

시설하우스 관비재배 토양과 지하수의 화학성

이영한* · 이성태 · 이상대 · 김영봉

경상남도농업기술원

(2005년 11월 4일 접수, 2005년 12월 26일 수리)

Chemical Characteristics of Soil and Groundwater in Plastic Film House Fields under Fertigation System

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

ABSTRACT: To enhance groundwater quality and soil nutrient management in fertigated plastic film house, groundwater samples from Jinju 52, Sacheon 3, Changnyeong 3, Sancheong 4 and Namhae 2 sites and soil samples from Jinju 23 sites were collected from September to November in 2004. The average concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in groundwater was $12.0 \text{ mg } \ell^{-1}$ and 20% of survey sites exceeded the limiting level ($20 \text{ mg } \ell^{-1}$) of agricultural groundwater quality. The amount of ions in groundwater was in the order of $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4\text{-N} > \text{K}^+$ in cations and $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ in anions. Electrical conductivity of groundwater was positively correlated with Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- and Na^+ concentrations. In addition, it had significantly positive correlation with sum cations and anions, respectively ($\sum \text{cations (me } \ell^{-1}) = \text{EC values (dS m}^{-1}) \times 4.65$, $\sum \text{anions (me } \ell^{-1}) = \text{EC values (dS m}^{-1}) \times 7.63$ and $\sum (\text{cations} + \text{anions, me } \ell^{-1}) = \text{EC values (dS m}^{-1}) \times 11.1$). The proportions of soil chemical properties over the critical levels for crop production in fertigated plastic film house were 56.5% in pH, 47.8% in OM, 95.7% in available P_2O_5 , 78.3% in exchangeable K, 87% in exchangeable Ca, 56.5% in exchangeable Mg and 43.5% in EC. Soil pH was positively correlated with pH ($r=0.540^{**}$) and HCO_3^- concentration ($r=0.523^{**}$) of groundwater.

Key Words: fertigation, groundwater, soil

서 론

농업용 플라스틱 필름과 자동화 시설이 보급되면서 전국 시설재배 면적은 1988년 29,144 ha에서 2003년 66,416 ha로 2.3배 증가하였고, 경남지역은 2003년 13,874 ha로 전국 재배면적의 21%를 차지하고 있다¹⁾. 관비재배는 분수호스나 점적호스로 물을 공급할 때 양분을 함께 주는 방법으로 양분의 이용 효율을 높일 수 있다²⁻⁴⁾. 관비재배가 발달한 이스라엘은 농업용수 절약 및 효율적 이용을 위하여, 일본은 소량의 물과 양분을 필요시 공급함으로써 양분 흡수능력 향상을 위하여, 유럽은 스페인을 중심으로 환경오염 경감을 위하여 관비재배를 행하고 있다⁵⁻¹⁰⁾. 관비재배를 한다는 것은 물과 양분을 동시에 공급하여 양·수분을 효율적으로 관리함으로써

작물의 안정적 재배와 시비량을 절감하는 친환경적 재배방식이다¹¹⁾. 우리나라 시설재배지 토양은 작물 생산성 증대를 위하여 화학비료 및 가축분 부산물비료 등의 과다사용으로 염류집적이 심한 상태이며 산성토양 개량제인 농용석회의 부분별한 사용으로 토양 pH가 높은 상태이다¹²⁻¹⁷⁾. 그럼에도 불구하고 '토경재배'라는 용어로 도입된 관비재배는 대부분 토양양분을 고려하지 않고 수질분석에 의한 양액재배 시비처방으로 다량 원소와 미량원소를 공급하고 있는 실정이다. 관비재배로 공급된 과잉의 양분은 지하로 용탈되어 지하수 오염을 가속화시키고 비점오염원의 잠재성을 지니게 된다¹⁸⁻²⁰⁾. 실제 농업용 지하수중 수질기준을 초과하는 성분은 주로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이다. 따라서 질산태 질소의 농도가 $50 \text{ mg } \ell^{-1}$ 인 관개수로 오이를 재배하였을 때 질소질 비료를 50% 감비하거나 전혀 주지 않았을 때가 비오염 관개수를 사용하고 질소질 비료를 0.24 Mg ha^{-1} 수준으로 주었을 때 보다 3~8% 증수되는 것으로 보고되었다²¹⁾. 따라서 질산태 질소의 농도가 높은 농업용수는 관비재배에서 비료농도를 조절해 주면 사용이 가능하다는 것

*연락처:

