

## 시설재배 토양의 유효인산 측정방법 비교

양원석 · 강성수 · 김기인 · 홍순달\*

충북대학교 농화학과

### Comparison of Determination Methods for Available-P in Soil of Plastic Film House

Won-Seok Yang, Seong-Soo Kang, Ki-In Kim and Soon-Dal Hong\*

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

Pot experiments were conducted from 1999 to 2001 to compare the different methods of available phosphorus (P) for estimation of biomass and P uptake by tomato and cucumber grown on different soils (25 soils for tomato and 8 soils for cucumber cultivation) collected from plastic film house of Chungbuk area. Supplementary experiment was conducted to estimate the relationship among several extraction methods of available P such as P adsorption, water extractable-P, Lancaster-P, Olsen-P, Bray No 1 and No 2-P, and Mehlich 1 and 3-P for a total of 71 soils that included 33 soils collected for tomato and cucumber cultivation and 38 soils taken from other sites of plastic film house. All the extraction methods of available phosphorus except P adsorption were mutually positive correlated with  $r$  ranging from 0.81 to 0.96 while the correlation coefficient between P adsorption and other methods ranged from -0.57 to -0.80. Phosphorus uptake by tomato plant applied with no fertilizer was significantly correlated with the available P extracted by different methods except P adsorption in all the experiments showing positive correlation coefficients from 0.49 to 0.76 in April, 1999, 0.53 to 0.71 in April, 2000, and 0.59 to 0.68 in October, 2000. Consequently relative amount of P uptake by tomato plant for all the experiments also significantly correlated with available P in soils showing correlation coefficients of  $r=0.64\sim 0.73$  ( $P<0.0000001$ ) in the order of Mehlich 1-P > Mehlich 3-P > Lancaster-P. For tomato, critical concentrations of available P in soils estimated by Cate and Nelson split method were  $1700\text{ mg kg}^{-1}$  for Mehlich 3-P,  $1,050\text{ mg kg}^{-1}$  for Mehlich 1-P, and  $95\text{ mg kg}^{-1}$  for water extractable P. Also P uptake by cucumber plant was significantly correlated with Olsen-P, water extractable P, and Bray No 2-P with  $r$  value of 0.62, 0.59, and 0.51, respectively, in soils of no fertilization.

**Key words :** Tomato, Cucumber, Extraction methods of available P, Availability of P, Plastic film house

## 서 언

연중 집약적으로 작물이 재배되는 시설하우스 토양은 비료물질의 과다사용으로 특히 유효인산 함량이 노지토양에 비하여 크게 증가하고 있는 실정이다. Jung et al. (1998)은 과채류, 엽채류, 화훼류를 포함하는 513개 시설재배 토양에 대한 화학성 조사에서 유효인산의 평균함량이  $1092\text{ mg kg}^{-1}$ 이고, Jung et al. (2000)은 169개 시설재배 토양의 유효인산이  $136\sim 3689\text{ mg kg}^{-1}$ 의 분포로 매우 과다하게 축적되었음을 보고하였다. 따라서 인산이 과다하게 집적된 시설재배 토양조건에서 인산 유효도 평가는 작물의 생산성 뿐 아니라 수자원의 오염방지를 위하여 중요한 의미를 갖

는다.

토양 가급대 인의 정량법은 토양의 인 비옥도 평가 및 인산시비량 결정에 대단히 중요한 요인이며, 가급대 인의 침출법으로는 물, 탄산수, 희석산, 산성완충용액, 불화암모늄을 포함한 용액, 그리고 탄산염용액 등 여러 가지 방법들이 있으며 기후나 토양종류 등에 따라 선택되고 있다. 그 중 주요 분석방법은 Truog법 (Truog, 1930), Bray No. 1, No. 2법 (Bray and Kurtz 1945), Olsen법 (Olsen 1954), Calcium lactate법 (Kurt 1960), Mehlich II법 (Mehlich 1978) 및 Lancaster법 (Ryu et al., 1977)등이 널리 사용되고 있다. 또한 최근에는 이온치환의 침출원리를 적용한 이온교환수지막을 이용한 검정법 (Mallarino et al., 2005), ICP를 이용한 Mehlich III법 (Mallarino et al., 2003), 그리고 침식, 유거수, 용탈 등에 의한 토양 인의 잠재적 유실을 평가하는 토양 검정법 등이 제안되고 있다 (Magdoff

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

et al., 1999; Pautler et al., 2000). 그 이외 토양의 가급태 인의 평가방법으로 인산 시비량 및 토양의 인 축적조건에 따른 인의 형태별 분포비율 (Ryu et al., 1977; Shin et al., 1980, 1988a, 1988b, 1988c), 침출액의 발색방법 및 비색계 비교 (Yoon et al., 1998; Hyun et al., 1999), 그리고 침출액 종류 및 방법에 따른 효율성 비교 (Yoon et al., 1977; Ryu et al., 1977; Park et al., 1998; Shin et al., 1980; Magdoff et al., 1999; Zhang et al., 2004; Mallarino et al., 2005) 등이 검토되어 왔다.

작물의 생산성 및 인 흡수량에 대한 토양 가급태 인의 평가는 대두 (Yoon et al., 1977; Shin et al., 1988b), 옥수수 (Park et al., 1998; Mallarino et al., 2005), 벼 (Park, et al., 1998), 알파과 (Magdof et al., 1999) 등의 노지작물에서 주로 검토되었지만 토양의 인이 축적된 시설재배 작물에 대한 평가는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 인이 과다하게 축적된 시설재배 토양에서 토마토와 오이 에 대한 인산 유효도를 평가

하기 위하여 여러 가지 가급태 인의 평가방법으로 Lancaster법 이외에 Olsen, Bray No. 1, Bray No. 2, Mehlich I, Mehlich III 검정법들을 비교하였다.

