

충북지역 시설재배지 토성별 토양화학성의 상호관계

김재정 · 강성수 · 김기인 · 홍순달*

충북대학교 농화학과

Relationship among Chemical Properties of Soils with Different Texture Taken from Plastic Film House of Chungbuk Area

Jai-Joung Kim, Seong-Soo Kang, Ki-In Kim and Soon-Dal Hong*

Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Chemical characteristics and their interrelationships of 156 soils included by 74 sandy loam and 82 loam soils collected from plastic film house in Chungbuk area were investigated from 1998 to 2001. Seventeen chemical properties including pH, organic matter (OM), electrical conductivity (EC), inorganic nitrogen, available phosphorus, exchangeable cations, CEC, etc., were analyzed by correlation, standardized partial regression coefficient, and principal factor analysis. Standardized partial regression coefficients of chemical properties were estimated to determine the degree of contribution of EC and OM contents in soils. Principal factor analysis was applied to classify the studied chemical properties into different groups having similar chemical properties. The pH of experimental soils ranged from 4.24 to 7.14 and 4.95 to 7.35 for loam and sandy loam soils, respectively. The EC of soils varied from 0.93 to 15.65 dS m⁻¹ for loam and 0.91~22.30 dS m⁻¹ for sandy loam soils, respectively with significant differences among them. The EC measured by 1:5 H₂O dilution method and saturation method were significantly related with 8.163 and 8.599 as the slopes of regression equation for loam and sandy loam soils, respectively. These slopes more than 8.0 in this regression equation was higher than the slope of 5.0 that is estimated from dilution coefficient suggesting that EC measured by 1:5 dilution method might be erratic. The standardized partial regression coefficient of different chemical properties for the estimation of EC was in the order of NO₃⁻ > Cl⁻ > OM > exchangeable Mg for loam soils and NO₃⁻ > exchangeable Mg > Cl⁻ for sandy loam soils. Contribution order of the chemical properties based on standardized partial regression coefficient differed 1:5 dilution method and saturation method, indicating that different chemical compounds might be present in the extract solutions of these two methods. Consequently the measurement of EC by saturation method was thought to be still better for estimation of chemical property because accuracy of EC measurement by 1:5 dilution method can't be improved by any specific coefficient for adjustment of EC. Regardless of differences in soil textures and extraction methods, correlation coefficients between EC and the other chemical properties were routinely in the order of NO₃⁻ > Cl⁻ > degree of base saturation > exchangeable Mg > exchangeable Ca > SO₄²⁻. The principal factor analysis revealed four factor groups of the chemical properties studied. The groups for sandy loam were as follows; 1. salt components, 2. soil reaction components, 3. fixed and adsorption components, 4. CEC components. The groupings of loam soils were similar to sandy loam except that exchangeable Na substituted the CEC of sandy loam.

Key words : Plastic film house, Chemical properties, Soil texture, Standardized partial regression coefficient, Principal factor analysis

서 언

우리나라 시설재배지는 매년 2회에서 5회까지 작물을 재배하는 집약적인 작부체계이며 매 작기마다 과

다 투입되는 시비량 때문에 토양의 염류가 집적된다. 이는 많은 연구결과에서 지적되었다. Jung et al. (1998)은 국내 513개 시설재배 토양에 대한 화학성 조사에서 유효인산 평균함량이 1092 mg kg⁻¹, 질산태 질소 평균함량은 155 mg kg⁻¹, 전기전도도가 2.94 dS m⁻¹으로 매우 높았으며 pH를 제외한 대부분의 화학성들이 적정치를 초과하는 것으로 보고하였다. 그리고

접수 : 2006. 4. 20 수리 : 2006. 5. 31
*연락처 : Phone: +82432612564,
E-mail: sdhong@cbun.ac.kr

