Director General for Planning & Coordination, RDA, Suwon 440-760, Korea, ³National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea, ⁴Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

Received: 26 October 2010 / Accepted: 9 December 2010
© The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract: This study was conducted to determine effects of soil pH and form of nitrogen fertilizers on tomato growth and chemical properties of greenhouse soil using fertigation system. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Superdoterang) were grown for three months in 18 L pots filled with two soil (pH 6.8 and pH 8.7). 4 different nitrogen fertilizers (urea, ammonium nitrate, ammonium sulfate, and potassium nitrate) were fertigated with different concentrations of 0, 10, 50, and 100 mg N/L during tomato cultivation. Soil pH 8.7 decreased yield and chlorophyll fluorescence compared with soil pH 6.8. Yield at soil pH 8.7 increased by ammonium nitrate and ammonium sulfate fertigation. Soil pH 6.8 induced increment of yield by nitrogen concentration than form of nitrogen fertilizers. Soil pH after cultivation of tomato decreased by application of ammonium nitrate and ammonium sulfate. Soil EC by 100 mg N/L application of ammonium sulfate was twice as much as other fertilizers. Form of nitrogen fertilizer had less effect on concentration of soil NH_4^+ -N and NO_3^- -N in soil but the concentrations slightly reduced at pH 8.7. These results indicate that application of urea and ammonium nitrate for a nitrogen source of fertigation has little affects

on soil chemical properties before and after tomato cultivation.

Key Words: Ammonium, Fluorescence, Nitrate, Sulfate, Yield

서론

관비재배는 물과 비료를 동시에 작물에 공급하는 방법으로 노동력 뿐 만 아니라 비용적인 측면에서도 효과적인 방법이며(Mohammad, 2004; Hanson *et al.*, 2006), 안정적인 관비재배를 위해서는 토양 환경과 작물생육 반응에 대한 이해를 바탕으로 관비재배 방법에 대한 기준이 필요하다.

질소는 작물의 생산성을 좌우하는 주요 양분성분으로 토마토, 양배추, 고추 등 다양한 작물에서 질소를 토양에 직접 시용할 때보다 관비할 경우 생산성을 증가시키고 질소 비료에 대한 이용효율이 높아지는 것으로 보고되고 있다(Cushman and Snyder, 2002; Lee *et al.*, 2007; Singandhupe *et al.*, 2003). 질소는 주로 아미드태(NH_2^-), 암모늄태(NH_4^+), 질산태(NO_3^-)로 공급이 되며, 주요관비 비종으로는 질산암모늄, 질산칼륨, 질산칼슘, 황산암모늄, 요소 등이 이용되고 있다. 관비용 비종을 선택하기 위해서는 비종의 장단점을 고려해야 한다(Watson, 1987).

주로 관비재배가 이루어지는 한국의 시설재배지 토양은 과도한 비료 투입과 피복재에 의한 강우 차단으로 토양 EC와 pH가 노지에 비하여 높은 편이며, 토양 pH가 9에 이르

*교신저자(Corresponding author): N. J. Kang
Tel: +82-55-751-5484 Fax: +82-55-751-5483
E-mail: k284077@gnu.ac.kr

Table 1. Chemical properties of soil before the experiment

Soil pH (1:5, H ₂ O)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex. Cations (cmol ⁺ /kg)			NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)
				K	Ca	Mg		
6.88	1.95	18.6	496	0.85	7.06	1.55	6.65	99.15
8.77	2.4	19.4	460	0.77	26.02	1.12	5.87	114.65

기도 한다(NIAST, 2001). 토양 pH는 양분 흡수와 관련하여 강력한 영향력을 가지며 또한 이것은 작물 생육과도 관련이 높은 중요한 토양화학성 특성 중 하나이다(Fitter and Hay, 2002; Tagliavini *et al.*, 1995).

이 실험은 변화된 한국의 시설원예지의 토양 환경조건을 반영하여 높은 토양 pH 조건에서 관비제배를 하였을 때 질소 비중에 따른 토마토의 수량 및 스트레스 반응을 살펴보고 토양 내 화학성 변화를 고려하여 적절한 비종을 선발하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

이 실험은 국립원예특작과학원 시설원예시험장의 비닐하우스에서 수행되었으며 시험토양으로는 사질식양토를 이용하였다. 토양 pH에 따른 토마토 생육과 관비비율을 선발하기 위하여 토양 pH는 2 수준으로 하였다. 포장수준의 토양 pH 수준을 높이기 위해 18 L 포트에 토양을 담은 후 각 포트에 50 g의 소식회를 처리하였으며, 각 시험토양의 화학성은 Table 1과 같다. 각 포트에는 점적관수 시설이 설치하여 농촌진흥청의 토마토 물관리 기준(NIAST, 2007)에 따라 작물 생육 단계별 물요구량과 기상요건 맞추어 가감하여 관수하였으며 모든 처리구의 관수량은 같다. 관비용 질소 비종으로는 질산칼륨, 황산암모늄, 질산태질소, 요소를 이용하였으며 각 처리별 4반복으로 수행하였다. 처리 농도는 토마토 생육에 적합하도록 토양검정 질소시비량은 203 kg N/ha 을 고려하여 비종별 처리수준을 10, 50, 100 mg N/L 로 하였으며 토마토 재배기간 동안의 농도별 질소 투입량은 Table 2와 같다. 대조구로 물만 관수한 처리구를 0 mg N/L 으로 표현하였다.