## 재료 및 방법

**재배조건 및 공시토양** 작물의 인 흡수량에 대한 유효인산 검정방법들의 효율성을 평가하기 위하여 충북지역 청주시 신촌동과 청원군 강외면 및 옥산면의 시설재배지로부터 1999년부터 2001년까지 토마토 재배시험에 25개 토양, 오이 재배시험에 8개 토양이 채취되어 작물의 인산유효도 평가시험에 적용되었다. 그리고 작물 재배시험 이외에 채취된 시설재배 토양 38개를 추가한 전체 71개 토양이 선정되어 유효인산 검정방법들의 상호관계 평가에 이용되었다. 작물 재배시험에서 토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill, 품종: 꼬꼬)는 1999년 4월에 6개 토양, 2000년 4월에 12개 토양, 그리고 2000년 10월에 7개 토양을 선정하여 20 L 용량의 포트에 충전하고 묘를 정식하여 무비 조건에서 각각 3반복으로 재배하였다. 오이 (*Cucumis*

**Table 1. Physico-chemical properties of experimental soils for tomato cultivation.**

Month Year	Texture <sup>†</sup>	pH (1:5)	EC	Organic matter	NO <sub>3</sub> -N	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable Cation			CEC
							K	Ca	Mg	
			dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	----- cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> -----			cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>
Apr. 1999	SL	6.07	0.92	19.3	55	761	0.37	4.23	1.59	13.1
	SL	6.92	2.35	26.8	106	752	0.36	4.21	1.78	16.2
	SL	6.81	2.46	32.1	147	797	0.76	7.85	2.9	17.5
	SL	6.51	2.46	23.4	169	1,058	0.79	6.10	2.76	15.4
	SL	6.62	3.08	26.5	227	874	0.55	5.67	2.27	12.7
	SL	6.23	4.26	39.5	306	800	1.16	7.63	3.02	18.4
Apr. 2000	SiL	7.36	1.44	36.4	46	587	0.58	13.6	1.88	14.3
	L	7.16	1.95	36.7	96	899	0.56	13.3	1.93	14.9
	SL	6.60	1.90	26.7	126	936	0.14	13.4	1.77	15.4
	SiL	7.33	2.48	44.0	118	649	0.66	13.3	1.46	14.5
	L	6.22	3.21	17.4	138	379	0.19	11.7	1.39	12.4
	L	6.75	2.78	28.4	164	625	0.10	14.0	2.07	15.2
	L	6.50	5.54	31.5	344	883	0.49	14.3	3.06	15.9
	SL	5.59	2.74	14.3	211	521	0.04	13.5	1.44	15.1
	SL	5.76	2.85	20.5	225	598	0.06	13.2	1.58	14.6
	L	6.59	2.03	31.5	227	1651	0.99	14.9	1.45	16.4
	L	5.93	3.31	20.9	287	830	0.29	11.3	1.78	13.9
	L	6.38	3.47	22.9	208	776	0.42	12.7	2.15	14.6
Oct. 2000	L	7.36	0.21	25.3	114	625	0.45	13.10	2.28	14.7
	SL	5.98	0.20	38.2	135	1432	0.75	8.81	1.99	18.2
	L	5.87	0.20	40.7	134	1447	0.69	9.01	1.90	18.3
	L	7.38	0.26	25.0	110	721	0.57	14.04	2.61	15.3
	SL	5.95	0.25	37.5	115	1435	1.12	9.00	2.24	18.5
	L	6.35	0.36	20.7	187	795	0.44	10.23	2.05	15.0
L	6.47	0.60	24.5	302	841	0.85	11.70	3.10	16.0	

<sup>†</sup> SL, sandy loam; SiL, silty loam; L, loam.

**Table 2. Physico-chemical properties of experimental soils for cucumber cultivation in April 2001.**

Texture <sup>†</sup>	pH (1:5)	EC	Organic matter	NO <sub>3</sub> -N	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable Cation			CEC
						K	Ca	Mg	
		dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>			cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup>
L	6.67	1.02	55.4	66.8	1823	1.16	7.03	2.83	19.49
SL	6.84	1.25	19.4	96.1	1832	0.73	6.72	1.92	13.07
SL	5.85	1.44	37.9	119.0	1996	1.14	4.97	1.71	14.36
SL	6.71	2.58	18.6	164.0	1647	1.88	4.72	1.59	11.00
L	6.34	2.25	59.5	189.0	2000	1.60	8.10	3.13	20.83
SL	6.01	3.40	23.2	204.1	1243	1.03	6.25	1.77	12.59
SL	5.92	3.87	32.5	286.5	1380	1.27	6.53	2.00	20.10
SL	6.07	4.74	27.2	343.0	1324	1.20	6.43	1.99	12.25

<sup>†</sup> SL, sandy loam; L, loam.

*sativus* L., 은칩 백다다기)는 2001년 3월에 8개 토양을 선정하여 토마토와 동일한 방법으로 20 L 용량의 포트에 충전하고 묘를 정식하여 무비조건에서 3반복으로 재배하였다. 작물 재배시험은 유리온실에서 수행하였으며 재배기간 동안 관수는 포트밀면에 받침대를 통하여 밀면에서 수분이 공급되도록 하였으며 가능한 재배환경은 동일한 조건으로 조절하였다. 토마토의 재배기간은 약 95일간, 오이의 재배기간은 약 65일간 생육시킨 후 지상부를 수확하여 생체중과 건물중을 조사하였으며 줄기와 엽은 별도로 구분하여 식물체의 인 흡수량을 조사하였다.