전남 시설재배 토양에 대한 조사에서도 유효인산과 치환성 칼리는 조사지역 모두 적정치 이상을 보였고 (Kim et al., 2000), 남부지역에 대한 전기전도도 조사에서 표토층의 평균 전기전도도는 창원 16.3 dS m⁻¹, 부산 6.8 dS m⁻¹, 김해 및 순천이 5.4 dS m⁻¹ 이상으로 염류집적이 심각함을 보여주고 있다 (Ha et al., 1997). 그 이외에도 유사한 많은 연구들은 시설재배 토양의 화학성에 대한 특이성을 보고하였다 (Yuk et al., 1993; Lee et al., 1993; Jung et al., 1994, Jung et al., 1997; Kang et al., 1997). 상기와 같은 국내 시설재배 토양의 염류집적 현상은 심각한 수준에 도달되었고, 특히 환경보전을 위한 시설재배 토양의 염류집적에 대한 특별한 관리가 요구되고 있음을 시사하고 있다. 따라서 본 연구는 염류집적의 특성을 갖는 시설재배지 토양을 사양토와 양토로 구분하여 전기전도도에 관여하는 화학성들의 상호관계와 침출방법에 따른 차이를 평가하기 위하여 충북 시설재배지역 156개 토양에 대하여 비교 검토하였다.

재료 및 방법

공시토양 및 화학성 공시토양은 1998년부터 2001년까지 충북 보은군 탄부면, 충주시 칠금동, 청주시 신촌동, 청원군 강외면 및 옥산면의 시설재배지에서 채취된 156개 토양을 토성에 따라 사양토 74개 양토 82개로 구분하여 검토하였다. 토양 화학성은 pH (활산성 및 잠산성), 유기물 (OM), 유효인산 (ava. P₂O₅), 질산태질소 (NO₃-N), 암모니아태질소 (NH₄-N), 치환성칼리 (exch.-K), 치환성석회 (exch.-Ca), 치환성고토 (exch.-Mg), 치환성나트륨 (exch.-Na), 양이온치환용량 (cation exchangeable capacity, CEC), 포화용액 침출법 및 1:5 회석 침출법에 의한 전기전도도 (electrical conductivity, EC), 황산이온 (SO₄²⁻), 염소 (Cl) 등 15개 측정치 외 칼륨흡착비와 염기포화도 등이 포함된 17개 화학성으로 비교하였다.

토양 화학성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법에 준하였으며 (NIAS, 2000), 채취한 토양은 풍건 후 2 mm체에 통과된 것을 분석시료로 하여 다음과 같이 분석하였다. pH와 전기전도도 (EC)는 풍건한 토양을 증류수와 1:5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 ion analyzer (Orion model EA 940)와 conductivity meter (TPS model 2100)로 각각 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계 (Hitachi model U-2000)를 이용하여 분석하였다. 수용성 인산은 수용액 중 인산의 활동도에 큰 영향을 주지 않으면서도 용액의 여과를 용이하게 할 수 있게 하기 위하여 토양 : 용액의 비가 1:10이 되도록 토양 2 g에 0.01 M

CaCl₂용액 20 mL를 넣고 17시간 진탕하여 여과한 다음 비색정량 (Yoon et al., 1998)하여 회석배수를 고려하지 않은 실측농도로 하였다. 질산태 질소 함량은 토양 5 g에 0.025 M Al₂(SO₄)₃를 침출액으로 하여 30분간 진탕 후 침출액을 nitrate ion selective electrode (Orion model 960)로 측정하였으며, 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 1 N-NH₄OAc (pH=7.0)를 이용하여 원자흡광분광광도계 (Perkin Elmer model AA100)를 이용하여 분석하였다. 양이온치환용량은 mechanical vacuum extractor (Centurion International, Inc., Lincoln, NE Model 24)를 이용하여 토양을 1 N-NH₄OAc (pH=7.0)으로 치환침출 후 pH 7.0으로 조절된 80% ethyl alcohol로 세척 후, Kjeldahl 증류법 (Tecator 1030 Analyzer)으로 측정하였다. 토양의 입도분석은 5% sodium hexameta phosphate를 분산제로 하여 pipette 법으로 분석하였으며, 토성은 미농무성 기준의 삼각도표법에 의하여 분류하였다.

통계분석 통계분석은 SAS 프로그램 (Ver. 9.1)을 이용하여 상관계수, 표준화된 편회귀계수, 주인자분석 등을 수행하였다. 표준화된 편회귀계수 (standardized partial regression coefficient)는 회귀분석에 관여하는 회귀변수들의 상대적 중요성을 평가하기 위하여 평가에 적용된 모든 변수들을 동일한 기준으로 변환하여 분석하는 방법이며 토양의 유기물 함량과 전기전도도에 관여하는 화학성들의 기여도 분석에 이용하였다. 주인자분석 (principal factor analysis)은 검토된 17개 화학성들로부터 공통인자들의 분석에 적용하였으며 공통인자의 개수는 Scree 산점도로부터 결정되었고 인자추출을 위한 인자회전 (factor rotation)은 varimax, promax, 및 Harris-Kaiser (HK)의 3가지를 선택하여 분석하였다.