공시작물은 토마토 ‘슈퍼도테랑’ (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Superdoterang)을 이용하였다. 토마토종자는 2009년 4월 10일에 33°C에서 24시간 최아시킨 이후 32공 트레이에 파종하여 40일간 육묘하였다. 육묘된 토마토 묘는 5월 20일에 포트에 이식하여 정식과 동시에 관비처리를 시작하였다. 과실 수확은 7월 3일부터 8월 4일까지 수행하였다. 또한 생육 중기인 2010년 6월 24일에 토양 pH와 질소 비중에 따른 토마토의 스트레스 반응을 살펴보기 위하여 엽록소 형광 측정기(PAM-2000, Germany, Walz)를 이용하여 광합성 효율(Potential efficiency of photochemistry, Fv/Fm)을 측정하였다. Fo(Minimal fluorescence yield)과 Fm(Maximal fluorescence yield)의 차이인 Fv(Maximal variable fluorescence yield)를 측정하기 위하여 Leaf-Clip holder를 이용

Table 2. The total amount of nitrogen applied by fertigation concentrations

Treatment (mg N/L)	Nitrogen applied (kg N/ha)
0	0
10	25
50	125
100	250

하여 정단에서 4번째 잎을 30분 동안 암상태에 두어 광계 반응중심을 열린 상태로 만들어 준 다음 0.1 μmol/m²/s 이하의 낮은 광을 조사하여 Fo를 측정하였다. Fm은 1초 동안 광계 반응 중심이 닫힐 정도의 포화광(6000 μmol/m²/s)을 조사하여 측정하였다.

작물 재배 시험이 끝난 이후 각 포트에서 토양을 채취하여 3일간 음건한 후 토양 화학성을 조사하였다. 토양분석은 농촌진흥청 분석방법에 따라 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 그 현탁액을 초차전극법(720, ORION, USA)으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster 법으로 추출후 분광광도계(CINTRA6, GBC, Australia)로 분석하였다(NIAST, 2000). 토양내 질산태 질소와 암모니아태 질소는 2 M KCl로 추출 후 질소분석기(K-314, Buchi, Switzerland)로 분석하였다. 치환성 양이온 분석을 위하여 토양을 1 N-NH₄OAc(pH 7)로 추출한 후 유도결합플라즈마분광분석기(ICP-AES, GBC Intergra XM2, Australia)로 정량하였다.

실험처리에 의한 토마토 수량변화와 형광반응에 대해 처리간 차이를 비교하기 위하여 SAS 9.0(Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중비교분석을 실시하였으며 토양 화학성에 대한 실험결과는 SigmaPlot 9.0(SYSTAT, IL, USA) 프로그램을 이용하여 표준오차를 계산하여 처리간의 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

토양 pH와 질소비중에 따른 토마토 수량

토양 pH와 질소비중에 따른 토마토 수량은 Table 3과 같다. 토양 pH가 토마토의 수량에 미치는 영향을 살펴보면 질소관비를 하지 않고 물을 관비한 0 mg N/L 처리에서 토양 pH가 8.7인 경우 토양 pH 6.8에 비하여 토마토의 수량이 27% 감소하는 것으로 나타났다. pH는 작물의 양분 흡수

Table 3. Effect of soil pH and nitrogen fertilizers on tomato yield

Soil pH	Nitrogen fertilizer source	Nitrogen concentration (mg N/L)	Yield (kg/ha)
6.8	None	0	45113 abcdef ^z
		10	46221 abcdef
		50	47189 abcdef
	KNO ₃	100	48337 abcdef
		10	42169 bcdef
		50	43360 bcdef
	(NH ₄) ₂ SO ₄	100	61262 ab
		10	42270 bcdef
		50	57129 abcd
	NH ₄ NO ₃	100	64085 a
		10	44600 abcdef
		50	40625 cdef
CO(NH ₂) ₂	100	59887 abc	
	10	51405 abcdef	
	50	53127 abcde	
8.7	None	0	32886 f
		10	51405 abcdef
		50	53127 abcde
	KNO ₃	100	50985 abcdef
		10	36720 ef
		50	59430 abc
	(NH ₄) ₂ SO ₄	100	57470 abcd
		10	38256 def
		50	50505 abcdef
	NH ₄ NO ₃	100	51438 abcdef
		10	52380 abcdef
		50	48436 abcdef
CO(NH ₂) ₂	100	56443 abcde	

^zWithin each column, same letter indicates no significant difference among treatments ($P < 0.05$).