1999년도 토마토 재배시험에 적용된 공시토양의 토성은 사양토이었고 pH가 6.07-6.92, 유효인산 함량이 752-1,058 mg kg<sup>-1</sup>, 전기전도도는 0.92-4.26 dS m<sup>-1</sup>의 분포를 보였다. 2000년 4월에 수행된 토마토 재배시험의 공시토양은 토성이 사양토, 미사질양토, 양토로 분포되었고, pH는 5.59-7.36, 유효인산 함량은 379-1,651 mg kg<sup>-1</sup>, 전기전도도는 1.44-5.54 dS m<sup>-1</sup>로 분포되었다. 2000년 10월에 수행된 토마토 재배시험의 공시토양은 토성이 사양토와 양토로 분포되었고 pH가 5.95-7.38, 유효인산 함량이 625-1,447 mg kg<sup>-1</sup>, 전기전도도 2.0-6.0 dS m<sup>-1</sup>이었다 (Table 1). 그리고 2001년도 오이 재배시험의 공시토양은 토성이 사양토와 양토로 분포되었고 pH가 5.85-6.84, 전기전도도는 1.02-4.74 dS m<sup>-1</sup>, 유효인산 함량은 1,243-2,000 mg kg<sup>-1</sup>의 분포를 나타냈다 (Table 2).

**토양분석** 채취한 토양은 음지에서 풍건한 다음 2 mm체를 통과시켜 시료를 조제하여 분석시료로 하였다. 토양 화학성은 농업과학기술원 토양 및 식물체분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. pH와 전기전도도 (electrical conductivity)는 풍건한 토양과 증류수를 1:5로 하여 30분간 진탕한 현탁액을 ion analyzer (Orion model EA 940)와 conductivity meter

(TPS model 2100)로 각각 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin's method로 분석하였고, 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N)함량은 토양시료 5 g에 50 mL의 0.025 M Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>를 침출액으로 하여 30분간 진탕시킨 후 여과액을 nitrate 전극과 double junction reference 전극을 이용하여 ion analyzer (Orion model 960)로 측정하였다. 치환성 양이온 (K, Ca, Mg)은 5 g의 토양시료에 50 mL의 1 N-ammonium acetate (pH=7.0)를 가하여 30분간 진탕하여 No. 2 여과지로 여과 후 atomic absorption spectrometer (Perkin Elmer model AA100)를 이용하여 분석하였다. CEC는 mechanical vacuum extractor (Centurion International, Inc., Lincoln, NE Model 24)를 이용하여 풍건토양 5 g에 50 mL의 1 N-ammonium acetate (pH=7.0)를 가하여 토양입자를 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>로 포화시키고, 과잉의 ammonium을 80% ethyl alcohol (pH=7.0)로 세척한 후 Kjeldahl자동 증류적정장치 (Tecator 1030 Analyzer)로 측정하였다.

토양의 입도는 5% sodium hexametaphosphate를 분산제로 하여 pipette법으로 분석하였으며 토성은 USDA방법에 의하여 분류하였다.

토양의 인산 흡착량 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체분석법으로 (NIAST, 2000), 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 CaCl<sub>2</sub> 용액 20 mL를 넣고 17시간 진탕하여 여과한 다음 비색정량하여 회색배수를 고려하지 않은 실측농도로 하였다 (Yoon, 1983).

토양의 유효인산 침출방법은 Lancaster법 (NIAST, 2000), Mehlich I 과 III법 (Mehlich, 1978), Bray No 1과 2법 (Bray and Kurtz, 1945), Olsen법 (Olsen, 1954) 등 6가지를 선택하였다. Lancaster법은 풍건토양 5g에 인산침출액 20 mL를 넣고 10분간 진탕한 후

여과지 No. 2를 사용하여 여과하였다. 여과된 시료액을 회석하여 조작액 6 mL와 발색시약 0.4 mL를 넣어 30°C에서 30분간 항온 발색시킨 후 파장 720 nm에서 측정하였다. Mehlich I은 풍건토양 3 g에 침출액 25 mL를 넣고 5분간 진탕한 후 No. 2 여과지를 사용하여 여과하여 여과된 시료액을 회석하여 비색계로 측정하였다. Mehlich III는 풍건토양 3g에 침출액 25mL를 넣고 5분간 진탕한 후 No. 2여과지를 사용하여 여과한 후 여과된 시료액을 회석하여 측정하였다. Bray No. 1과 No. 2는 풍건토양 1 g을 측정하여 침출액 7 mL를 넣어 No. 1은 1분간, No. 2는 40초간 진탕한 후 No. 2 여과지를 사용하여 여과된 시료액을 비색정량 하였다. Olsen법은 풍건토양 5 g에 침출액 100 mL를 넣고 120분간 진탕한 후 No. 2 여과지로 여과한 시료액을 ascorbic acid법으로 발색 720 nm에서 비색정량 하였다.

**식물체 분석** 70°C에서 건조한 식물체 시료를 분쇄하여 인산 ( $P_2O_5$ ) 함량은 시료 0.5 g을 산 분해용액 ( $HClO_4:H_2SO_4=10:1$ )으로 습식 분해하여, ammonium meta vanadate법으로 발색 후 비색정량 (Hitachi model U-2000)하였다 (NIAST, 2000).

**자료 분석** 토양의 유효인산 침출방법 상호간의 관계와 무비구 작물의 인 흡수량과 유효인산 함량의

관계는 상관계수로 비교 평가하였다. 무비구 작물의 인 흡수량과 유효인산의 회귀관계로부터 토양 인의 한계농도는 Cate and Nelson이 제안한 분할방법으로 추정하였다 (Cate and Nelson, 1971). Cate and Nelson 분할방법은 XY축의 변이분포에 대하여 X축 및 Y축과 평행선으로 분할하는 방법으로 즉 추세선 경향과 일치하는 positive영역, 일치하지 않는 negative 영역의 2개 영역으로 구분하고 negative영역의 변이수가 최소 분포되도록 분할하는 방법이다. 이 방법은 분산분석자료의 sum of square의 비율 값으로 크기를 비교하여 분포자료의 우측으로부터 차례로 분할하여 최대 점에서 최적 분할 기준을 설정하는 방법이며 시비량에 따른 생산량 분석에서 한계농도를 결정하는데 유용한 모델로 이용되는 방법이다