결과 및 고찰

공시토양의 화학성들에 대한 분포범위는 Table 1과 같다. 토양의 pH는 양토에서 4.24~7.14, 사양토에서 4.95~7.35로 다소 높게 분포되었고 염류집적도를 나타내는 전기전도도는 양토의 경우 최소 0.93에서 최대 15.65 dS m⁻¹, 사양토의 경우 최소 0.91에서 최대 22.30 dS m⁻¹로 염류집적도의 큰 차이를 나타냈다. 전기전도도의 큰 차이에 기인되어 토양의 질산태 질소 함량은 양토에서 21~821, 사양토에서 27~1,100 mg kg⁻¹, 유효인산 함량은 양토의 경우 410~2,000, 사양토의 경우 592~2,061 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨은 양토에서 0.25~1.96, 사양토에서 0.21~2.55 cmol⁺ kg⁻¹로서 큰 차이를 보였고, 토성 간에는 전기전도도의 경향과 동일하게 양토보다 사양토에서 모두 높은 농도를 보

였다. 그리고 토양의 비옥도를 가름하는 유기물 함량과 양이온치환용량도 각각 5.5~65.2 g kg⁻¹와 10.0~21.0 cmol⁺ kg⁻¹로서 선정된 공시토양의 화학성분들은 함량 차이가 큰 분포특성을 보였다.

토양의 염류집적도를 나타내는 전기전도도는 일반적으로 분석의 편의성 때문에 토양의 pH 측정의 경우와 같이 토양시료와 증류수를 1:5의 비율로 희석하여 침출하고 측정치는 희석배수 5를 곱하여 표현하고 있는 실정이다 (NIAST, 2000). 이 방법의 정확도를 확인하기 위하여 침출액을 1:5 희석액과 포화 침출액으로 구분하여 Fig. 1에 회귀관계를 나타냈다. 양토나 사양토 모두 두 가지 침출방법 사이에 고도로 유의성 있는 직선적인 회귀관계를 보였으며 직선 회귀식의 기울기 값은 사양토가 8.599, 양토가 8.163으로 비슷하였다. 이러한 회귀관계로부터 1:5 희석법에 의하여 희석배수 5를 곱하여 얻은 전기전도도 값은 크게 잘못될 수 있음을 보여주었다. Jung et al. (2001)은 한국

토양에 대한 검토에서 1:5 희석법에 의한 측정치의 희석배수는 식토 6.44에서 사토 12.29까지의 다양하다는 유사한 결과를 보고하며 전기전도도를 환산하기 위해 양이온치환용량을 고려해야 한다고 제안하였다. 따라서 토양의 염류집적도를 나타내는 전기전도도 값은 토양의 종류 및 화학적 특성에 따라 포화침출법과 1:5 희석법 사이에 일정한 관계를 보이지 않은 것으로 생각된다. 그러므로 분석 및 추출의 용이성은 1:5 희석법이 편리하지만 측정치의 정확도를 고려한다면 토양의 전기전도도는 가능하면 포화 침출법으로 분석하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Table 2는 전기전도도에 기여하는 화학성들의 가중치를 비교하기 위하여 표준화된 편회귀계수를 나타낸 것이다. 양토와 사양토 모두 포화 침출법에 의해 측정된 전기전도도에 대한 표준화된 편회귀계수는 질산태 질소가 가장 크게 나타났다. 따라서 포화침출법에 의한 전기전도도에 대한 화학성들의 기여도 순위는 양

Table 1. Concentration range of chemical properties of experimental soils.