뿐만 아니라 다양한 원소들의 이용성에 영향을 미치기 때문에 pH의 영향은 매우 광범위하다(Islam *et al.*, 1980; Marschner, 1995; Walter *et al.*, 2000). 일반적인 작물의 적정 토양 pH는 5.5 ~ 6.5 이며(Marschner, 1995) 높은 pH는 다양한 작물에서 생육 및 수량을 감소시키며(Islam *et al.*, 1980; Tang *et al.*, 1993) 이 실험결과도 같은 경향을 보였다.

비중에 따른 수량은 토양 pH 8.7일 경우 질산암모늄과 황산암모늄을 사용하였을 때 수량이 증가하였으나 토양 pH 6.8일 경우 비중보다는 관비 농도가 높을수록 수량이 증가하였다(Table 3). 일반적으로 관비재배 비중으로 많이 이용되는 질소질 비료로는 요소, 질산암모늄, 황산암모늄, 질산칼륨 등이 있으며 일반적으로 질산암모늄(Motis *et al.*, 1998)을 이용한다. 토마토 수경재배에서 100% 질소 원소 공급원으로 암모늄태 질소를 이용할 경우 뿌리 내 집적으로 인해

Table 4. Effect of soil pH and nitrogen fertilizers on fluorescence parameters of tomato leaves; the ratio of maximal variable fluorescence to maximal fluorescence (Fv/Fm)

Soil pH	Nitrogen fertilizer source	Nitrogen concentration (mg N/L)	Fv/Fm
6.8	None	0	0.77 abcd ^z
		10	0.77 abcd
		50	0.77 abcd
	KNO ₃	100	0.81 a
		10	0.76 abcd
		50	0.78 abcd
	(NH ₄) ₂ SO ₄	100	0.78 abcd
		10	0.78 abcd
		50	0.77 abcd
	NH ₄ NO ₃	100	0.77 abcd
		10	0.77 abcd
		50	0.76 abcd
CO(NH ₂) ₂	100	0.79 ab	
	10	0.78 abcd	
	50	0.76 abcd	
8.7	None	0	0.78 abcd
		10	0.76 abcd
		50	0.77 abcd
	KNO ₃	100	0.77 abcd
		10	0.72 d
		50	0.75 abcd
	(NH ₄) ₂ SO ₄	100	0.79 abc
		10	0.75 bcd
		50	0.79 ab
	NH ₄ NO ₃	100	0.79 abc
		10	0.77 abcd
		50	0.73 dc
CO(NH ₂) ₂	100	0.78 abcd	

^zWithin each column, same letter indicates no significant difference among treatments ($P < 0.05$).

생육을 심하게 저하시킬 수 있어(Papadopoulos, 1987) 수경재배의 경우 비중의 선택이 중요하나 질산화 미생물이 존재하는 토양 재배의 경우 암모늄태 질소를 가진 비중을 사용하더라도 토마토 생육을 감소시키지 않는 것으로 나타났다. 그러나 비중에 따른 수량 반응이 수경재배와 다르게 나타나는 것으로 보아 다른 영향을 가지는 것으로 추측되므로 작물의 스트레스 반응(Table 4)과 토양 화학성(Fig. 1-4)을 바탕으로 관비 비중이 미치는 영향에 대해 알아보하고자 한다.

일반적인 토마토의 질소관비 농도는 토양 내 질소 함량과 작물의 상태에 따라 다르지만 50 ~ 150 mg N/L 이다(Cushman and Snyder, 2002). 이 실험 결과 질산칼륨과 질산암모늄의 경우 50 mg N/L 과 100 mg N/L 처리에서 수량의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다(Table 3). 하지

만 황산암모늄과 요소는 농도수준에 따라 수량 증가 폭이 큰 것으로 나타났다. Watson(1987)은 요소가 질산태 질소 비중에 비하여 질소흡수율이 낮은 편이며 그 원인을 휘산 등에 의한 것이라고 보고하였다. 또한, 황이온의 경우 작물의 질소 흡수를 방해하므로(Clarkson *et al.*, 1989) 요소와 황산암모늄을 관비 비율로 이용 시 질산암모늄에 비하여 높은 농도를 요구하는 것으로 추측된다.

토양 pH와 질소비중에 따른 토마토 형광반응

Table 4는 엽록소 형광반응을 이용하여 토양 pH와 비중에 따른 토마토의 스트레스 반응을 측정된 것이다. 엽록소 형광반응을 이용한 Fv/Fm은 식물의 광화학적 효율을 가늠할 수 있는 지표로 식물이 스트레스를 받거나 부적합한 환경 하에 있게 되면 그 값이 낮아진다(Yang *et al.*, 2008). 전반적으로 pH가 높은 8.7 처리에서 Fv/Fm 값이 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 작물마다 적정 pH가 다르지만 높은 pH는 작물의 건물생산을 감소시키고 뿌리 발육과 물의 흡수를 억제시킨다(Walter *et al.*, 2000; Hajiboland *et al.*, 2003). 특히 기공전도도의 감소나 수분흡수가 원활하지 못하여 발생하는 스트레스는 작물의 생육을 억제시킬 수 있으며 엽면적을 감소시키거나 수량을 감소시킬 수 있다(Tang *et al.* 1993).

