

濟州道 柑橘園 土壤의 磷酸形態 및 吸着에 關한 研究

金 滢 玉

濟州大學 農學部

(1974년 5월 15일 수리)

A Study on the Fixed Forms and Adsorption of Phosphorus in Citrus Orchard Soil Derived from Volcanic Ash

Hyeong-Ok Kim

Faculty of Agriculture, Cheju National University

(Received May 15, 1974)

SUMMARY

A series of experiments was conducted to study the behavior of the phosphorus added to the soils having the high phosphorus fixing capacity derived from volcanic ash in Cheju Island. Soil samples were taken from different depths of 0-10, 10-30, and 30-50cm in six citrus orchards where heavy application of phosphate fertilizer has been practised. Various forms of phosphorus were determined and phosphorus adsorption experiments were performed. The results obtained can be summarized as follows:

1. The content of inorganic phosphorus fractions determined by the method of Chang and Jackson was: water soluble P < Al-P < occluded Fe-P < Fe-P < Ca-P < occluded Al-P. The phosphorus combined with Al (Al-P + occluded Al-P) consisted of the largest portion in the inorganic soil phosphorus, and Ca-P was found to be one of the main components in the soil phosphorus.

2. Difference among the percent phosphorus in the fractions against total inorganic phosphorus along the soil depth was insignificant.

3. Total phosphorus, Bray No. 1-P, and all the inorganic phosphorus fractions decreased with the soil depth. The Bray No. 1-P was highly correlated with water soluble P, total P, and Ca-P.

4. The P absorption coefficient was inversely correlated with the contents of clay, Bray No. 1-P, and total phosphorus, while the coefficient was positively correlated with organic carbon content.

5. The amount of phosphorus adsorbed at the equilibrium concentration at which each 50% of added phosphorus was distributed into both solid phase and liquid phase was calculated using the Freundlich adsorption isotherm equation. The calculated value was used as a parameter to compare the phosphorus fixing capacities among the soils.

6. The magnitude of the parameter was highly correlated with the P absorption coefficient. However, the parameter was more sensitive in showing the difference in the phosphorus fixing capacity than the P absorption coefficient.

緒 論

濟州道の 柑橘園土壤은 大部分 火山灰를 母材로 하고 있는데 火山灰를 母材로 하는 土壤은 그 形態나 性質에서 볼때 一般土壤과는 特異한 點이 많다. 火山灰土의 分布가 넓은 日本이나 New Zealand等地에서는 이에 對한 많은 研究가 이루어져 있으나 우리나라에서의 火山灰土壤에 對한 研究는 거의 없는 實情이다. 우리나라에서는 火山灰土壤이 제주도에만 分布되어 있는데 그 面積은 全面積에 對하여 74.3%나 된다.

火山灰土壤은 一般土壤에 比하여 CEC는 높지만 透水性이 過多하여 鹽基가 溶脫되기 쉬운 反面 磷酸을 吸着固定하는 能力은 大端히 크다. 따라서 火山灰土壤에서는 有效磷酸이 缺乏되기 쉬우며 또한 施用한 磷酸도 無効化되기 쉬우니, 火山灰土壤에서의 磷酸固定은 作物栽培에 있어서 重要한 問題로 되고 있다. 흔히 磷酸施用量의 決定은 磷酸吸收係數를 測定하여 그의 5%에 해당하는 量을 施用하고 있으나, 이에 對한 理論的인 根據가 分明치 않으며, 火山灰土壤의 磷酸吸收係數는 2,000mg. P₂O₅/100g을 上廻하는 경우가 흔한바 이의 5%量은 무려 100kg P₂O₅/10a에 達하는 莫大한 量이 된다.

제주도 火山灰土壤에 對한 肥効試驗成績에 依하면 磷酸의 肥効는 窒素와 對等할 만큼 뚜렷하다. 柑橘栽培者들은 磷酸肥料의 重要性을 어느 程度認識한 나머지 每年 過用함으로써 土壤內에서의 植物養分의 不均衡을 誘發할 憂慮性마저 있는 한편 其他 作物에 對해서는 아직도 磷酸施用이 輕視되고 있으며 제주도가 當面하고 있는 畜産振興事業의 生産基盤인 草地에 對해서는 磷酸施用은 全혀 度外視되고 있어 New Zealand의 草地農業에서 全肥料 施用量의 80%나 되는 磷酸肥料를 重點施肥하고 있는것과는 좋은 對照를 이루고 있다.