Soil texture	Statistics	pH (1:5 H ₂ O)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	EC1:5	EC _e	Organic matter	Water Extractable P ₂ O ₅	Available P ₂ O ₅
Loam (n=82)	Max.	7.14	97.5	821.0	1.54	15.6	65.2	314	2000
	Min.	4.24	3.3	21.0	0.15	0.9	5.5	30	410
	Mean	5.38	12.4	222.0	0.60	4.7	25.7	110	1116
	Median	6.05	8.2	197.5	0.56	4.5	20.8	92	1131
	SD	0.65	14.3	155.8	0.31	2.7	14.6	65	407
	CV(%)	12.1	116.0	70.2	51.4	58.4	56.7	59	36.4
Sandy loam (n=74)	Max.	7.35	64.7	1100.0	1.71	22.3	44.7	291	2061
	Min.	4.95	3.5	27.3	0.10	0.9	10.4	21	592
	Mean	5.83	9.1	288.0	0.65	6.2	22.7	117	1241
	Median	6.16	5.8	214.3	0.55	5.0	19.8	103	1181
	SD	0.64	8.9	218.6	0.33	4.1	8.7	63	415
	CV(%)	10.9	97.9	75.9	50.3	65.8	38.4	54	33.5

Soil texture	Statistics	Exchangeable Cation				CEC	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
		K	Ca	Mg	Na			
		----- cmol ⁺ kg ⁻¹ -----				cmol ⁺ kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Loam (n=82)	Max.	1.96	12.76	4.47	1.83	21.0	451	788
	Min.	0.25	4.50	1.33	0.09	11.2	6	23
	Mean	0.73	8.10	2.30	0.68	14.9	60	223
	Median	0.66	8.13	2.14	0.56	14.6	42	217
	SD	0.42	1.79	0.65	0.39	2.4	73	148
	CV(%)	57.1	22.1	28.3	56.8	15.8	121.9	66.4
Sandy loam (n=74)	Max.	2.55	21.97	8.29	1.61	20.1	596	1938
	Min.	0.21	4.42	1.09	0.17	10.0	6	28
	Mean	0.84	8.05	2.34	0.64	12.8	80	293
	Median	0.65	7.34	2.11	0.54	12.3	53	219
	SD	0.61	2.97	1.23	0.35	1.8	112	308
	CV(%)	72.1	36.9	52.5	54.3	14.2	139.6	105.2

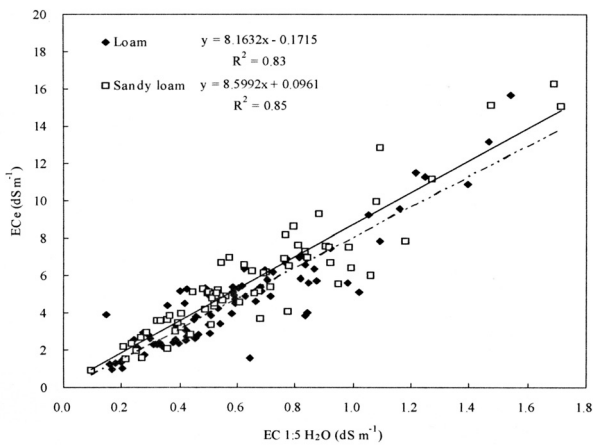


Fig. 1. Relationship between EC_e extracted by saturation method and EC_{1:5} extracted by dilution method.

토의 경우 질산태질소 > 염소 > 유기물 > 치환성 고토의 순이었고 사양토의 경우는 질산태질소 > 치환성 고토 > 염소의 순이었다. 그러나 1:5 희석법에 의한 전기전도도에 대한 화학성들의 기여도는 포화법의 경우와 다소 상이하어 양토의 경우 질산태질소 > 염소 > 치환성 고토 > 유기물의 순이었고 사양토의 경우는 염소 > 질산태질소 > 치환성 석회 > 황산이온 (SO₄²⁻) > 치환성 고토의 순이었다. 이러한 결과는 전기전도도의 측정에서 침출방법에 따라 즉, 1:5 희석용액과 포화용액을 구성하는 화학성분들의 농도가 다르게 분포된다는 것을 의미하기 때문에 희석법에 의한 전기전도도의 측정방법은 침출방법 자체에서 정확도를 낮추는 요인을 포함하고 있었다.