질소비료를 관비 농도가 높을수록 토양 pH에 의한 스트레스가 감소하여 Fv/Fm이 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 적정 질소 관비는 엽류스트레스를 경감시킬 수 있으며(Ben-Olie *et al.*, 2004), 칼륨 흡수를 돕는다(Motis *et al.*, 1998)는 연구결과들과 일치하는 것으로 사료된다. 특히, 토양 pH가 8.7일때 황산암모늄과 질산암모늄 처리구에서 스트레스 감소가 더 크게 나타났다. 이 두 비중은 용해시 pH가 낮고 시용 초기에 요소에 비하여 토양 pH를 변화시키지 않으므로(Mulvaney *et al.*, 1997) 토양 pH에 의한 스트레스 반응을 감소시키고 결과적으로는 수량을 증가시킨 것으로 판단된다(Table 4).

비중과 관비 농도에 따른 토양화학성 변화

토마토 재배 후 토양 pH는 질소관비 농도에 상관없이 pH 6.88에서 재배된 토마토의 토양의 경우 pH 7.0 이상으로 전반적으로 높아진 것을 볼 수 있다(Fig. 1a). pH는 작물과 토양의 서로의 상호작용을 바탕으로 변화될 수 있다(Marschner, 1995; Tagliavini *et al.*, 1995; Silber *et al.*, 1998). 토양 pH는 작물의 양이온과 음이온흡수에 의해 영향을 받으며 특히 많은 양이 흡수되는 질소의 경우 흡수되는 양분의 형태인 암모늄태 질소와 질산태 질소에 의해 토양의 pH에 영향을 미칠 수 있다(Gijsman, 1990). 토마토의 경우 주로 뿌리에서 수소이온과 함께 흡수되는 질산태 질소를 선호하기 때문에(Sandoval-Villa *et al.*, 2001) pH 6.8 토양의 경우 재배 이후 토양 pH가 증가하는 경향을 보인다. 재배전 토양의 pH가 8.77일 경우 물만 관수할 경우 pH가 8.2까지 감소하였으며 이것은 소식회를 이용하여 인위적으로 pH를 높였기 때문에 관수에 의해 pH가 감소한 것으로 추측된다(Fig. 1b).

토마토 재배후 질소 비중별 특성을 살펴보면 요소, 질산암모늄의 경우 물만 관수하였을 때 비해 토양 pH가 크게 변화하지 않았다. 그러나 시험 전 토양의 pH가 6.8일 때 질산칼륨을 관비하면 토양 pH 7.6까지 높아졌으며, 황산암모늄의 경우 pH 6.6까지 감소하였다(Fig. 1a). 재배전 토양의 pH가 8.7일 경우 비중에 따른 pH 변화는 크지 않았지만 요소와 황산암모늄에서 낮은 경향을 보였다(Fig. 1b). 요소와 질산암모늄, 황산암모늄의 경우 암모늄태 질소의 질산화 과정이 포함되기 때문에(Mulvaney *et al.*, 1997; Peryea and Burrows, 1999) 토양의 pH가 토마토 재배 이후에 크게 증가하지 않은 것으로 보인다. 질산칼륨의 경우 용해시 pH가 높고 토양 내에서 질산화 과정을 거치지 않고 작물에 직접적으로 흡수되기 때문에 토양 pH가 증가하는 것으로 추측된다. 황산암모늄을 이용하여 시비하였을 때 토양 내 pH를 낮추어 토양 내 인산, 미량원소의 흡수를 증가시켜 콩과 복숭아나무