筆者는 每年 多量의 磷酸質肥料를 施用하고 있는 柑橘園土壤에 對하여 土深別로 土壤의 各種磷酸含量을 分析 檢討하고 土壤內에서의 磷酸의 集積狀態와 移動狀況을 把握하며 柑橘園土壤에 依한 施用磷酸의 吸着 및 이에 영향을 미치는 因子들을 調査함으로써 제주도 火山灰土壤에 對한 合理的인 磷酸質 肥料의 施用法을 確立시키는데 基礎가 되는 資料를 얻고자 本研究를 遂行하였다.

本研究를 指導鞭撻하여 주신 서울大學校 農科大

學 李春寧博士와 李殷雄博士, 그리고 研究의 機會를 주신 濟州大學 金繼鏞學長, 特히 精誠껏 協力하여 준 柳順昊博士를 비롯한 서울大學校 農科大學土壤學研究室의 關係者여러분께 衷心으로 感謝하여 마지 않는다.

I. 研究史

土壤에 施用되는 磷酸은 作物의 種類에 따라 多少의 差異는 있으나 5~20%⁽⁴⁰⁾가 利用될 剩餘餘의 磷酸은 土壤에서 固定되어 不溶化한다.

土壤의 無機磷酸은 大體로 Al-P, Fe-P, Ca-P 및 Occluded P의 4種으로 分類된다⁽⁶⁾. 土壤에 加해진 磷酸이 어떤 形態의 磷酸으로 되느냐 하는 것은 土壤의 條件과 時間에 따라 다르다.

Chang and Jackson⁽⁶⁾은 土壤의 化學的 風化作用으로 생기는 可溶性 Ca-P는 Al-P를 거쳐 溶解度가 더욱 낮은 Fe-P로 되고 이는 다시 最終的으로 Occluded-P로 된다고 하였으며, Chang and Chu⁽⁵⁾은 土壤에 加한 水溶性 磷酸은 初期에 주로 Al-P로 固定이 되고 나머지는 Fe-P Ca-P의 順으로 固定이 되지만 時間이 經過함에 따라 Al-P과 Ca-P는 減少하고 대신 Fe-P가 增加하며 한편 石灰의 施用은 磷酸의 形態別 含量을 變化시키지 않는 다고 하였다. 그러나 다른 研究者의 報文^{(33) (34) (35) (36) (39)}을 綜合해 볼때 石灰施用으로 因한 磷酸의 形態別 含量의 變化는 施用되는 磷酸化合物의 種類와 그 量에 따라 달라지는 것 같으며 施用磷酸의 蓄積形態 및 그 量은 水分과 溫度의 影響을 받는 것 같다^{(38) (46) (47)}.

土壤의 化學的 風化作用으로 Ca-P가 溶解되거나 或은 可溶性磷酸이 土壤에 加하여 지면 可溶性磷酸은 Al-P 또는 Fe-P로 沈澱되며^{(4) (22) (16) (53) (58)} 沈澱이 形成된 初期에는 粒徑이 작아서 比表面이 크기 때문에 Colloid형의 것은 쉽게 作物에 利用이 되지만 酸性土壤에서는 時間이 經過됨에 따라 結晶性的인 Strengite (Ferric dihydroxyl dihydrogen phosphate), Variscite (aluminum dihydroxyl dihydrogen phosphate)등으로 되므로 植物에 對한 有効度는 減少한다^{(2) (55)}.

Hsu⁽²¹⁾는 實驗을 통하여 pH 7에서는 磷酸이 Strengite 或은 Variscite으로 沈澱되는 것이 아니라 非晶質의 Al 또는 Fe의 加水酸化物에 吸着되는 것으로 結論지었으며 Syers等⁽⁵⁶⁾은 磷酸吸着力이 강한 Brazil의 土壤에 依한 磷酸吸着은 Fe 보다는

Al과의 相關이 높다고 하였고 加藤⁽²⁸⁾는 腐植含量이 높은 土壤으로부터 Al을 除去할 때 磷酸吸收係數는 몹시 低下된다고 하였다.