Table 3은 전기전도도에 대한 화학성들의 관계를 상관계수로 나타낸 것이다. 상관계수의 크기로 비교

할 때 전기전도도는 토성과 침출방법에 관계없이 질산태질소 > 염소 > 염기포화도 > 치환성 고토 > 치환성 석회 > 황산이온 (SO₄²⁻)의 순으로 질산태질소 (r=0.911~0.943)가 가장 높은 상관계수를 보였다. 이는 표준화된 편회귀계수에서도 음전하를 갖는 질산태질소와 염소가 가장 크게 기여했던 것과 일치되는 결과이다. Ha et al. (1997)은 남부지방 71개 시설토양의 화학성으로 조사한 결과 전기전도도와 밀접한 상관을 갖는 화학성의 상관계수 크기는 치환성 고토 > 질산태질소 > 염소 > 치환성 석회 > 황산이온 (SO₄²⁻) > 치환성 칼륨의 순으로 본 연구결과와 달리 치환성 고토가 가장 높은 상관계수를 보였다. Jung et al. (1998)은 전국 513개 시설토양의 화학성에 대한 조사에서 전기전도도와 상관계수 크기는 질산태질소 > 치환성 고토 > 치환성 칼륨 > 치환성 석회의 순이었다고 보고하였다. 단순한 상관계수의 크기로 전기전도도에 대한 기여도 순위를 평가하기는 쉽지 않지만 표준화된 편회귀계수로 평가한 본 연구 결과와 많은 종류의 시설토양에서 가장 밀접한 상관을 보인 질산태 질소는 음전하를 갖는 염소이온과 함께 염류농도를 나타내는 전기전도도에 가장 크게 기여하는 성분으로 생각된다.

가장 높은 상관계수를 보였던 포화 침출법에 의한 전기전도도와 질산태질소 함량의 상호관계 (Fig. 2)는 사양토나 양토 모두 거의 동일한 기울기의 직선적인 회귀관계 (결정계수 R²=0.83~0.89)를 보였다. 그리고 전기전도도와 염소 함량의 관계 (Fig. 3)에서도 직선적인 회귀관계 (결정계수 R²=0.69~0.73)를 보였으며 직선 회귀식의 기울기는 사양토보다 양토에서 낮아

Table 2. Standardized partial regression coefficient of chemical properties for electrical conductivity.[†]

Ranking	EC _e		EC _{1:5}	
	Loam	Sandy loam	Loam	Sandy loam
1	0.742 (NO ₃ -N)	0.738 (NO ₃ -N)	0.659 (NO ₃ -N)	0.462 (Cl)
2	0.279 (Cl)	0.161 (Exch.-Mg)	0.230 (Cl)	0.411 (NO ₃ -N)
3	0.117 (OM)	0.154 (Cl)	0.220 (Exch.Mg)	0.093 (Exch.Ca)
4	0.095 (Exch.-Mg)		0.204 (O.M)	0.086 (SO ₄)
5				0.053 (Exch.Mg)

[†] N=74 for loam soil, 82 for sandy loam soil.

Table 3. Correlation coefficient between EC and other properties at p<0.0001.[†]

Texture	Dependent	NO ₃ -N	Exch.-Ca	Exch.-Mg	DBS	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Loam	EC _e	0.911	0.337	0.393	0.600	NS	0.857
	EC _{1:5}	0.917	0.459	0.467	0.694	NS	0.874
Sandy loam	EC _e	0.943	0.640	0.680	0.720	0.510	0.811
	EC _{1:5}	0.913	0.688	0.738	0.799	0.587	0.856

[†] N=74 for loam soil, 82 for sandy loam soil.

[†] DBS : degree of base saturation

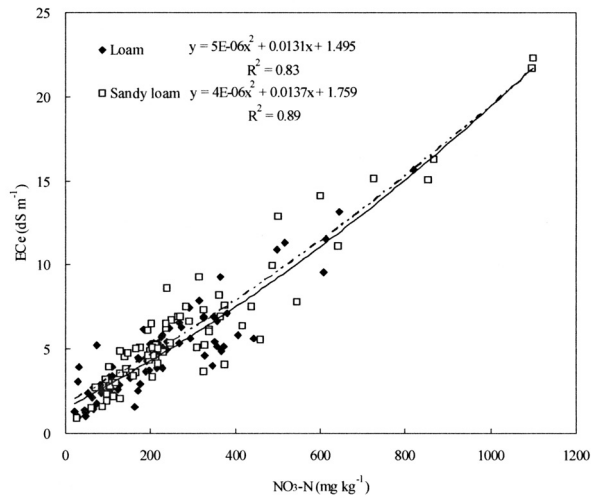


Fig. 2. Relationship between EC_e extracted by saturation method and NO₃-N content in soils.

Cl 함량의 증가에 따른 전기전도도의 증가비율이 낮은 경향이었다.