Tel: +82-55-771-6413 Fax: +82-55-771-6419

E-mail: lyh2011@hanmail.net

이다. 이러한 관점에서 본 연구는 시설하우스 중 관비재배된 토양의 양분함량과 지하수질의 조사를 통해 상관관계를 구명하여 농업환경 오염에 미치는 영향을 검토하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시설 관비재배용 지하수는 시설재배가 집약적으로 이루어지고 있는 지역을 중심으로 진주 52, 사천 3, 창녕 3, 산청 4 및 남해 2개소 등 경남지역 64개소를 선정하여 2004년 9월에서 11월 사이에 채취하였고 농가의 기본적인 현황은 설문 조사를 통하여 지하수 깊이는 43개소, 관비재배 년수는 41개소를 조사하였다. 채취된 지하수의 pH와 EC는 전극법, 양이온은 Atomic absorption spectrophotometer(Analyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)를 사용하였고 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Kjeldahl 중류법, Cl⁻는 질산은 적정법, SO_4^{2-} 는 비탁법, HCO_3^- 는 적정법으로 분석하였다^{22,23}). 시설 관비재배 농가의 토양은 지하수 조사지점 64개소 중에서 작물재배 면적을 고려하여 진주지역 23개소를 선정하였다. 채취된 토양 분석은 pH 및 EC는 초차전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계(Genesis, Spectronic Ins., Rochester, USA)를 이용하여 비색 정량하였다. 치환성 양이온은 1N- NH_4OAc 용액으로 침출한 후 Atomic absorption spectrophotometer(Analyst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)를 사용하여 분석하였다²⁴).

결과 및 고찰

지하수 깊이 및 관비 재배년수

조사지역의 지하수 깊이와 관비재배 년수는 Figure 1과 같다. 조사지역중 1~10 m 깊이의 얇은 대수층에 존재하는 지하수는 23.3% 이었으며 불투수층을 통과하고 30 m 이상 내려간 암반지하수는 53.5%로 가장 많았고 최대 150 m 까지 내려간 지하수도 조사되었다. 이러한 결과는 Ko 등²⁵이 보고한 일반 시설재배지 지하수 깊이보다 깊은 것으로 나타

났다. 관비재배를 도입한 년수는 최대 8년이었으나 2년차가 53.7%, 1년차가 17.1%로 관비재배 경력이 2년 이하인 농가는 70.8%로 나타났다. 작물별 관비재배 평균 년수는 Table 1과 같이 토마토가 6년으로 가장 긴 반면 딸기는 2년으로 가장 짧았다. 이러한 경향은 토마토에 대한 관비재배 기술개발과 도입이 다른 작물에 비해 빨리 이루어졌고^{26,27} 뒤이어 파프리카, 호박, 고추, 딸기로 확대된 것으로 판단되었다.

지하수 무기성분 분포

시설 관비재배지 지하수의 무기성분 정규분포는 Figure 2와 같다. 지하수 pH는 5.5~7.7 범위였으며 평균 6.6 이었다. 전반적으로 농업용수 기준²⁸인 pH 6.0~8.5 범위였으나 7.7%의 지하수는 pH 6.0 이하였다. 물의 전해질 농도를 추정하는데 이용되는 EC 농도의 정규분포 곡선은 0.17~1.02 dS m^{-1} 의 범위를 나타냈다. 우리나라 농업용수 수질기준에서 EC에 대한 규정이 없으나 FAO²⁹에 의하면 EC가 0.7 dS m^{-1} 이하인 경우 작물에 피해가 없으며 0.7~3.0 dS m^{-1} 인 경우 피해가 조금 나타나며 그 이상인 경우는 피해가 심하게 나타나는 것으로 보고되었는데 시설 관비재배지 지하수의 지하수 EC 농도가 0.7 dS m^{-1} 이상인 경우는 13.8%로 나타났다. 특히 Table 1과 같이 호박을 재배하는 농가의 지하수 EC 평균농도가 0.65 dS m^{-1} 로 가장 높게 나타났으며 딸기 재배농가의 지하수 EC 평균농도는 0.31 dS m^{-1} 로 가장 낮았다. 시설 관비재배지 지하수의 중탄산 함량 분포는 Figure 2와 같이 18~605 mg l^{-1} 범위였으며 평균 120 mg l^{-1} 로 높게 나타났다. 대개 양액재배에서는 중탄산 이온농도가 높으면 양이온 양분과 결합하여 침전하므로 적정 양분관리가 어려워 원수의 중탄산 이온함량을 100 mg l^{-1} 이하로 질산이나 인산을 이용하여 관리하고 있다³⁰. 시설 관비재배지 지하수의 중탄산 이온함량이 100 mg l^{-1} 이상되는 곳은 43.1%로 대체적으로 높았으며 고추재배지 관비재배 농가의 평균 중탄산 이온함량은 148 mg l^{-1} 로 가장 높았다(Table 1). 지하수 Ca^{2+} 함량은 Figure 2와 같이 0.3~101 mg l^{-1} 범위였고 평균 36.8 mg l^{-1} 였으며 Shin 등³¹이 보고한 경남지

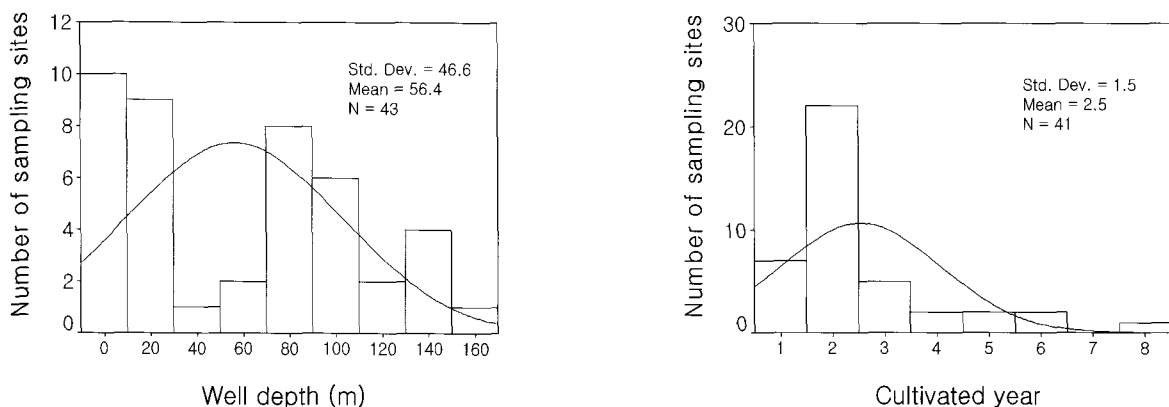


Fig. 1. Distribution of well depth and cultivated year under fertigation system.