Cho and Caldwell⁽⁶⁾은 Alkali 土壤에는 Ca-P가 많은 反面 酸性土壤에는 Fe-P와 Al-P가 많으며 pH 7 근방에서는 위 三種의 磷酸形態는 거의 均等히 分布되고, 磷酸固定能力은 pH 7에서 멀어질수록 增加된다고 하였다.

磷酸의 固定은 粘土鑛物과의 反應^{(12) (17) (18) (34) (37)}, 可溶性 및 置換性 Al, Fe, Ca과의 反應^{(4) (9) (11) (16)}으로 일어나며 土壤의 pH 自體가 施用磷酸의 溶解度를 減少시켜 土壤磷酸을 不溶化하기도 한다.^{(17) (20) (34) (44)}.

土壤에 依한 磷酸의 固定은 數時間 때로는 數分內에 急速히 平衡에 이르는 反應과 徐徐히 平衡에 이르는 反應의 二段階로 일어난다⁽²²⁾.

Hsu⁽²²⁾는 土壤에서의 磷酸固定은 吸着을 거쳐 沈澱되는 一種의 動的 過程이며 「土壤과 磷酸과의 反應은 反應의 不可逆性, 顯著한 溫度 效果, 다른 陰 ion에 比하여 土壤에 吸着되는 量이 特異하게 많은 點으로 보아서 物理的 吸着이라기 보다는 化學的 吸着에 依하는 것」이라 하였다. 그의 磷酸 吸着機構 說明에 依하면 第一段階의 迅速한 固定反應은 溶液속의 磷酸과 元來 土壤에 存在하던 活性 Al, Fe과의 사이에 일어난 反應이며 第二段階의 反應은 土壤粒子 表面에 있던 活性 Al (또는 Fe)이 磷酸과 反應하여 不溶性의 磷酸 Al (또는 Fe-P)을 形成하면서 떨어져 나옴으로서 새로히 形成되는 活性 Al (또는 Fe)과의 사이에 일어난 反應으로서 이 第二次段階의 反應에 依하여 磷酸固定量은 徐徐히 增加하게 된다.

火山灰 土壤은 여러가지 點에서 일반 土壤과 그 性質을 달리하지만 가장 重要한 차이는 火山灰 土壤의 粘土鑛物은 非晶質의 Allophane으로서 磷酸에 對한 吸着力이 大端히 強한데 있다. 火山灰 土壤의 磷酸吸收係數는 一般土壤의 것보다 2~2.5倍⁽⁴⁰⁾⁽⁵⁷⁾나 되며 一般土壤의 磷酸吸收係數는 粒徑이 작을수록 증가하지만⁽⁴⁹⁾ 火山灰土壤에는 이런 경향을 볼 수 없다.⁽⁵⁷⁾ 火山灰土壤은 有機物含量이 높지만 H₂O₂로 處理하여 有機物을 破壞시켜도 磷酸吸收係數는 別로 變하지 않는다.

宮內와 中野⁽⁴³⁾는 火山灰土壤의 磷酸吸着母體에 對한 推定實驗을 行하고 遊離鐵 및 Al이 火山灰土壤의 磷酸 吸着에 기여하는 바가 크다고 주장하였다.

Hong and Yamane⁽¹⁹⁾는 形態別 各種 磷酸含量들 사이에는 相關성이 적지만, 그들 磷酸의 含量은 土壤의 化學的 性質과 相關이 있는 듯하며, 火山灰土壤에는 Al-P와 有機態磷酸含量이 가장 많으나, 鑛質土壤에는 Al-P와 Fe-P가 가장 많다고 하였다.

岡本와 佐伯⁽⁴⁹⁾에 依하면 土壤磷酸의 形態別 分布와 磷酸吸着間에는 相關성이 없지만 土壤에 加한 磷酸의 蓄積形態 및 吸着되는 量은 土壤에 따라 다르다.