Table 4는 토양의 유기물 함량과 밀접한 관계를 갖는 화학성들의 상관계수를 나타낸 것이다. 토양의 유기물 함량은 다른 화학성들과 고도로 밀접한 상관 ($p < 0.0001$)을 보였으며 사양토보다는 양토에서 더 높은 상관계수를 나타냈다. 양토의 경우 유기물 함량과 상관계수의 크기는 수용성 인산 > 양이온치환용량 > 유효인산 등의 순이었고, 사양토의 경우 상관계수의 크기는 수용성 인산 > 치환성 칼륨 > 양이온치환용량 > 유효인산의 순으로 다소 차이를 보였지만 공통적으로 수용성 인산이 가장 높은 상관계수를 보였다. 이와 같이 수용성 인산이나 유효인산 함량이 토양의 유기물 함량과 밀접한 관계를 보인 결과는 시설재배에 화학비료뿐 아니라 유기질비료와 가축분뇨 퇴비의 과다 시용으로 유기물과 함께 유효인산의 집적을 초래했기 때문으로 생각된다.

Figure 4는 유효인산과 수용성 인산의 상호관계를 나타낸 것이다. 시설재배 토양에 비정상적으로 과도하게 집적된 인산은 수용성 인산의 용출량 증가와 관련되는 관계를 보였다. 토양의 수용성 인산과 유효인산 함량의 회귀관계로부터 수용성 인산 함량은 유효인산 약 1500 mg kg⁻¹까지는 거의 직선적인 관계로 유효인산의 약 10% 정도를 나타냈으나 1500 mg kg⁻¹

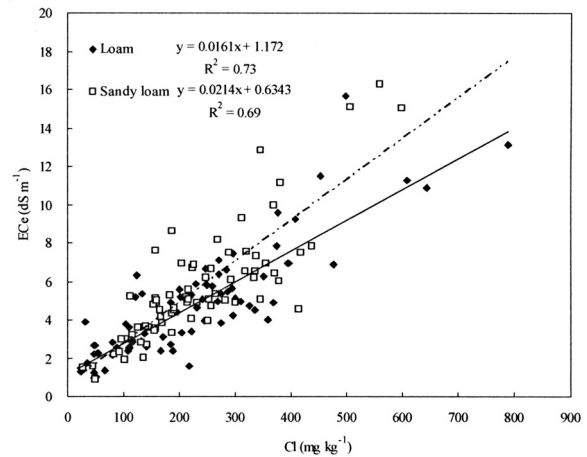


Fig. 3. Relationship between EC_e extracted by saturation method and Cl content in soils.

이상의 함량조건에서는 곡선회귀의 수평 포화점에 도달하여 유효인산의 약 20%까지 수용성으로 용출되는 관계를 나타냈다. Pautler and Sims (2000)는 토양 인에 의한 잠재적 유실 가능성 연구에서 Mehlich-P의 함량이 50 mg kg⁻¹ 이상인 토양은 더 낮은 함량의 경작지 토양에 비하여 전체 인 함량에 대한 가용성 및 탈착성 인 함량의 비율이 높다고 하였다. 따라서 유효인산의 집적량이 과도한 시설토양의 경우 가용성 및 탈착성 인은 지하수와 인근 수자원의 오염을 유발할 수 있을 것으로 생각된다.

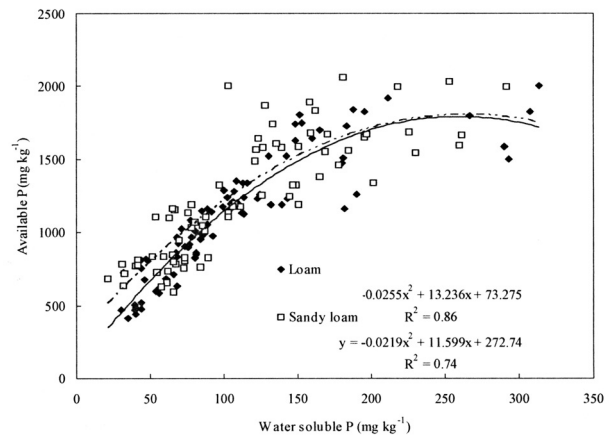


Fig. 4. Relationship between available P₂O₅ and water extractable P₂O₅ in soils.

Table 4. Correlation coefficient between content of organic matter and other properties at $p < 0.0001$.[†]

Texture	Water Extractable. P	Available P ₂ O ₅	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	PAR	CEC	SO ₄ ²⁻	Cl
Loam	0.775	0.614	0.367	0.335	NS	0.356	0.747	NS	-0.425
Sandy loam	0.588	0.467	0.553	0.316	0.385	0.460	0.498	0.428	NS

[†] N=74 for loam soil, 82 for sandy loam soil.