## 결과 및 고찰

**유효인산 침출방법들의 상호관계** 충북 시설재배 지로부터 채취된 71개 공시토양의 유효인산 침출방법별 함량분포는 Table 3과 같다. 국내에서 토양의 유효인산 검정법으로 활용되는 Lancaster법의 유효인산 함량은 최소 232에서 최대 2,000  $mg\ kg^{-1}$ , 평균함량이 901  $mg\ kg^{-1}$ 로서 유효인산 적정범위인 350~500  $mg\ kg^{-1}$  보다 훨씬 높았다. 그리고 Olsen법의 유효인산 함량은 최소 190에서 최대 834  $mg\ kg^{-1}$ 이었고, Bray No. 1법의 유효인산 함량은 최소 189에서 최대 2,186

**Table 3. Concentration range of available phosphorus extracted by different methods for 71 experimental soils taken from plastic film house.**

Statistics	Water extraction	P sorption	Lancaster	Olsen	Bray No. 1	Bray No. 2	Mehlich 1	Mehlich 3
-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
Maximum	314	283	2000	834	2186	4278	2760	2916
Minimum	29	11	232	190	189	510	233	314
Mean	94	168	901	466	948	1843	1178	1210
SD	57	65	394	141	425	859	667	655
CV(%)	60	39	44	30	45	47	57	54

**Table 4. Correlation coefficient (r) among extraction methods of available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in soils. †**

Methods	Water extraction	P sorption	Lancaster	Olsen	Bray No. 1	Bray No. 2	Mehlich No. 1
P-sorption	-0.732						
Lancaster-P	0.912	-0.770					
Olsen-P	0.807	-0.473	0.849				
Bray No.1	0.889	-0.797	0.947	0.825			
Bray No.2	0.809	-0.582	0.867	0.865	0.892		
Mehlich No. 1	0.825	-0.571	0.861	0.825	0.872	0.957	
Mehlich No. 3	0.888	-0.651	0.916	0.846	0.884	0.912	0.922

† n=71; P0.05=0.232, P0.01=0.302.

mg kg<sup>-1</sup>이었다. Bray No. 2법의 유효인산 함량은 510 ~ 4,278 mg kg<sup>-1</sup>이었고, Mehlich I 법의 유효인산 함량은 233~2,760 mg kg<sup>-1</sup>, Mehlich III법의 유효인산 함량은 314~2,916 mg kg<sup>-1</sup>의 함량분포 특성을 보였다. 또한 수용성 인산 함량은 최소 29에서 최대 314 mg kg<sup>-1</sup>으로 평균 94 mg kg<sup>-1</sup>을 보였고 인산흡수량은 11-283 mg kg<sup>-1</sup>으로 평균 168 mg kg<sup>-1</sup>을 나타냈다. 이들 침출방법들 간의 평균함량은 Lancaster법이 901 mg kg<sup>-1</sup>, Olsen법은 466 mg kg<sup>-1</sup>, Bray No. 1법 948

mg kg<sup>-1</sup>, Bray No. 2법 1,843 mg kg<sup>-1</sup>, Mehlich I 법 1,178 mg kg<sup>-1</sup>, Mehlich III법이 1,210 mg kg<sup>-1</sup>을 보였다. 평균함량으로 Lancaster법의 함량과 비교해 볼 때 Olsen법은 더 낮게, Bray No 1법은 비슷하였으며 나머지 방법들은 더 높게 평가되는 경향을 나타냈다. 따라서 침출방법별 유효인산의 평균함량은 Olsen-P < Lancaster-P < Bray No.1-P < Mehlich I -P < Mehlich III-P < Bray No.2-P의 순으로 높게 나타났는데 이는 Yoon et al. (1977)이 4개 종류의 밭 토양에