東海와 桶口⁽⁵⁹⁾는 沖積土壤에서는 加한 磷酸의 34~44%가 Al-P, 約 20%가 Fe-P, 19~34%가 Ca-P型으로 各各 蓄積되는데 反하여 火山灰土壤에서는 加한 磷酸의 75~80%가 Al-P, 11~16%가 Fe-P, 5~12%가 Ca-P의 型으로 各各 蓄積된다고 하였으며 Appelt and Schalscha⁽¹⁾도 Chile의 火山灰土壤에 關한 研究에서 加한 인산의 大部分은 初期에 Al-P로 存在하나 時間이 경과 함에 따라 Fe-P로 移行된다고 報告하였다.

Dahnke等⁽¹³⁾은 El Salvador의 火山灰土壤에서 全磷酸含量은 生成年代가 오래된 土壤일수록 낮고 同一土壤에서는 그 含量은 깊이에 따라 減少하여 磷酸形態別로 보면 오래된 土壤에는 Occluded-P가 많으나 生成年代가 짧은 土壤에서 가장 많은 磷酸形態는 Ca-P라고 하였다.

Juo and Ellis⁽²⁷⁾는 Michigan 土壤의 土性別, 土深別 各種 磷酸含量에 關한 研究에서 表層의 Al-P, Fe-P와 Ca-P는 粘土部分에 가장 많으나 下層土의 Ca-P는 Silt>clay>Sand의 順으로 많고 全無機磷酸에 對한 無機磷酸의 含存比에 있어서는 土深과 함께 Ca-P의 含存比는 증가하는데 反하여 Al-P와 Fe-P의 含存比는 減少한다고 報告하였다.

土壤에 固定되는 量은 吸着表面의 性質 또는 그 量에 依存될 뿐 아니라 또한 加한 磷酸의 濃도에 따라서도 달라진다.

比較的 높은 吸着熱을 수반하는 化學的 吸着은 Langmuir等溫式에 잘 맞으며 낮은 吸着熱을 수반하는 物理的 吸着은 Freundlich等溫式으로 흔히 記述된다. 그러나 Fischer⁽¹⁵⁾가 지적한 바와 같이 Freundlich 等溫式은 吸着現象에 對한 歸納的 實驗式이기 때문에 이식과 잘 一致한다고 그 吸着現象을 物理的 吸着이라고 斷定할 수는 없다.

磷酸의 濃도에 依한 영향은 Freundlich 等溫吸着式에 依하거나^{(14) (31) (33) (37) (40) (54) (60)} 또는 Langmuir 等溫吸着式에 依하여 記述된다^{(2) (23) (24) (50) (60)}

(61).

Langmuir等溫吸着式은 낮은 濃度에서의 吸着現象에 適用되지만 Olsen⁽⁵⁰⁾ 등은 土壤과 施用磷酸사이의 反應을 單分子層 吸着으로 假定하고 Langmuir 等溫吸着式을 利用하여 土壤에 依한 磷酸의 最大吸着量을 計算하였다.

Freundlich 等溫吸着式은 實驗式이긴 하나 넓은 濃度範圍의 吸着 現象에 適用되는 長點 때문에 土壤間의 磷酸 吸着量을 比較하는 데 자주 利用된다.

Motomura⁽⁴⁰⁾에 依하면 火山灰土壤에서는 磷酸의 吸着은 Freundlich式을 따른다. 宮內와 中野⁽⁴⁸⁾에 依하면 火山灰 土壤은 500m M의 磷酸 濃度에서도 飽和 吸着量에 未達하지만 Freundlich式을 따라 磷酸이 吸着되는 한편 脫鐵處理를 한 試料는 平衡濃度 100m M 程度에서 飽和吸着量에 達하는 Langmuir式을 따라 吸着된다고 한다.

제주도 土壤의 磷酸에 관한 研究는 三須^(41,42)에 依한 것이 最初의 것으로서 그에 依하면 제주도 토양의 磷酸吸收係數(mg P₂O₅/100g)는 黃褐色 土壤에서 가장 낮고(作土 354 心土 364), 黑褐色 土壤에서 가장 높으며(作土 2983 心土 2929) 暗褐色 土壤의 것(作土 2054 心土 1832)은 中間이다.

0.2N HCl 可溶磷酸 含量은 作土와 心土를 平均해서 보면 黃褐色, 暗褐色, 黑褐色의 것이 各各 0.0497, 0.0417, 0.0179%로서 磷酸吸收係數가 높

을 수록 0.2N HCl 可溶磷酸含量이 낮다. 그러나 제주도 土壤에서 有效 磷酸含量은 腐植含量과 相關性이 적은 것 같다⁽¹⁰⁾.