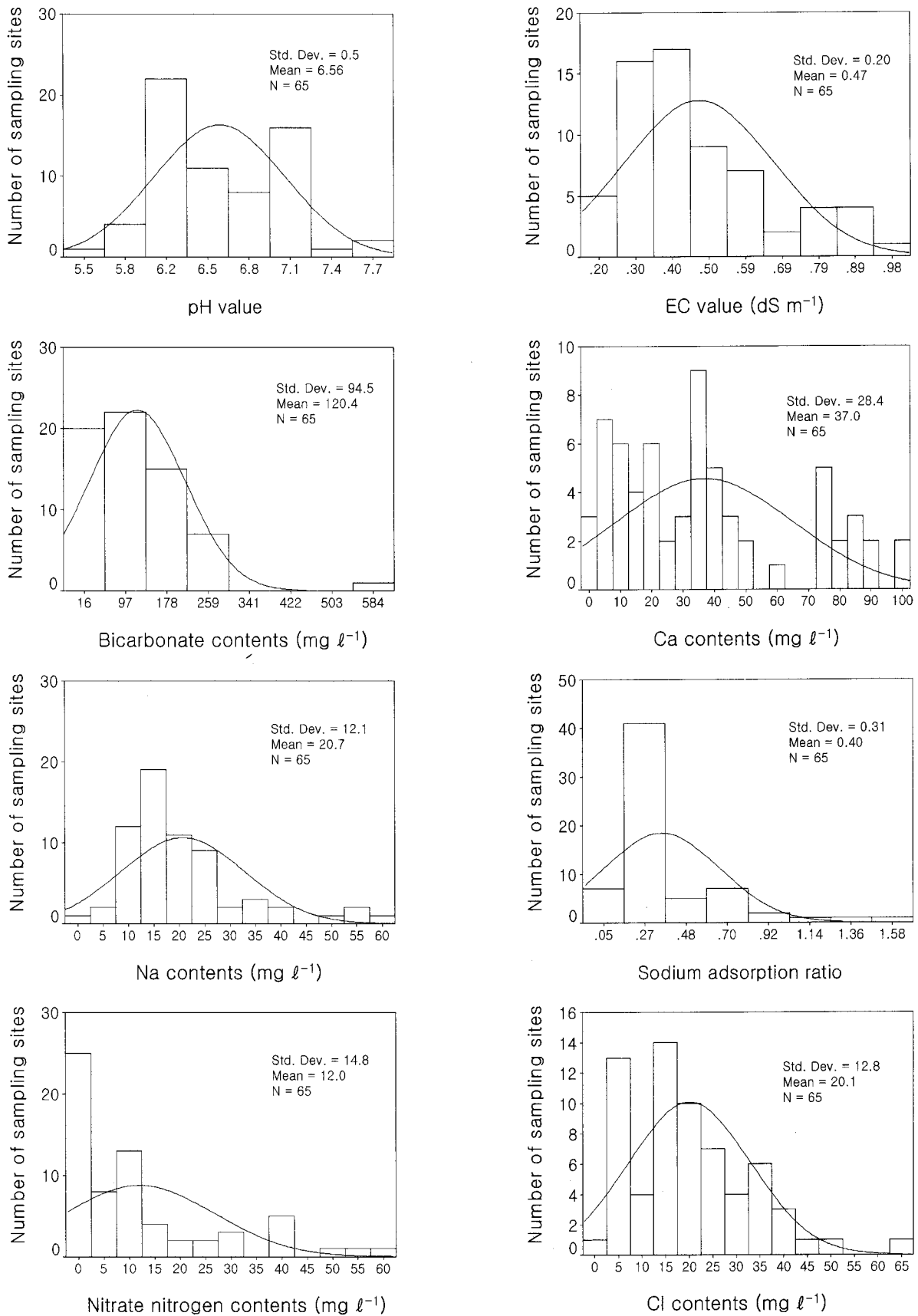


Fig. 2. Distribution of chemical contents in groundwater under fertilization system.