[‡] PAR ; potassium adsorption ratio.

토양의 염류가 집적된 시설재배 토양의 특이한 조건에서 화학성들의 공통인자에 의한 요인들을 분류하기 위하여 주인자 분석을 수행하여 그 결과를 Table 5 (양토)와 6 (사양토)에 나타냈다. 시설재배 토양 17개 화학성들을 이용한 Scree 산점도 평가는 양토와 사양토 모두 4개의 요인들로 분류되었다. 이들 요인들의 특성은 3가지 인자추출방법에 따라 다소 차이를 보였지만, 분류된 4개 요인들 중 3개는 토성에 관계없이 인자추출방법들 사이에 유사하게 평가 분류되었다. 즉 요인 1은 토양의 염류물질로 특성화할 수 있는 전기전도도, 질산태질소, 염소, 염기포화도 등이 포함되었고, 요인 2는 토양의 산도로 특성화할 수 있는 pH (활산성 및 잠산성), 치환성 석회 등이, 요인 3은 토양에 고정 흡착하는 화학성으로 특성화할 수 있는 유효인산 및 치환성 칼륨, 칼륨흡착비 등이 포함되었

다. 그리고 나머지 요인 4는 양토의 경우 (Table 5) 치환성 소다와 황산이온 (SO₄²⁻)이 포함되는 치환성 소다로 특성화되었고 사양토의 경우 (Table 6)는 CEC 및 유기물이 포함되는 양이온치환용량으로 특성화 분류되었다. 따라서 주인자 분석에 의한 시설재배 토양의 화학성은 사양토의 경우 1) 염류물질, 2) 토양 산도, 3) 흡착고정물질 4) CEC의 4개 요인 특성으로, 그리고 양토의 경우는 양이온치환용량 대신 치환성 소다로 대체되는 요인 특성으로 분류되었다.

적 요

1998년부터 2001년까지 충북지역에서 156개 시설토양이 채취되어 시설재배 토양의 화학성에 대한 특성 및 상호관계가 통계적 방법에 의하여 비교 검토되었

Table 5. Principal factor analysis for 17 chemical properties for loam soil (n=74).

Factor	Method	Variances included					
Factor 1	Varimax	ECe	Cl	NO ₃ -N	† DBS		
	Promax	ECe	NO ₃ -N	Cl	DBS		
	Harris-Kaiser	ECe	Cl	NO ₃ -N	DBS		
Factor 2	Varimax	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H	Exch.-Ca		
	Promax	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H	NH ₄ -N	Exch.-Ca	Exch.-Mg
	Harris-Kaiser	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H	NH ₄ -N	Exch.-Ca	Exch.-Mg
Factor 3	Varimax	† PAR	Exch.-K	CEC	Ava.-P	OM	
	Promax	PAR	Exch.-K	CEC	Ava.-P	OM	
	Harris-Kaiser	PAR	Exch.-K	Ava.-P	CEC		
Factor 4	Varimax	Exch.-Na	SO ₄				
	Promax	Exch.-Na	SO ₄				
	Harris-Kaiser	Exch.-Na	OM	SO ₄			

† DBS, degree of base saturation.

† PAR, potassium adsorption ratio.

Table 6. Principal factor analysis for 17 chemical properties for sandy loam soil (n=82).

Factor	Method	Variances						
Factor 1	Varimax	Cl	DBS	Exch.-Mg	ECe	NO ₃ -N	Exch.-Ca	SO ₄
	Promax	Cl	ECe	DBS	Exch.-Mg	NO ₃ -N	Exch.-Ca	SO ₄
	Harris-Kaiser	Cl	ECe	DBS	Exch.-Mg	NO ₃ -N	Exch.-Ca	SO ₄
Factor 2	Varimax	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H				
	Promax	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H				
	Harris-Kaiser	pH(active)	pH(reserve)	Exch.-H	Exch.-Na			
Factor 3	Varimax	PAR	Exch.-K	Ava.-P	NH ₄ -N			
	Promax	PAR	Exch.-K	Ava.-P	NH ₄ -N			
	Harris-Kaiser	PAR	Exch.-K	Ava.-P	NH ₄ -N			
Factor 4	Varimax	OM	CEC					
	Promax	OM	CEC					
	Harris-Kaiser	OM	CEC					

† DBS, degree of base saturation.