II. 材料 및 方法

1. 供試土壤

栽培年數를 달리하는 六個處의 柑橘園에서 50cm 깊이까지의 土壤을 10 또는 20cm 間격으로 採取하고 風乾시켜 2mm체를 通過시켜 試料로 使用하였다.

試料를 採取한 位置는 다음표 1과 같으며 試料 土壤의 理化學的 性質은 表2와 3에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Location of citrus orchard where soil samplas were taken

Soil	Location	Age of citrus tree
1	Sanghyori, Seogwiup	8 years
2	Odongri, Chejusi	8
3	Namwonri, Namwonmyon	60
4	Chungmunri, Chungmunmyon	30
5	Seogwiri, Seogwiup	30
6	Seohongri, Seogwiup	60

Table 2. Particle-size distribution and color of soils

Soil	Depth (cm)	Sand	Silt	Clay	Texture	Color*	
		2.00-0.05mm	mm 0.05-0.002	<0.002mm		Dry	Wet
		%					
1	0-10	29.3	46.8	23.9	L	Dark Grayish Brown (10YR4/2)	Very Dark Brown (10YR 2/2)
	10-30	25.5	49.9	24.5	L	Dark Brown (10YR 3/3)	Very Dark Gray (10YR 3/1)
	30-50	19.1	60.2	20.7	SIL	Dark Grayish Brown (10YR 4/2)	Vary Dark Gray (10YR 3/1)
2	0-10	8.1	63.6	28.3	SICL	Brown to Dark Brown (10YR 4/3)	Dark Brown (10YR 3/3)
	10-30	6.1	63.5	30.4	SICL	Yellowish Brown (10YR 5/6)	Dark Brown (10YR 3/3)
	30-50	6.9	64.8	28.3	SICL	Brown to Dark Brown (10YR 4/3)	Dark Brown (10YR 3/3)
3	0-10	12.2	48.7	39.4	SICL	Brown to Dark Brown (10YR 4/3)	Very Dark Brown (10YR 2/2)
	10-30	10.9	52.3	36.8	SICL	Dark Yellowish Brown (10YR 4/4)	Dark Brown (10YR 3/3)
	30-50	9.0	55.3	35.7	SICL	Brown to Dark Brown (10YR 4/3)	Very Dark Brown (10YR 2/2)

4	0-10	17.5	60.9	21.6	SICL	Brown to Dark Brown (10YR 4/3)	Very Dark Brown (10YR 2/2)
	10-30	15.0	73.1	11.9	SICL	Yellowish Brown (10YR 5/6)	Very Dark Grayish Brown (10Y 3/2)
	30-50	15.4	64.5	20.1	SICL	Dark Grayish Brown	(10YR 4/3)
5	0-10	36.3	44.4	19.3	L	Dark Grayish Brown (2.5Y 4/2)	Very Dark Grayish Brown (2.5Y 3/2)
	10-30	39.4	44.4	16.2	L	Olive Brown (2.5Y 4/4)	Very Dark Grayish Brown (2.5Y 3/2)
	30-50	51.7	38.8	9.1S	L	Light Olive Brown (2.5Y 5/4)	Very Dark Grayish Brown (2.5Y 3/2)
6	0-10	14.0	64.0	22.0	SIL	Dark Grayish Brown (2.5Y 4/2)	Very Dark Grayish Brown (2.5Y 3/2)
	10-30	12.7	66.9	20.4	SIL	Olive Brown (2.5Y 4/4)	Very Dark Grayish Brown (2.5Y 3/2)
	30-50	18.8	66.7	74.5	SIL	Olive Brown (2.5Y 4/4)	Dark Brown (10YR 3/2)