역 양액재배용 지하수의 평균 Ca^{2+} 함량인 $25.4 \text{ mg } \ell^{-1}$ 보다 높은 경향이였다. 양액재배에서 허용³⁰⁾하는 $40 \text{ mg } \ell^{-1}$ 이상의 Ca^{2+} 함량 분포비율은 30.8%로 높게 나타났으며 작물별 시설 관비재배지 지하수의 평균 Ca^{2+} 함량은 호박 재배지에서 $67.8 \text{ mg } \ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 시설 관비재배용 지하수의 Na^+ 함량은 $0.7 \sim 60 \text{ mg } \ell^{-1}$ 범위였으며 평균 $20.7 \text{ mg } \ell^{-1}$ 로 경남지역 양액재배 지하수 평균함량³¹⁾인 $21.7 \text{ mg } \ell^{-1}$ 와 유사하였고 양액재배용 지하수 허용기준³⁰⁾인 $15 \text{ mg } \ell^{-1}$ 를 초과하는 분포비율은 58.5%로 높게 나타났다. 작물별 관비재배지 지하수의 Na^+ 평균 함량은 호박 재배지역에서 $24.1 \text{ mg } \ell^{-1}$ 로 가장 높은 반면 딸기 재배지역에서 $12.5 \text{ mg } \ell^{-1}$ 로 낮게 나타났다. 지하수의 Na^+ 량은 Ca^{2+} 량 및 Mg^{2+} 량과 비교하여 과다한 경우 Na^+ 이온이 토양 입자를 분산시켜 배수가 불량한 토양을 형성하게 된다.

관수 중 Na^+ 에 의한 영향은 SAR지수로 표시하며³²⁾ 일반적으로 0~10에서는 작물과 토양에 영향이 없는 것으로 판단하고 있는데 시설 관비재배지 지하수의 SAR은 Figure 2와 같이 0.01~3.50의 범위로 토양과 작물에 영향이 없는 것으로 나타났다. 시설 관비재배지 지하수의 Cl^- 함량은 $1 \sim 67 \text{ mg } \ell^{-1}$ 범위로 평균 $20 \text{ mg } \ell^{-1}$ 를 나타냈으며 농업용수 수질기준²⁸⁾인 $250 \text{ mg } \ell^{-1}$ 보다는 매우 낮은 수치를 나타냈다. 시설 관비재배지 지하수의 SO_4^{2-} 함량은 $1 \sim 299 \text{ mg } \ell^{-1}$ 의 범위였고 평균 $50 \text{ mg } \ell^{-1}$ 를 나타냈으며 양액재배 허용기준³⁰⁾

인 $40 \text{ mg } \ell^{-1}$ 를 초과하는 분포비율은 38.5%로 높게 나타났다. 관비재배용 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 Figure 2와 같이 $0.1 \sim 57.6 \text{ mg } \ell^{-1}$ 범위를 나타냈으며 평균 함량은 $12.0 \text{ mg } \ell^{-1}$ 였고 농업용수 수질기준²⁸⁾인 $20 \text{ mg } \ell^{-1}$ 를 초과하는 지점은 20%로 나타났다. 이러한 결과는 Shin 등³¹⁾이 보고한 양액재배용 지하수의 평균인 $3.1 \text{ mg } \ell^{-1}$ 보다 높았으나 Kim 등³³⁾이 보고한 중부지방 시설재배지 지하수의 평균인 $17.5 \sim 20.7 \text{ mg } \ell^{-1}$ 보다 낮은 수치였다. 실제 시설재배지 지하수중 농업용수 수질기준을 초과하는 성분은 주로 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량이다. 그러나 Lee 등²¹⁾에 의하면 질산태 질소의 농도가 $50 \text{ mg } \ell^{-1}$ 인 관개수로 오이를 재배하였을 때 질소질 비료를 50% 감비하거나 전혀 주지 않았을 때가 비오염 관개수를 사용하고 질소질 비료를 0.24 Mg ha^{-1} 수준으로 주었을 때 보다 3~8% 증수되는 것으로 나타났다. 따라서 질산태 질소의 농도가 높은 경우에도 관비재배에서 물관리와 비료 관리를 조절해 주면 농업용수로 사용이 가능한 것으로 판단된다. 또한, 작물별 관비 재배지의 수질 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 호박 재배지역이 $30.6 \text{ mg } \ell^{-1}$ 로 가장 높았으며 Ko 등²⁵⁾이 보고한 결과와 일치하였다.

지하수 무기성분 상관관계

시설 관비재배용 지하수의 깊이와 무기성분간의 상관관계는 Table 2와 같다. 지하수 깊이가 깊을수록 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 낮아진 반면 중탄산 함량은 높아졌고 지하수의 pH는

Table 1. Chemical contents of groundwater used for each crop under fertigation system

Crop	Sampling site No.	Cropping year	pH	EC	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	mg ℓ ⁻¹					
									NH ₄ -N	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SAR
Red pepper	37	2.2	6.7	0.45	1.5	31.0	8.8	21.6	2.34	7.1	16	48	148	0.47
Strawberry	6	2.0	6.5	0.31	2.3	17.5	6.6	12.5	1.57	9.6	14	28	81	0.27
Tomato	3	6.0	6.3	0.47	1.7	34.9	12.3	17.2	1.13	17.0	26	38	84	0.24
Paprika	7	4.5	6.5	0.49	1.9	42.1	9.6	20.0	0.62	13.0	31	45	106	0.28
Pumpkin	10	2.4	6.2	0.65	1.9	67.8	12.6	24.1	1.82	30.6	31	79	58	0.28

Table 2. Correlation coefficients between the measured properties of groundwater under fertigation system