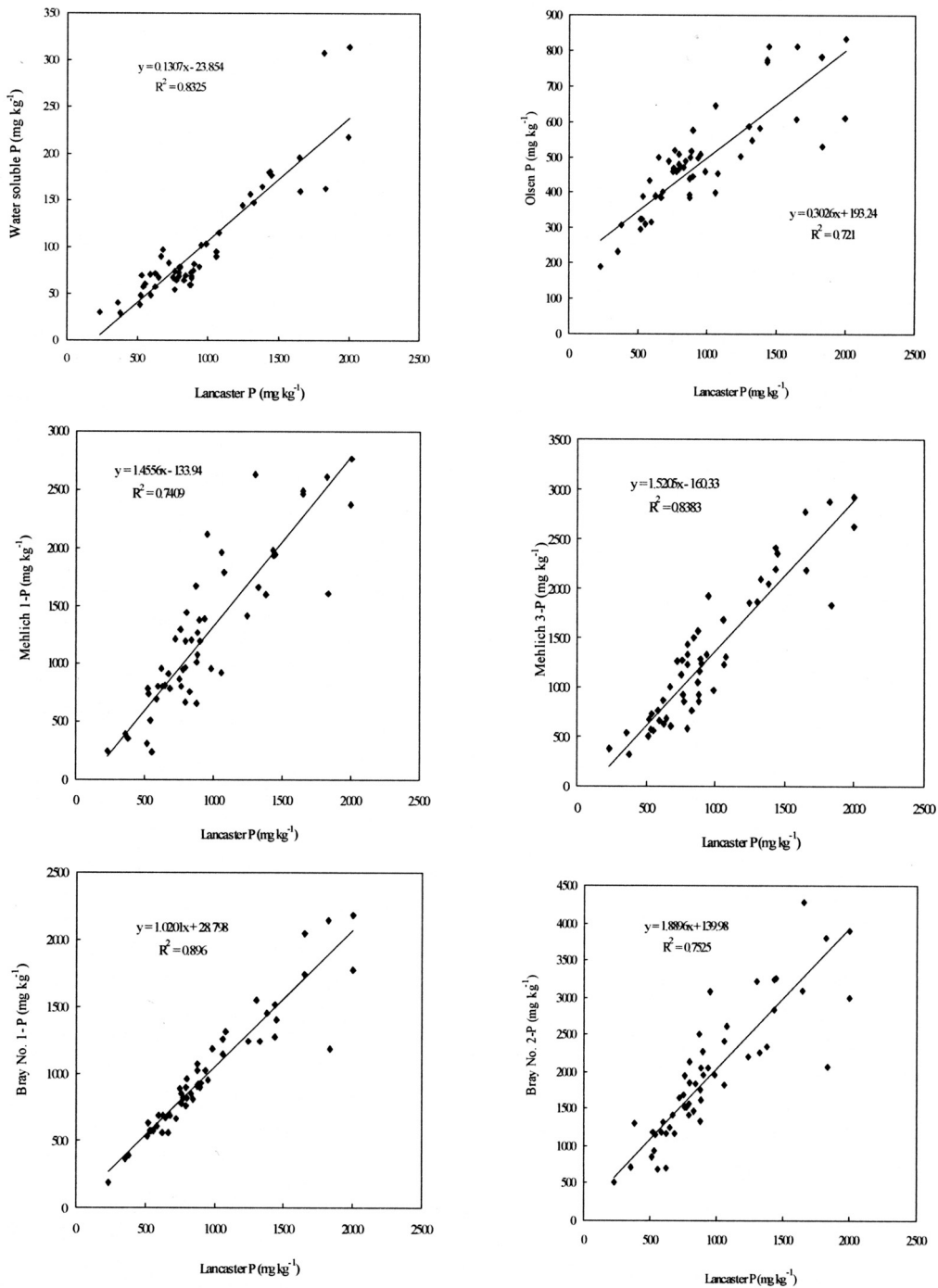


Fig. 1. Relationship among several extraction methods of available P with lancaster method.

서 조사한 결과와 같은 경향이였다.

Table 4는 침출방법별 유효인산 함량 상호간의 상관계수를 나타낸 것이다. 인산흡착량과 모든 침출방법의 유효인산 함량과는 유의성 있는 부의 상관 (-0.57~-0.80)을 보였고 그 이외 침출방법들 간에는 고도로 유의성 있는 정의 상관 (r=0.81-0.96)을 보이며 다른 연구결과와 유사한 경향이였다 (Pautler and Sims, 2000; Mallarino and Atia, 2005). 유효인산 함량과 인산흡착량이 부의 상관을 보인 것은 흡착능이 큰 토양에서 흡착이 많이 되므로 유효인산 함량이 감소되었기 때문으로 생각된다.

국내에서 유효인산의 분석법으로 이용되는 Lancaster법의 유효인산 함량과 다른 침출법에 의한 유효인산 함량의 상호관계를 Fig. 1에 회귀식과 함께 나타냈다. 수용성인산과 Lancaster법과의 상호관계에서 결정계수 (R<sup>2</sup>)는 0.83으로 밀접한 관계를 보였으며 회귀식의 기울기는 0.13으로 수용성 인산함량은 Lancaster법 유효인산 함량의 약 13%의 함량비율을 나타냈다. 또한 Lancaster법과 다른 침출법의 유효인산 함량의 상호관계를 비교해 볼 때 Olsen법은 회귀식의 기울기가 0.3으로 더 낮게 측정되었고, Mehlich I 과 III법은 회귀식 기울기가 각각 1.46 및 1.52로 더 높게 측정되었다. 그리고 Bray No. 1법은 회귀식 기울기가 1.02로서 Lancaster법과 거의 동일한 측정값을

보였고 Bray No. 2법은 회귀식 기울기가 1.89로서 더 높은 측정치 비율을 보였다.

**토양유효인산과 토마토 인산흡수량의 상호관계**

Table 5는 1999년 4월, 2000년 4월, 2000년 10월에 채취된 시설재배 토양으로 무비조건에서 약 95일 동안 재배된 토마토 지상부 건물중과 인 흡수량, 그리고 침출방법별 토양의 유효인산 함량 범위를 나타낸 것이다. 토마토의 지상부 건물중은 3회의 시험에서 최소 27.9g에서 최대 147.7g의 범위로 비슷한 생장량을 보였다. 지상부 식물체에 의한 인 흡수량은 1999년 4월 시험이 144-374 mg plant<sup>-1</sup>, 2000년 4월 시험이 223-1,043 mg plant<sup>-1</sup>, 그리고 2000년 10월 시험이 651-1,331 mg plant<sup>-1</sup>의 분포로 공시토양의 유효인산 함량에 따라 차이를 보였다.

Table 6은 무비구의 토마토 지상부 건물중 및 인 흡수량과 침출방법별 유효인산 함량의 상관계수를 나타낸 것이다. 평가에 적용된 유효인산 침출방법들은 토양의 인흡수량 이외에 수용성, Lancaster, Olsen, Bray No 1과 No 2, Mehlich I 과 III 등 8가지로 비교하였다. 토마토 식물체의 인 흡수량은 토양의 인 흡수량과 유의성 있는 부의 상관 (r=-0.49~-0.68, 1999년은 NS)을 보였으나 다른 유효인산 침출방법들은 고도로 유의성 있는 정의 상관을 보였다. 시험시기별로 비교

**Table 5. Range of dry weight and phosphorus uptake by tomato plant and available phosphorus in soils extracted by different methods for 3 experiments.**

Month Year	Statistics	Dry weight	P uptake	P sorption	Water extract-P	Lancaster	Olsen	Bray No.1	Bray No.2	Mehlich 1	Mehlich 3
		g plant <sup>-1</sup>	mg plant <sup>-1</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----							
Apr. 1999	Max.	101.1	374	258	95	1058	646	1148	2510	1961	1685
	Min.	45.4	144	167	60	752	439	815	1679	865	1126
	Mean	71.7	237	200	75	840	494	954	2086	1404	1385
	StDev	15.0	60	34	11	107	71	123	304	359	202
	CV(%)	21.0	25	17	15	12	14	13	14	25	14
Apr. 2000	Max.	116.6	1043	283	159	1651	812	1738	4278	2494	2181
	Min.	27.9	223	139	29	378	305	385	693	360	314
	Mean	78.9	537	210	70	783	467	833	1700	1033	941
	StDev	24.6	185	48	31	316	136	328	892	528	478
	CV(%)	31.2	34	23	44	40	29	39	52	51	50
Oct. 2000	Max.	147.7	1331	255	180	1447	812	1516	3250	1980	2406
	Min.	86.6	651	121	68	625	390	556	1166	954	867
	Mean	106.7	1016	180	118	1042	597	997	2217	1456	1701
	StDev	13.9	211	53	53	356	169	370	822	450	579
	CV(%)	13.0	20	29	45	34	28	37	37	30	34
Total	Max.	147.7	1331	180	283	1651	812	1738	4278	2494	2406
	Min.	27.9	144	29	121	378	305	385	693	360	314
	Mean	84.4	596	85	200	867	510	905	1931	1236	1258
	StDev	24.9	336	41	48	310	143	311	795	506	561
	CV(%)	29.5	56	48	24	35	28	34	41	41	44