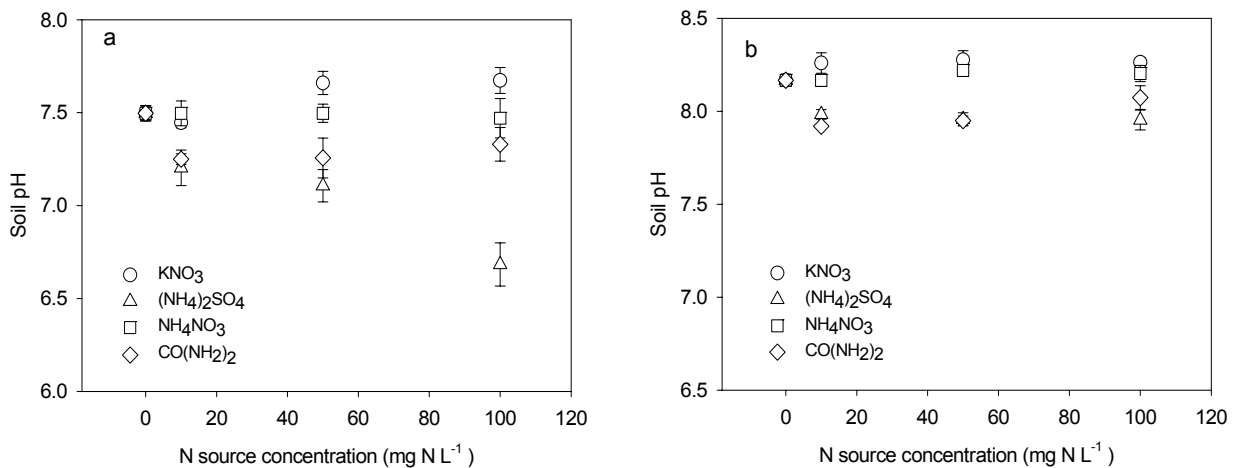


Fig. 1. Effect of the form of nitrogen fertilizers on soil pH in different soil pHs (a, pH 6.8;b, pH 8.7). The bars represent the standard errors.

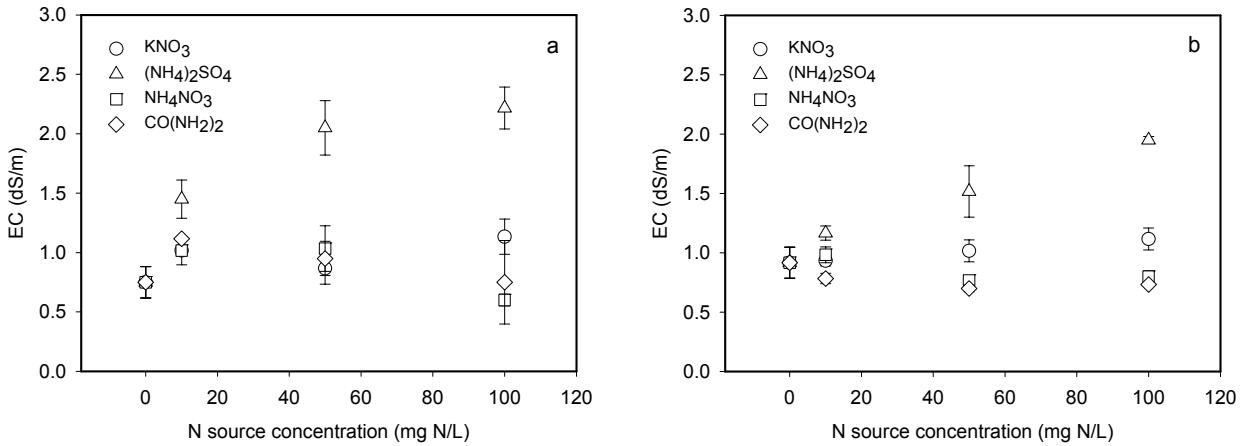


Fig. 2. Effect of the form of nitrogen fertilizers on soil EC in different soil pHs (a, pH 6.8;b, pH 8.7). The bars represent the standard errors.

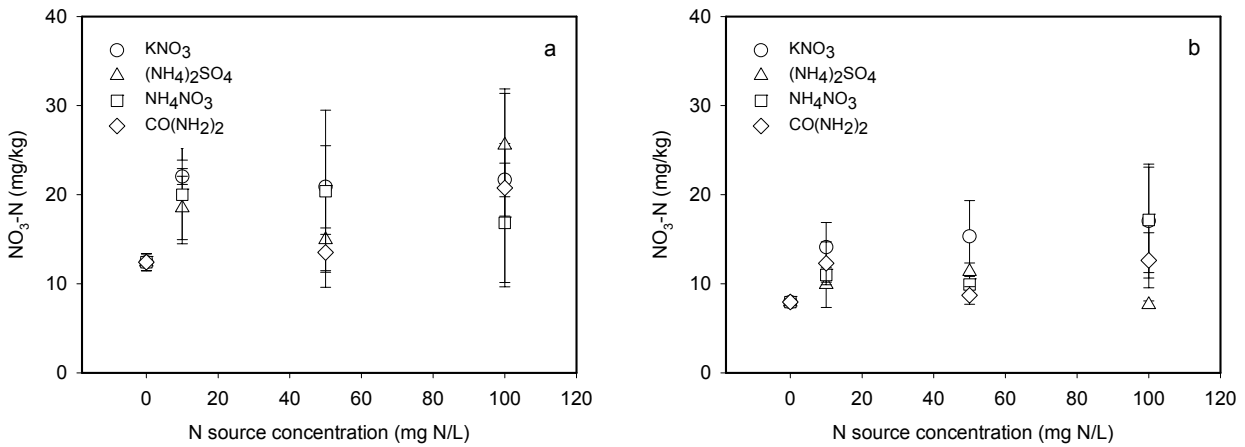


Fig. 3. Effect of the form of nitrogen fertilizers on soil NO₃-N in different soil pHs (a, pH 6.8;b, pH 8.7). The bars represent the standard errors.