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Depth of wells	-0.098	-0.027	0.167	-0.183	-0.462**	-0.293	0.026	0.503**
pH	-0.224	-0.045	0.169	-0.033	-0.465**	-0.422**	-0.112	0.602**
EC	0.798**	0.671**	0.428**	-0.093	0.595**	0.707**	0.596**	0.158
Ca ²⁺	-	0.713**	0.089	-0.370**	0.628**	0.599**	0.630**	-0.150
Mg ²⁺		-	0.053	-0.521**	0.403**	0.548**	0.344**	0.153
Na ⁺			-	0.415**	0.126	0.280*	0.178	0.236
NH ₄ -N				-	0.088	-0.096	-0.068	-0.119
NO ₃ -N					-	0.651**	0.302*	-0.499**
Cl ⁻						-	0.267*	-0.181
SO ₄ ²⁻							-	-0.248*

NO₃-N 및 Cl⁻ 함량과 고도의 부의상관을 나타낸 반면 중탄산 함량과는 고도의 정의상관을 나타냈다. 이러한 관점에서 NO₃-N 함량이 높아지면 관비재배에서 질소질 비료를 감비해서 양분을 공급할 수 있지만 중탄산 함량이 높아질 경우 화학반응에 의한 양이온의 감소로 양분공급에 어려움이 따르므로 지하수 공급량만 확보된다면 Figure 2와 Table 2의 상관식을 이용한 결과($Y = -0.15X + 20.71$, $r = -0.462^{**}$) 지하수 깊이는 30 m 이내가 좋을 것으로 판단된다. 시설 관비재배용 지하수의 이온 총량을 간접적으로 나타내는 EC 농도는 Ca²⁺, Cl⁻, Mg, SO₄²⁻, NO₃-N, Na⁺ 순으로 고도의 정의상관이 있었다. 특히 Figure 3과 같이 EC 농도는 양이온의 당량합 ($Y = 0.095X + 0.12$, $r = 0.894^{***}$)과 음이온의 당량합 ($Y = 0.098X + 0.033$, $r = 0.943^{***}$)의 영향을 크게 받는 것으로 나타나 양이온과 음이온의 당량합 ($Y = 0.053X + 0.037$, $r = 0.965^{***}$)과 고도의 정의상관을 나타냈다. 이러한 결과 관비재배용 지하수의 양이온 당량합은 EC 농도($dS m^{-1}$) × 4.65, 음이온 당량합은 지하수 EC 농도($dS m^{-1}$) × 7.63, 그리고 양이온 및 음이온의 당량합은 지하수 EC 농도($dS m^{-1}$) × 11.1의 관계가 성립되었다. 시설 관비재배용 지하수의 NO₃-N 함량은 Ca²⁺, EC 및 Mg²⁺ 함량과는 정의상관을 나타냈다.

작물별 관비재배지 토양 화학성분

작물별 관비재배지의 토양 화학성분 평균치는 Table 3과 같이 토양 pH, P₂O₅, K, Ca, Mg 함량 및 EC 농도가 적정 함량³⁴⁾ 보다 높았으며 특히 P₂O₅ 및 Ca 함량은 적정치인 500 mg kg⁻¹ 및 6.0 cmol⁺ kg⁻¹에 비해 2배 가량 높았다. 농업과학기술원에서 2004년에 보고한 전국 시설재배지 1,274 지점³⁴⁾의 평균치에 비해 pH는 0.5, P₂O₅ 함량은 192 mg kg⁻¹, Ca 함량은 0.99 cmol⁺ kg⁻¹, EC 농도는 0.84 dS m⁻¹가 높아 시설하우스 관비재배지 토양의 양분은 과잉된 상태였다. 관비재배지 토양의 양분상태는 Figure 4와 같이 토양 양분의 적정상태를 유지하는 비율은 pH 30.4%, OM 17.4%, P₂O₅ 4.3%, K 4.3%, Ca 4.3%, Mg 17.4% 및 EC 26.1%에 불과하였고 과다비율은 pH 56.5%, OM 47.8%, P₂O₅ 95.7%, K 78.3%, Ca 87%, Mg 56.5% 및 EC 43.5%로 대부분 심각한 과잉상태를 나타냈다. 이와 같이 토양의 양분상태가 과잉된 상태에서는 기존의 양액시비처방으로 다량 및 미량원소를 공급할 경우 토양의 양분집적 뿐만 아니라 작물생육에도 심각한 상태를 초래할 것으로 추측된다. 따라서 토양에 과다 집적되고 작물이용도가 낮은 P₂O₅, Ca 및 Mg와 기존 토양과 부산물비료를 통해 공급된 미량 원소 등은 관비로서 공급하지 않아도 될 것으로 판단된다. 실제 Kim 등³⁵⁾이 보고한 결과에