**Table 6. Correlation coefficient among dry weight and phosphorus uptake by tomato plant and available phosphorus extracted by different methods.†**

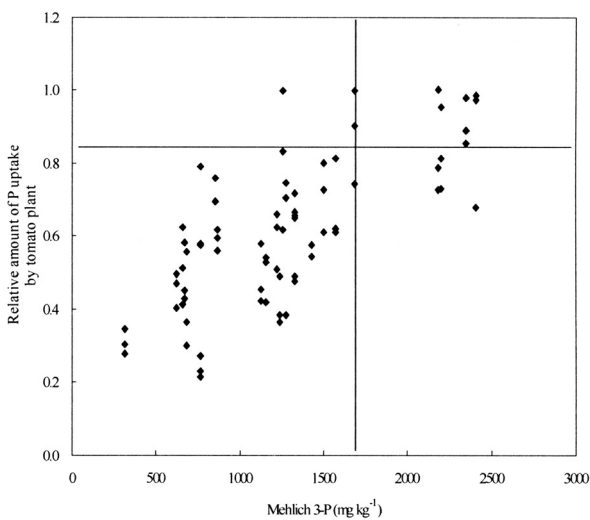
Experiment year	April, 1999 (n=18)		April, 2000 (n=36)		October, 2000 (n=21)		Total (n=75)	
	DW	P uptake	DW	P uptake	DW	P uptake	Rel. DW	Rel. P-uptake
Water extract	0.445	0.493*	0.190	0.571***	-0.245	0.640**	0.121	0.643***
P-sorption	-0.066	-0.176	-0.660***	-0.681***	0.401	-0.488*	-0.376**	-0.582***
Lancaster	0.718***	0.760***	0.382*	0.692***	-0.306	0.622**	0.272*	0.691***
Olsen-P	0.554*	0.659**	0.214	0.526***	-0.255	0.665***	0.178	0.643***
Bray No. 1	0.620**	0.624**	0.403	0.714***	-0.326	0.592**	0.276*	0.647***
Bray No. 2	0.746***	0.606**	0.287	0.607***	-0.272	0.648**	0.248*	0.635***
Mehlich 1	0.837***	0.724***	0.349*	0.647***	-0.216	0.682***	0.361**	0.718***
Mehlich 3	0.784***	0.685**	0.290	0.605***	-0.267	0.650**	0.245*	0.726***

\*, \*\* and \*\*\*, Significant at P<0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

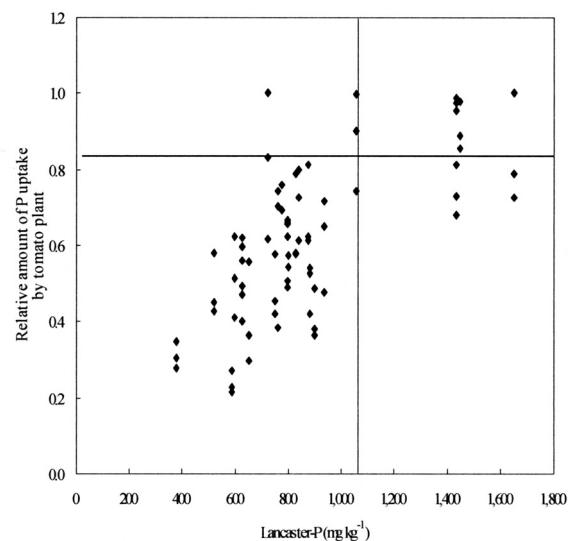
해 볼 때 1999년 4월 시험의 경우는 토마토 식물체에 의한 인 흡수량은 유효인산 검정법들과 상관계수  $r=0.49\sim 0.76$ 으로 Lancaster법이 가장 높은 상관계수를 보였고, 2000년 4월 시험의 경우는 상관계수  $r=0.53\sim 0.71$ 로 Bray No 1법이 그리고 2000년 10월 시험의 경우는 상관계수  $r=0.59\sim 0.68$ 로 Mehlich I 법이 가장 높은 상관계수를 보였다. 그리고 년차별 시험의 토마토 건물중과 인 흡수량을 상대 값으로 종합하여 비교할 경우 상대 인 흡수량은 모든 유효인산 검정법들과 매우 고도로 유의성 ( $p=0.0000001$ 이하)있는 정의 상관관계 ( $r=0.64\sim 0.73$ )를 보였으며 특히 Mehlich I 과 III법이 가장 높은 상관계수를 보였으며 다음으로 Lancaster법의 순이었다. 이와 같이 검토된 침출방법별 유효인산은 Yoon et al. (1977)이 4개 밭 토양에 대하여 대두 수량 및 인 흡수량을 평가한 경우와, Park et al. (1998)이 각각 20개 밭 토양과 논

토양에 대하여 옥수수 및 벼의 인 흡수량을 평가한 경우에서와 같이 동일하게 모두 유의성 있는 상관을 보였으나, 상관계수가 대두는 Olsen-P, 옥수수와 벼는 Lancaster-P가 가장 높았던 결과와는 달리 본 연구에서는 Mehlich-P가 가장 높았다.