† PAR, potassium adsorption ratio.

다. 평가에 적용된 화학성들은 pH의 16개 성분들이며 통계분석은 상관, 표준화된 편회귀계수, 주인자분석 등으로 수행되었다. 표준화된 편회귀계수는 종속변수에 관여하는 회귀변수들의 상대적 중요성을 평가하기 위하여 토양의 유기물 함량과 전기전도도에 관여하는 화학성들의 기여도 분석에 적용되었다. 주인자 분석은 시설재배 토양의 화학성들에 대하여 공통인자에 의한 집단들을 분류하기 위하여 분석하였다. 공시토양의 pH는 양토가 4.24~7.14, 사양토가 4.95~7.35이었고 염류농도를 나타내는 전기전도도는 양토의 경우 최소 0.93 에서 최대 15.65 dS m⁻¹, 사양토의 경우 최소 0.91에서 최대 22.30 dS m⁻¹로서 큰 차이를 나타냈다. 전기전도도 측정을 위한 1:5 희석법과 포화 침출법은 고도로 유의성 있는 직선적인 회귀관계를 보였으며 직선식의 기울기는 사양토가 8.599, 양토가 8.163로서 이론적 희석배수 5보다 높게 평가되었다. 표준화된 편회귀계수로 평가한 포화침출법의 전기전도도에 대한 화학성들의 기여도 순위는 양토의 경우 질산태 질소 > 염소 > 유기물 > 치환성 고토의 순이었고 사양토의 경우는 질산태질소 > 치환성 고토 > 염소의 순이었다. 전기전도도에 대한 화학성들의 기여도 순위는 포화침출법과 1:5희석법 사이에 차이를 보여 침출방법에 따른 용액의 화학종 농도는 동일하지 않은 것으로 생각되었다. 따라서 1:5 희석법에 의한 전기전도도 측정은 특정한 계수로 조절하더라도 정확도가 낮아질 수밖에 없으며 가능한 포화용액 침출법이 바람직할 것으로 생각되었다. 상관계수의 크기로 단순히 비교할 때 전기전도도는 토성과 침출방법에 관계없이 질산태질소 > 염소 > 염기포화도 > 치환성 고토 > 치환성 석회 > 황산이온 (SO₄²⁻)의 순이었다. 주인자 분석에 의한 시설재배 토양의 화학성은 4개 요인으로 분류되었으며 요인별 특징은 사양토의 경우 1) 염류물질, 2) 토양산도, 3) 흡착고정물질 4) CEC로, 그리고 양토의 경우는 CEC 대신 치환성 소다로 대체되며 화학성들을 분류할 수 있었다.

사 사

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

- Ha, H.S., M.S. Yang, H. Lee, Y.B. Lee, B.K. Sohn, and U.G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 30:272-279.
- Jung, G.B., I.S. Ryu, and B.Y. Kim. 1994. Soil texture, electrical conductivity and chemical components of soils under the plastic film house cultivation in northern central areas of Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 27:33-40.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 31:9-15.
- Jung, Y.S., J.H. Joo, S.D. Hong, I.B. Lee, and H.M. Ro. 2001. Discussion on dilution factor for electrical conductivity measured by saturation-paste extract and 1:5 soil to water extract, and CEC of Korean soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:71-75.
- Kang, B.G., I.M. Jeong, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soils in Chungbuk area. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 30:265-271.
- Kim, H.K., I.J. Park, J.K. Kim, and S.C. Kim. 2000. Soil environmental investigation of plastic film house in Chonnam area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:40-46
- Lee, Y.H., Y.K. Shin, K.N. Hwang, and G.S. Rhee. 1993. Studies on chemical properties of soils under the plastic house cultivation of vegetables. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 26:236-240.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. RDA. Suwon, Korea.
- Pautler, M.C., and J.T. Sims. 2000. Relationship between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:765-773.
- Yoon, J.H., B.G. Jung, and Y.H. Kim. 1998. Dependence of 0.01 M CaCl₂ soluble phosphorus on extractable P and P sorptivity in upland soil. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 31:266-270.
- Yuk, C.S., J.J. Kim, S.D. Hong, and B.G. Kang. 1993. Salt accumulation in horticultural soils of PE film house in Chungbuk area. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 33:172-180.