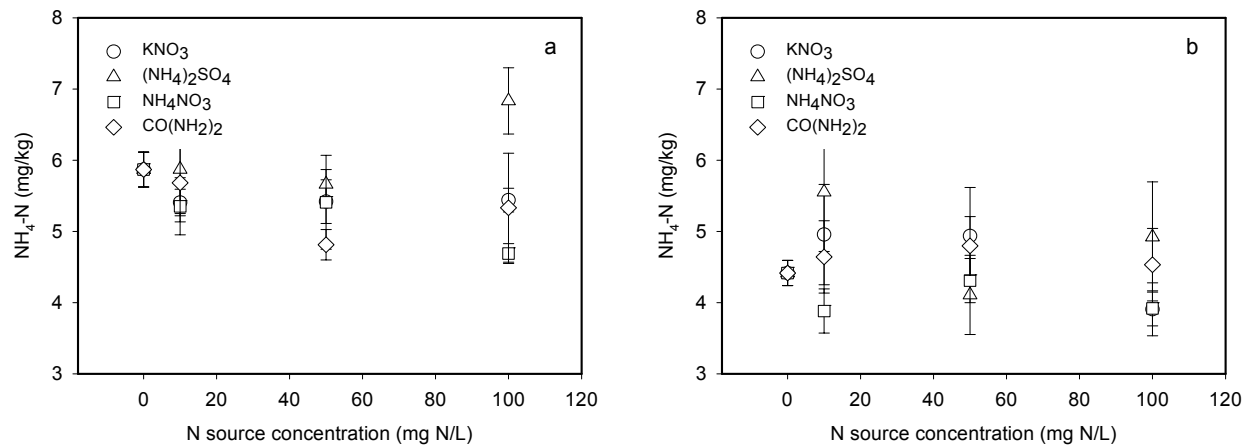


Fig. 4. Effect of the form of nitrogen fertilizers on soil NH₄-N in different soil pHs (a, pH 6.8;b, pH 8.7). The bars represent the standard errors.

의 수량을 증가시켰다고 연구결과를 고려한다면 pH 교정에 따른 긍정적인 효과를 기대할 수 있다(Thomson *et al.*,

1993; Tagliavini *et al.*, 1995).

토양 EC는 요소, 질산암모늄, 질산칼륨의 경우 재배 전에

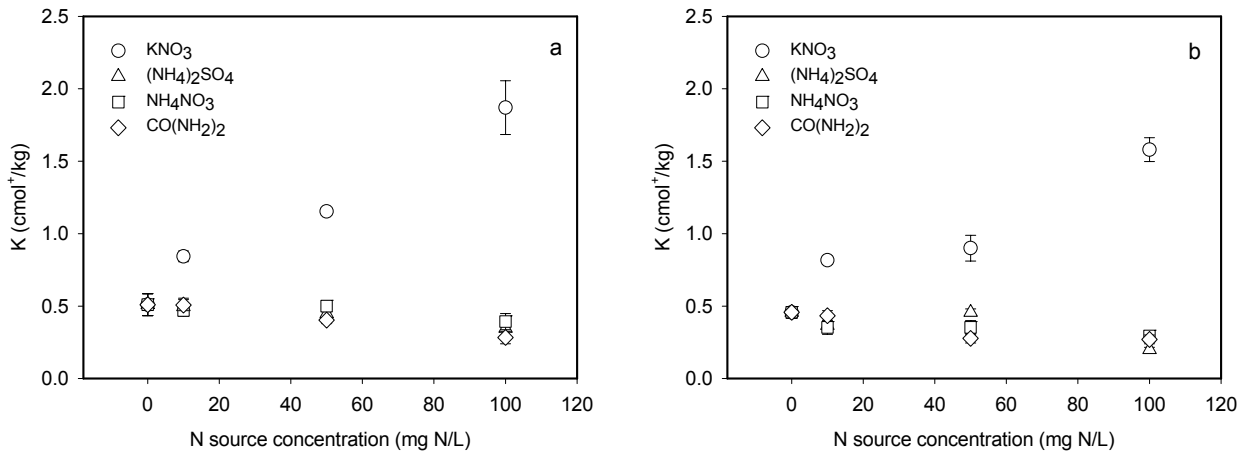


Fig. 5. Effect of the form of nitrogen fertilizers on soil K in different soil pHs (a, pH 6.8; b, pH 8.7). The bars represent the standard errors.