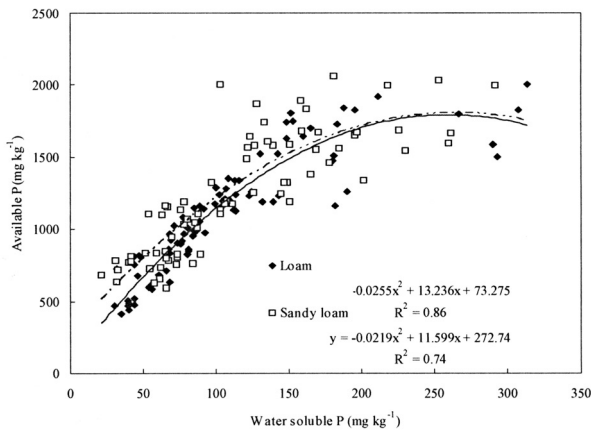
Figure 2는 토마토 식물체의 상대 인 흡수량과 가장 밀접한 관계를 보인 Mehlich III법의 유효인산 함량의 상호관계이다. Cate and Nelson 분할방법으로 무비구 토마토의 상대적인 인 흡수량 최대값에 해당되는 Mehlich III법 유효인산 함량의 한계농도는 약  $1700\text{ mg kg}^{-1}$ 로 추정되었다. 이러한 결과는 Mehlich III법 유효인산 함량이  $1,700\text{ mg kg}^{-1}$  이상일 경우 인산비료를 사용할 필요가 없다는 것을 의미한다. 동일한 방법으로 Lancaster법의 유효인산 한계농도는 약  $1,050\text{ mg kg}^{-1}$ 으로 추정 되었으며 (Fig. 3), 수용성 인산의 한계농도는 약  $95\text{ mg kg}^{-1}$ 으로 추정 평가되었다



**Fig. 2. Relationship between relative amount of P uptake by tomato plant applied with no fertilizer and Mehlich 3-P in soils for all experiments.**



**Fig. 3. Relationship between relative amount of P uptake by tomato plant applied with no fertilizer and Lancaster P in soils for all experiments.**



**Fig. 4. Relationship between relative amount of P uptake by tomato plant applied with no fertilizer and water extractable P in soils for all experiments.**

(Fig. 4). Mallarino (2003)는 59개 옥수수 재배토양에 대하여 ICP를 이용한 Mehlich III-P와 인산비료의 시비수준을 달리한 옥수수 수량반응으로부터 Cate and Nelson 분할법에 의한 유효인산 한계농도를 32 mg kg<sup>-1</sup>로 낮게 제안하였다.

**토양유효인산과 오이 인산흡수량의 상호관계**

Table 7은 무비조건에서 약 65일 동안 재배된 오이 지상부 건물중과 인 흡수량, 그리고 침출방법별 토양의 유효인산 함량 범위를 나타낸 것이다. 오이의 지상부 건물중은 최소 54.1 g에서 최대 104.8 g의 범위였으며 지상부 식물체에 의한 인 흡수량은 145-314 mg plant<sup>-1</sup>의 분포를 보였다. 토마토의 경우와 동일하게 유효인산 검정법은 토양의 인산흡수량 이외에 수용

성, Lancaster, Olsen, Bray No 1 과 No 2, Mehlich I 과 III 등 8가지로 비교하였다. 공시토양의 인산 함량은 Lancaster법으로 1,243-2,000 mg kg<sup>-1</sup>의 범위를 보이는 특성을 나타냈다.

Table 8은 무비구의 오이 지상부 건물중 및 인 흡수량과 침출방법별 유효인산 함량의 상관계수를 나타낸 것이다. 오이 식물체에 의한 인 흡수량은 Olsen법의 유효인산 함량과 가장 높은 상관계수 (r=0.62)를 보였으며 다음으로 수용성 인 (r=0.59) 및 Bray No 2 법 (r=0.51)의 순이었다. 이는 Yoon et al. (1977)이 Olsen-P가 대두의 수량 및 식물체의 인 흡수량과 가장 높은 상관계수를 보였다는 결과와 동일한 경향이 었다. 그러나 이러한 결과는 모든 유효인산 검정법들과 고도로 유의성 있는 상관을 보인 토마토의 경우와 다소 상이한 경향이며 예측할 수 있는 이유로는 공시 토양의 유효인산 함량이 비정상적으로 높았기 때문으로 생각된다.

**적 요**

충북지역 시설재배지로부터 1999년부터 2001년까지 토마토 재배시험에 25개 토양, 오이 재배시험에 8개 토양을 채취하여 작물의 인 흡수량에 대한 유효인산 검정방법들의 효율성이 평가되었다. 또한 이들 공시 토양 이외에 시설재배 토양 38개를 추가한 71개 토양에 대하여 유효인산 침출방법들의 상호관계가 토양의 인흡수량 이외에 수용성, Lancaster, Olsen, Bray No 1 과 No 2, Mehlich I 과 III 등 8가지로 비교 평가되었다. 침출방법별 유효인산의 상호관계에 대한 평가에

**Table 7. Range of dry weight and phosphorus uptake by cucumber plant and available phosphorus in soil extracted by different methods.**

Statistics	Dry weight	P uptake	P sorption	Water extract-P	Lancaster	Olsen	Bray No.1	Bray No.2	Mehlich 1	Mehlich 3
	g plant <sup>-1</sup>	mg plant <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>					
Max.	104.8	314	314	116	2000	834	2186	3897	2760	2916
Min.	54.1	145	145	11	1243	503	1182	2061	1412	1824
Mean	85.7	207	207	56	1656	625	1659	2831	2059	2376
StDev	14.0	65.7	65.7	36.3	291.1	114.5	412.7	697.3	518.2	446.9
CV(%)	16.3	31.8	31.8	65.2	17.6	18.3	24.9	24.6	25.2	18.8

**Table 8. Correlation coefficient among dry weight and phosphorus uptake by cucumber plant and available phosphorus extracted by different methods. †**

Factor	P sorption	Water extraction	Lancaster	Olsen	Bray No. 1	Bray No. 2	Mehlich 1	Mehlich 3
Dry weight	-0.340	0.338	0.198	0.338	0.246	0.286	0.181	0.160
P-uptake	-0.398	0.591**	0.301	0.624**	0.374	0.513*	0.359	0.317

† n=24; \*, \*\* and \*\*\*, Significant at P<0.05 and 0.01, respectively.