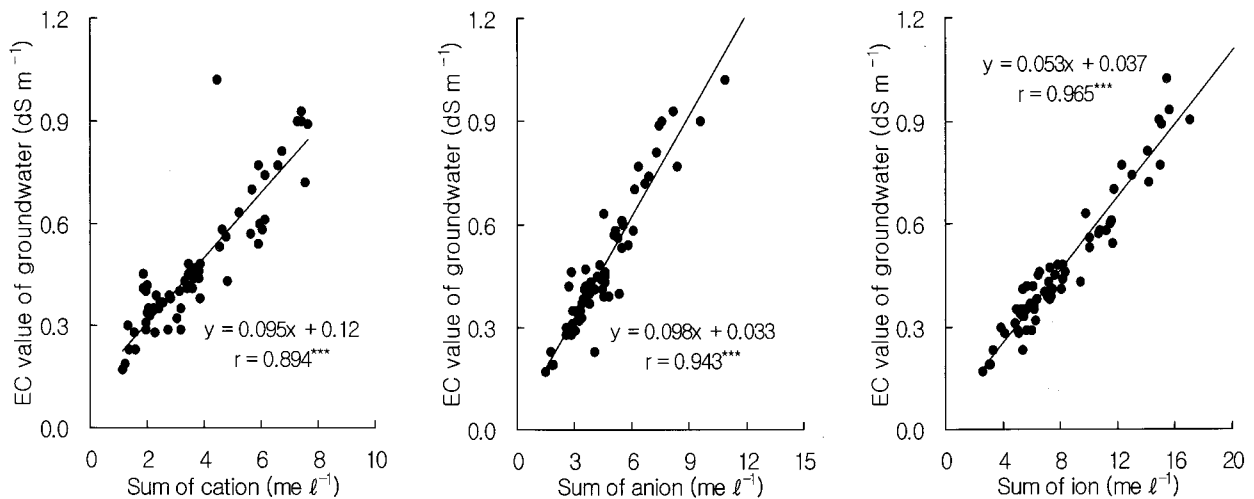


Fig. 3. Correlation coefficients between EC values and ion contents of groundwater under fertigation system.

Table 3. Chemical properties of soils managed with fertigation system

Crop	Sampling No.	pH	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. Cations			EC
					K	Ca	Mg	
		H ₂ O, 1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol ⁺ kg ⁻¹	-----	dS m ⁻¹
Red pepper	16	7.0	30	1091	1.30	9.15	2.31	3.35
Tomato	2	6.9	21	748	0.78	9.12	1.88	2.66
Pumpkin	5	6.7	27	1198	1.54	10.25	1.63	2.19
Average	23	6.9	29	1084	1.31	9.39	2.12	3.04
Korea Ave. ³⁴⁾	1,274	6.4	30	892	1.50	8.40	3.30	2.20

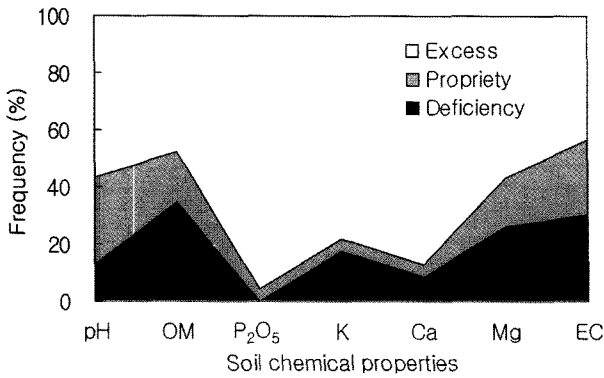


Fig. 4. Distribution ratio of soil chemical properties under fertigation system.

의하면 토마토 관비재배시 토양 EC 농도가 0.60 dS m^{-1} 인 토양에서도 NK비료만 공급한 처리구 수량이 1.128 Mg ha^{-1} 로 원시표준액 처리구의 수량인 1.130 Mg ha^{-1} 와 비슷하였고 NPK 처리구 수량은 1.11 Mg ha^{-1} 로 낮았다. 또한 고추 관비재배시 토양 EC 농도가 2.80 dS m^{-1} 에서 NK처리구의 수량은 0.732 Mg ha^{-1} 로서 원시표준액 처리구의 수량인 0.729 Mg ha^{-1} 와 비슷한 수확량을 나타냈다. 또한 Lee 등³⁶⁾

은 염류집적 시설토양에서 적정시비에 의한 시설재배지 표층 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 사양토에서 7.2%, 미사질양토에서 37.9% 경감된다고 하였다. 이러한 결과로 볼 때 관비재배에서는 1차적으로 토양분석을 통한 시비처방이 중요하며 2차적으로 관비재배용 지하수의 성분에 따라 NK 비료를 중심으로 양분관리를 하는 것이 좋은 것으로 판단된다.

시설 관비재배지의 지하수와 토양 화학성분 상관관계

시설 관비재배지 지하수와 토양의 pH 및 유기물 함량과의 상관관계는 Figure 5와 같다. 지하수의 pH와 중탄산 함량은 토양 pH와 고도의 정의상관을 나타냈으며, 토양의 유기물 함량이 높을수록 관비재배용 지하수의 EC 농도와 SO_4^{2-} 함량과는 고도의 정의상관을 나타내어 부산물비료의 과다사용 및 무분별한 시용에 기인된 것으로 판단되었다.