비하여 감소한 것으로 나타났다. 그러나 황산암모늄의 경우 10 mg N/L 을 관비하였을 경우에도 EC가 1.5배 정도 높을 것을 확인할 수 있다(Fig. 2). 황은 식물이 필요로 하는 다량원소이지만 농도가 높아지면 토양 내 삼투압을 높여 식물에게 스트레스로 작용할 수 있다(Syvertsen *et al.*, 1989). 시설재배의 경우 강우가 차단되고 적은 양을 물을 이용하여 재배하기 때문에 염류스트레스를 미연에 방지하는 것이 필요하므로 이 실험결과 황산암모늄이 앞선 결과에 따라 토양 pH를 낮추더라도 시설재배지 관비재배용 질소비중으로는 황산암모늄은 적합하지 않은 것으로 판단된다.

토양 내 질산태 질소와 암모늄태 질소 함량은 질소 비종과 관계없이 비슷한 경향을 보였다(Fig 3 and 4). 작물의 생육 초기에 암모늄태 질소를 시비하였을 경우 암모늄태 질소의 함량이 높지만 시간이 경과됨에 따라 질산태 질소를 시비하는 수준으로 암모늄태 함량이 감소한다(Thomson *et al.*, 1993)는 결과와 일치하는 경향을 보였다. 그러나 pH가 높은 토양에서 질산태 질소와 암모늄태 질소 함량이 pH 6.88 토양에 비하여 적은 편이었는데 높은 pH에 의해 암모니아취산에 의한 것으로 추측된다(Watson, 1987).

토양내 칼륨 농도는 질산칼륨을 이용하여 관비하였을 때 1.7 cmol⁺/kg으로 다른 비중에 비해 4배 정도 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 5). 토마토의 경우 칼륨의 요구량은 높지만 질소 요구량에 맞추어 시비할 경우 칼륨이 과다하게 토양에 집적되는 것을 볼 수 있었다. 하지만 질산암모늄, 요소, 황산암모늄을 이용하여 관비하였을 때 질소 농도가 높아짐에 따라 토양 내 칼륨 농도가 감소하는 것으로 나타났는데 이것은 질소질 비료를 관비할 경우 칼륨의 흡수를 돕는다는 보고와 일치하는 결과이다(Motis *et al.*, 1998).

토마토 생육에 영향을 미치지 않는 토양 pH 범위인 6.88에서는 질산암모늄과 요소 등에서 생육의 큰 차이가 없었다. 특히, 요소의 경우 여러 작물에서 작물에 영향을 미치지 않는 안정적인 관비재배용 질소 비중으로 연구되어 왔다(Haynes,

1985; Papadopoulos, 1987). 질산암모늄의 경우 높은 pH 토양에 직접적으로 사용할 경우 휘발되기 쉽지만(Watson, 1987) 이 실험 결과 관비재배의 경우 질소 부족으로 인한 수량 감소가 관찰되지 않았다. 그러므로 변화된 시설환경토양을 고려하고 토마토의 생리적 특성을 반영한다면 재배지의 토양의 pH가 높은 경우 요소와 질산암모늄을 이용하는 것이 앞으로 장기적인 재배에 있어서 토양재배 시 더욱 안정적인 토양화학성을 유지시킬 수 있을 것으로 예상된다.

요 약

이 실험은 관비재배시 토양 pH와 질소 비종이 토마토 생육과 토양화학성에 미치는 영향에 대해 조사하고자 수행하였다. 시험작물은 동양계 품종인 '슈퍼도태랑'을 이용하여 18 L 포트에서 3개월간 재배하였으며 토양 pH를 6.88과 8.77 두 수준으로 조절하였다. 주요 관비 비종인 요소, 질산암모늄, 황산암모늄, 질산칼륨을 이용하였으며 관비 농도는 0, 10, 50, 100 mg N/L로 조절하였다. 토양의 pH가 8.77일 때 pH 6.88에 비하여 수량과 엽록소 형광반응이 감소하였으나 질산암모늄과 황산암모늄을 이용하여 관비할 경우 토마토 수량이 증가하는 것으로 나타났다. pH 6.88일 경우 비중보다는 관비 농도가 증가할수록 수량이 증가하였다. 토마토 재배 후 비중에 따른 화학성 변화를 살펴보면 토양의 pH는 질산암모늄과 황산암모늄을 사용하였을 경우 감소하였으며 질산칼륨 사용 시 토양 pH와 칼륨함량이 높아졌다. 토양 내 EC는 황산암모늄 100 mg N/L 사용 시 다른 비중에 비하여 2배 이상 높아졌다. 질산태질소와 암모늄태 질소는 비중별로 크게 차이는 없었지만 pH가 높을 때 토양 내 함량이 적은 것으로 나타났다. 이 실험 결과 요소와 질산암모늄을 관비용 비중으로 이용하면 토마토 재배 전 후 토양화학성의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다.