서 토양의 인산흡수량은 모든 침출방법의 유효인산 함량과 유의성 있는 부의 상관 ( $-0.57 \sim -0.80$ )을 보였으며 그 이외 유효인산 침출방법들 간에는 고도로 유의성 있는 정의 상관 ( $r=0.81 \sim 0.96$ )을 보였다. 무비구 토마토 식물체에 의한 인 흡수량은 인산흡수량을 제외한 모든 유효인산 침출방법들과 유의성 있는 정의 상관 (1999년 4월 시험,  $r=0.49 \sim 0.76$ ; 2000년 4월 시험,  $r=0.53 \sim 0.71$ ; 2000년 10월 시험,  $r=0.59 \sim 0.68$ )을 보였으며 년차간 시험을 종합한 토마토 인 흡수량의 상대값은 모든 유효인산 검정법들과 매우 고도로 유의성 ( $p < 0.0000001$ ) 있는 정의 상관관계 ( $r=0.64 \sim 0.73$ )를 보였으며 특히 Mehlich I 법과 III 법이 가장 높은 상관계수를 그리고 Lancaster 법이 다음이었다. Cate and Nelson 분할방법으로 무비구 토마토의 상대적인 인 흡수량의 최대값에 해당되는 유효인산의 한계농도는 Mehlich III 법이 약  $1700 \text{ mg kg}^{-1}$ , Lancaster 법이 약  $1,050 \text{ mg kg}^{-1}$ , 그리고 수용성은 약  $95 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 추정되었다. 오이 식물체에 의한 인 흡수량은 Olsen 법이 가장 높은 상관계수 ( $r=0.62$ )를 보였으며 다음으로 수용성 ( $r=0.59$ ) 및 Bray No 2 법 ( $r=0.51$ )의 순이었다.

## 사 사

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

## 인 용 문 헌

- Bray, R.H., and Kurtz, L.T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Cate, R.B.Jr., and L.A. Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two class. *Soil. Sci. Soc. Am.* 35:658-660.
- Hyun, H.N., H.C. Lim, K.C. Eom, and Y.H. Kim. 1999. Comparison of precision for available phosphate measurement between Lancaster and Soiltek<sup>TR</sup> KA-1 spectrophotometric method. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 32:268-273.
- 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, B.G., J.H. Yoon, Y.H. Kim, and S.H. Kim. 2003. Dependence of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> soluble phosphorus upon extractable P and sorptivity in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:384-390.
- Jung, Y.S., S.H. Cho, J.E. Yang, J.J. Kim, and H.S. Lim. 2000. Available phosphorus and electrical conductivity of the saturated extracts of soils from the plastic film houses. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:1-7.
- Kurt Nehring, H.C. 1960. Agrikulturechemische untersuchungs methoden fur dunge-und futtermittel. *Boden und Milch.* 270-273.
- Magdoff, F.R., C. Hryshko, W.E. Jokela, R.P. Durieux, and Y. Bu. 1999. Comparison of phosphorus soil test extractants for plant availability and environmental assessment. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:999-1006.
- Mallarino, A.P., and A.M. Atia. 2005. Correlation of a resin membrane soil phosphorus test with corn yield and routine soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:266-272.
- Mallarino, A.P. 2003. Field calibration for corn of the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively coupled plasma emission spectroscopy determination methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1928-1934.
- Mehlich, A. 1978. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 9:477-492.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of soil and plant analysis. RDA. Suwon, Korea.
- Olsen, S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dept. Agr. Circ.* 939:1-19.
- Park, B.G., J.H. Yoon, and Q.H. Ho. 1998. Comparison of several methods for the determination of available phosphorus in the soils for corn and rice. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 31:1-8.
- 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.
- Ryu, I.S., C.W. Shin, J.H. Yoon, and S.H. Yoo. 1977. A study on composition of inorganic phosphorus forms and comparison of methods of determining available phosphorus in upland soils. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 10:211-217.
- Shin, C.W., I.S. Ryu, and J.H. Yoon. 1980. A study on composition of inorganic phosphorus forms and methods of determining available phosphorus in volcanic ash. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 13:93-97.
- Shin, C.W., J.J. Kim, and J.H. Yoon. 1988a. Studies on the characteristics of phosphorus in the upland soil. 1. Composition of accumulated phosphorus forms and available phosphorus. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 21:21-29.
- Shin, C.W., and J.J. Kim. 1988b. Studies on the characteristics of phosphorus in the upland soil. 2. Relation of soil phosphorus and some soil chemical properties. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 21:195-201.
- Shin, C.W., J.J. Kim, and J.H. Yoon. 1988c. Studies on the characteristics of phosphorus in the upland soil. 3. Yield responses of added phosphorus for soybean in soils with different capacities of phosphorus sorbed. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 21:272-279.
- Truog, E. 1930. The determination of the readily available phosphorus of soils. *J. Am. Soc. Agron.* 22:874-882.
- Yoon, J.H., C.W. Shin, I.S. Ryu, and C.W. Hong. 1977. Comparison of several methods for the evaluation of available soil P in upland soils. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 10:219-224.
- Yoon, J.H. 1983. Parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and fertilizer recommendation. Ph. D. Thesis. Dongguk University, Seoul, Korea.
- Yoon, J.H., B.G. Park, and K.S. Hwang. 1998. Comparison of

color-developing methods for phosphorus analysis in various extractants for soil phosphorus. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 31:114-119.

Zhang, T.Q., A.F. MacKenize, B.C. Liang, and C.F. Drury. 2004.

Soil test phosphorus and phosphorus fractions with long-term phosphorus addition and depletion. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:519-528.