요 약

관비재배 농가의 농업환경 오염을 최소화하고 작물 안전 생산을 위한 기초자료를 제공하고자 토양 양분과 지하수질 조사를 수행하였다. 관비재배지의 지하수는 시설재배가 집약적으로 이루어지고 있는 지역을 중심으로 진주 52, 사천 3,

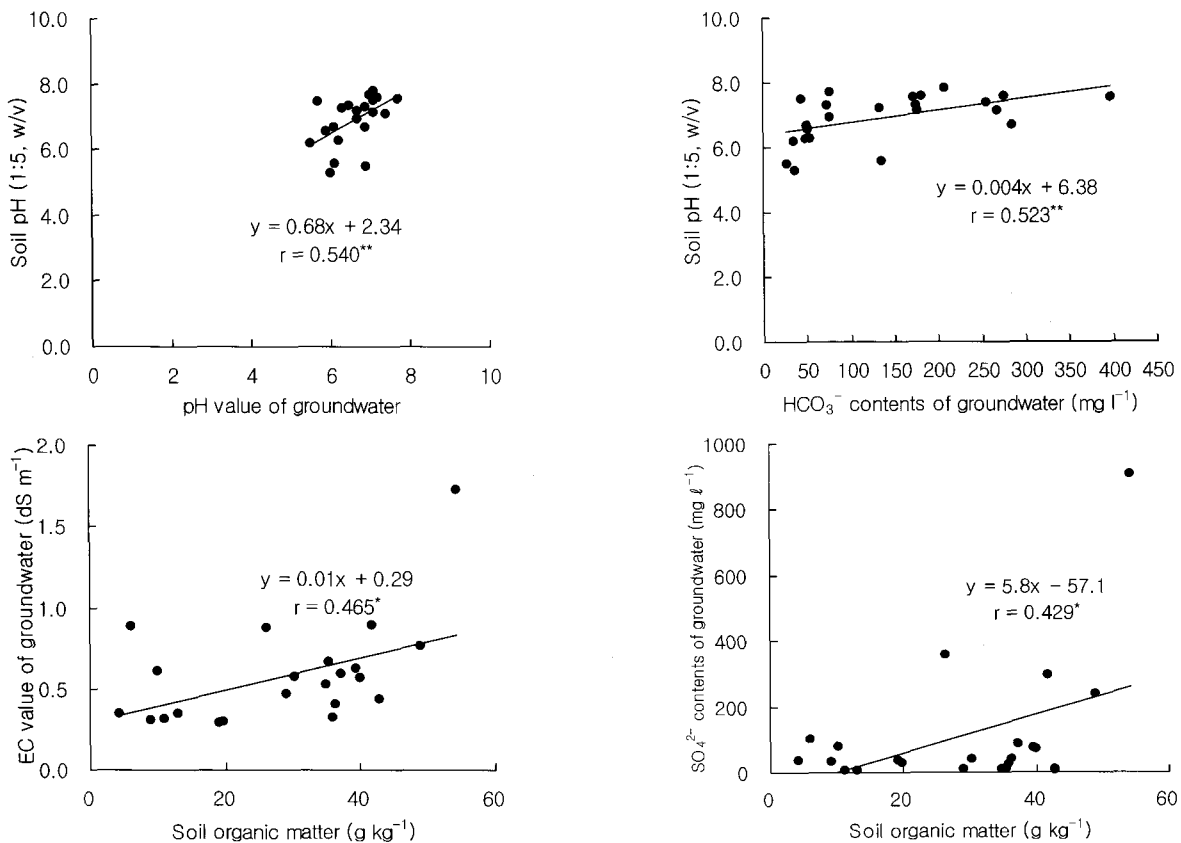


Fig. 5. Correlation coefficients between chemical properties of groundwater and soil pH, organic matter under fertigation system.

창녕 3, 산청 4 및 남해 2개소 등 경남지역 64개소를 선정하여 2004년 9월에서 11월 사이에 채취하였고 농가의 기본적인 현황은 설문조사를 통하여 지하수 깊이는 43개소, 관비재배 년수는 41개소를 조사하였다. 시설 관비재배지의 토양은 지하수 조사지점 65개소 중에서 작물재배 면적을 고려하여 23개소를 선정하였다. 시설 관비재배지 지하수의 NO₃-N 함량 평균은 12.0 mg l⁻¹였으며 20% 정도가 농업용수 수질기준을 초과하였다. 지하수중 양이온량은 Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, NH₄-N 및 K⁺ 순이었으며 음이온량은 HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃-N 및 Cl⁻ 순으로 많았다. 시설 관비재배지 지하수의 EC 농도는 Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, SO₄²⁻, NO₃-N 및 Na⁺ 함량과 고도의 유의성 있는 정의상관을 나타냈으며 양이온 당량합(Y=0.095X+0.12, r=0.894***)과 음이온의 당량합(Y=0.098X+0.033, r=0.943***) 및 양이온과 음이온의 당량합(Y=0.053X+0.037, r=0.965***)과 고도의 정의상관을 나타냈다. 지하수의 양이온 당량합은 EC 농도(dS m⁻¹) × 4.65, 음이온 당량합은 지하수 EC 농도(dS m⁻¹) × 7.63, 양이온 및 음이온의 당량합은 지하수 EC 농도(dS m⁻¹) × 11.1의 관계가 있었다. 관비재배지 토양 양분의 과다비율은 pH 56.5%, OM 47.8%, P₂O₅ 95.7%, K 78.3%, Ca 87%, Mg 56.5% 및 EC 43.5%로 대부분 심각한 과잉상태를 나타냈으며, 지하수의 pH(r=0.540**)와 중탄산함량(r=0.523**)은 토양 pH와 고도의 정의상관을 나타냈으며 토양의 유기물 함량이 높을수록 관비재배용 지하수의 EC 농도와 SO₄²⁻ 함량과는 고도의 정의상관을 나타냈다.