참고문헌

- Ben-Olie, G., Kant, S., Naim, M., Rabinowitch, H. D., Takeoka, G. R., Buttery, R. G., Kafkafi, U., 2005. Effects of ammonium to nitrate ratio and salinity on yield and fruit quality of large and small tomato fruit hybrids, *J. Plant Nutr.* 27(10), 1795-1812.
- Clarkson, D. T., Saker, L. R., Purves, J. V., 1989. Depression of nitrate and ammonium transport in barley plants with diminished sulphate status. Evidence of co-regulation of nitrogen and sulphate intake, *J. Exp. Bot.* 40(9), 953.
- Cushman, K. E., Snyder, R. G., 2002. SWINE EFFLUENT COMPARED TO INORGANIC FERTILIZERS FROM TOMATO PRODUCTION, *J. Plant Nutr.* 25(4), 809-820.
- Gijssman, A., 1990. Rhizosphere pH along different root zones of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), as affected by source of nitrogen, *Plant and Soil* 124(2), 161-167.
- Hajiboland, R., Yang, X., Romheld, V., 2003. Effects of bicarbonate and high pH on growth of Zn-efficient and Zn-inefficient genotypes of rice, wheat and rye, *Plant and Soil* 250(2), 349-357.
- Hanson, B., Simunek, J., Hopmans, J., 2006. Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling, *Agric. Water Manage.* 86(1-2), 102-113.
- Haynes, R., 1985. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 6(3), 235-255.
- Islam, A., Edwards, D., Asher, C., 1980. pH optima for crop growth, *Plant and Soil* 54(3), 339-357.
- Lee, I. B., Lim J. H., Park J. M., 2007. Effect of Reduced Nitrogen Fertigation Rates on Growth and Yield of Tomato, *Kor. J. Environ. Agric.* 26(4) 306-312.
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants*, pp. 30-65, second ed. Academic Press, UK.
- Mohammad, M., 2004. Squash yield, nutrient content and soil fertility parameters in response to methods of fertilizer application and rates of nitrogen fertigation, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 68(2), 99-108.
- Motis, T., Kemble, J., Dangler, J., Brown, J., 1998. Tomato fruit yield response to nitrogen source and percentage of drip-or band-applied nitrogen associated with leaf potassium concentration, *J. Plant Nutr.* 21(6), 1103-1112.
- Mulvaney, R. L., Khan, S. A., Mulvaney, C. S., 1997. Nitrogen fertilizers promote denitrification, *Biol. Fertil. Soils* 24(2), 211-220.
- NIAST. 2000. *Method of soil and plant analysis*, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Korea.
- NIAST. 2001. *Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality*, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Korea.
- NIAST. 2007. *Water management in upper soil*, National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Korea.
- Papadopoulos, I., 1987. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown tomato, *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 18(8), 897-907.
- Peryea, F. J., Burrows, R. L., 1999. Soil acidification caused by four commercial nitrogen fertilizer solutions and subsequent soil pH rebound, *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 30(3), 525-533.
- Sandoval-Villa, M., Guertal, E. A., Wood, C. W., 2001. Greenhouse tomato response to low ammonium-nitrogen concentrations and duration of ammonium-nitrogen supply, *J. Plant Nutr.* 24(11), 1787-1798.
- Silber, A., Ganmore-Neumann, R., Ben-Jacov, J., 1998. Effects of nutrient addition on growth and rhizosphere pH of *Leucadendron* 'Safari Sunset', *Plant and Soil* 199(2), 205-211.
- Singandhupe, R. B., Rao, G., Patil, N. G., Brahmanand, P. S., 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.), *Europ. J. Agronomy* 19(2), 327-340.
- Syvertsen, J. P., Boman, B., Tucker, D. P. H., 1989. Salinity in Florida citrus production, *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 102, 61-64.
- Tagliavini, M., Masia, A., Quartieri, M., 1995. Bulk soil pH and rhizosphere pH of peach trees in calcareous and alkaline soils as affected by the form of nitrogen fertilizers, *Plant and Soil* 176(2), 263-271.
- Tang, C., Coble, B. T., Mokhtara, S., Wilson, C. E., Greenway, H., 1993. High pH in the nutrient solution impairs water uptake in *Lupinus angustifolius* L., *Plant and Soil* 155(1), 517-519.
- Thomson, C. J., Marschner, H., Romheld, V., 1993. Effect of nitrogen fertilizer form on pH of the bulk soil and rhizosphere, and on the growth, phosphorus, and micronutrient uptake of bean, *J. Plant Nutr.* 16(3), 493-506.
- Walter, A., Silk, W. K., Schurr, U., 2000. Effect of Soil pH on Growth and Cation Deposition in the Root Tip of *Zea mays* L., *J. PLANT GROWTH REGUL.* 19(1), 65-76.

Watson, C. J., 1987. The comparative effects of ammonium nitrate, urea or a combined ammonium nitrate/ urea granular fertilizer on the efficiency of nitrogen recovery by perennial ryegrass, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 11(1), 69-78.

Yang, E. Y., Park, K. S., Oh, J. S., Lee, H. j., Lee, Y. B., 2008. Effect of Mineral Nutrient Control on Nutrient uptake, Growth and Yield of Single-Node Cutting Rose Grown in a Closed Hydroponic System, *J. Bio-Environ. Cont.* 17(4), 252-260.