참고문헌

1. Ministry of Agriculture and Forestry (2004) Statistics of Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Goachon, Korea.
2. 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.
3. 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, 93-105.
4. 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.
5. 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.
6. Haifa Chemicals Ltd. (2003) Fertigation techniques information manual. Haifa, Israel.
7. Hanson, B. R., May, D. M., and Schwankl, L. J. (2003) Effect of irrigation frequency on subsurface drip irrigated vegetables. *HortTechnology* 13, 115-120.
8. Hartz, T. K. and Hochmuth, G. J. (1996) Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology* 6(3), 168-172.
9. 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.
10. 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.
11. 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. Kor. Soil Sci. Fert.* 34(5), 316-325.
12. Ha, H. S., Yang, M. S., Lee, H., Lee, Y. B., Shon, B. K., and Kang, U. G. (1997) Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 30(3), 272-279.
13. Jung, B. G., Choi, J. W., Yun, E. S., Yoon, J. H., Kim, Y. H., and Jung, G. B. (1998) Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 31(1), 9-15.
14. Jung, G. B., Jung, K. Y., Cho, G. H., Jung, B. G., and Kim, K. S. (1997) Heavy metal contents in soils and vegetables in the plastic film house. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 30(2), 152-160.
15. Kang, S. S. and Hong, S. D. (2004) Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate concentration for tomato cultivation in plastic film house. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 37(2), 74-82.
16. Kim, P. J., Lee, D. K., and Chung, D. Y. (1997) Vertical distribution of bulk density and salts in a plastic film house soil. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 30(3), 226-233.
17. Lee, Y. H., Yang, M. S., and Yun, H. D. (1996)

- Effect of plant-growth-promoting-bacteria inoculation on the growth and yield of red pepper (*Capsicum annuum* L.) with different soil electrical conductivity level. *J. Kor. Soil Sci. Fert.* 29(4), 396-402.
18. 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. Kor. Soil Sci. Fert.* 29(4), 389-395.
 19. Bergstrom, L. (1987) Nitrite leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *J. Environ. Qual.* 16, 11-18.
 20. 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.
 21. Lee, Y. H. (1996) Rep. of guidance for agricultural extension, Rural Development Administration, Suwon, Korea, p. 287.
 22. Ministry of Environment (2004) Korea standard methods for water quality, Ministry of Environment, Goachon, Korea.
 23. APHA-AWWA-WPCF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., Washington D. C.
 24. NIAST (2000) Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 25. Ko, J. Y., Lee, J. S., Kim, M. T., Kim, C. S., Kang, U. G., and Kang, H. W. (2005) Effects of farming practice and NO₃-N contents of groundwater with different locations under intensive greenhouse area. *Kor. J. of Environ. Agric.* 24(3), 261-269.
 26. Jo, S. J., Jang, H. I., Kwon, Y. S., Kim, I. S., and Won, S. M. (1999) Effects of fertigation and improvement of soil management methods on the growth and qualities of tomato in greenhouse. *Kor. J. Hort. Sci. & Technol.* 17(5), 611.
 27. Yang, W. M., Chung, S. J., and Yang, S. Y. (1990) Comparative studies on the physio-ecological and morphological adaptations of greenhouse tomato grown in aeroponics and nutrient film technique (1) Changes of root zone environment and growth response as affected by solution temperature. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 31(1), 22-36.
 28. Ministry of Environment (2003) Standard of water for agriculture, Ministry of Environment, Goachon, Korea.
 29. Ayers, R. S. and Wescot, D. W. (1985) Water quality for agriculture, FAO, Irrigation and drainage, p. 29.
 30. Park, K. W. and Kim, Y. S. (1998) Hydroponics in horticulture, Academy, Seoul, Korea, p. 62-64.
 31. Shin, W. K., Lee, Y. H., Cheon, S. G., Hwang, Y. H., and Cho, K. H. (1998) Ionic characteristics of the groundwater for hydroponics in Kyeongnam area. *J. Bio. Fac. Env.* 7(3), 246-252.
 32. Kim, B. Y. (1988) Water pollution and agriculture. *Kor. J. of Environ. Agric.* 7(2), 152-169.
 33. Kim, J. H., Lee, J. S., Kim, W. I., Jung, G. B., Yun, S. G., Jung, Y. T., and Kwun, S. K. (2002) Groundwater and soil environment of plastic film house fields around central part of Korea. *Kor. J. of Environ. Agric.* 21(2), 109-101.
 34. RDA (2004) Report of survey for environmental agriculture, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
 35. Kim, Y. B., Shin, J. H., Kim, S. K., Oh, J. Y., Rho, C. W., Lee, S. T., and Cho, J. L. (2004) Selection of fertilizers for fertigation culture in tomatoes and hot peppers, Rep. of Gyeongsangnam-do Agricultural Research & Extension Services, p. 285-290.
 36. Lee, Y. H. (1998) Rep. of guidance for agricultural extension, Rural Development Administration, Suwon, Korea, p. 163.