* By Munsell color chart

Table 3. Chemical Properties of Soils

Soil	Depth (cm)	pH (1:2.5)		Organic C (%)	Total N (%)	C/N	CEC (me/ 100g)	Exchangeable Base (me/100g)				Base Satur- ation (%)	Active Fe (%)	Exch. Al (ppm)
		H ₂ O	KCl					Ca	Mg	K	Na			
1	0-10	5.8	4.2	7.32	0.50	14.6	35.9	6.50	0.51	0.37	0.20	21.1	4.8	25
	10-20	5.5	4.8	7.69	0.51	15.1	37.7	1.35	0.25	0.33	0.14	5.4	4.8	95
	30-50	5.5	4.6	6.76	0.35	19.3	40.3	0.88	0.14	0.22	0.11	3.3	4.8	63
2	0-10	6.8	5.1	2.53	0.27	9.4	26.1	11.00	6.75	0.80	0.22	71.9	4.4	3
	10-20	5.5	4.3	2.25	0.23	9.8	21.0	2.25	1.85	0.49	0.13	25.8	4.3	103
	35-50	5.2	4.2	2.46	0.23	10.7	22.6	0.82	0.48	0.63	0.16	9.2	4.5	188
3	0-10	6.5	5.5	3.96	0.40	9.9	31.7	13.25	5.00	2.20	0.31	65.4	6.4	3
	10-30	6.3	5.1	3.69	0.39	10.0	32.0	8.30	2.45	1.80	0.18	39.7	4.8	4
	30-50	6.4	5.2	1.64	0.18	9.1	23.0	6.00	1.80	1.60	0.19	41.7	5.5	4
4	0-10	6.6	5.3	3.87	0.42	9.2	41.0	16.25	2.36	2.55	0.50	52.8	4.3	5
	10-30	7.0	6.0	3.63	0.41	8.9	36.2	19.20	1.50	2.45	0.49	65.3	4.5	3
	30-50	6.8	5.7	3.60	0.42	8.6	33.8	15.25	1.00	1.60	0.20	53.4	4.2	3
5	0-10	7.1	6.3	3.72	0.41	9.1	38.1	22.00	3.45	3.00	0.39	75.7	4.4	3
	20-30	6.7	5.8	3.09	0.36	8.6	37.2	16.00	2.45	3.00	0.31	58.4	4.4	3
	30-50	6.0	5.3	2.55	0.26	9.8	31.5	6.75	1.10	1.50	0.30	30.6	4.4	3
6	0-10	5.7	4.8	6.15	0.67	8.9	41.8	8.50	2.05	1.34	0.47	29.0	4.6	13
	10-20	5.5	4.6	5.28	0.60	8.8	39.4	4.00	0.95	1.10	0.42	16.4	4.3	35
	30-50	5.3	4.5	3.92	0.46	8.5	28.3	1.65	0.34	0.59	0.15	9.6	4.4	105

供試土壤의 理化學의 性質에 對한 分析方法을 記述하면 다음과 같다.

土壤의 pH는 土壤:水 및 土壤:1N KCl 1:2.5로 하여 硝子電極으로 測定하였다.

全窒素는 0.5mm 체를 通過시킨 土壤 1g에 濃 H₂SO₄ 4ml와 K₂SO₄-CuSO₄ 5H₂O-Se 混合촉매 1.1g을 加하여 分解 蒸溜하는 Semimicrokjeldahl法⁽⁸⁾

에 依하여 定量하였다.

有機炭素 亦是 0.5mm 체를 通過시킨 試料 0.25~0.5g을 使用하여 Walkely-Black法⁽⁹⁾으로 定量하였으며 1N K₂Cr₂O₇을 0.5N FeSO₄로 滴定할 때 o-phenanthroline을 指示藥으로 하였다.

粒徑分析은 Calgon을 分散劑로 하여 常法인 pipette法에 依하여 Sand (2~0.05mm) Silt (0.05

~0.002mm) Clay(0.002mm)로 分離 定量하였다.

陽 ion 置換容量은 1N Ammonium acetate (pH 7.0)法⁽⁸⁾에 依하였으리 이때 Ammonium ion에 依하여 置換浸出된 陽 ion을 定量하였다.

活性鐵과 置換性 Al의 定量은 農業技術研究所 土壤化學分析法⁽⁴⁸⁾에 準하였다.

2. 實驗方法

全磷酸은 0.5mm체를 通過시킨 土壤 2g에 60% HClO₄ 30ml를 加하여 分解⁽⁷⁾시켜 Vanadate發色法으로 比色 定量⁽²⁵⁾하였으며 有效磷酸은 Bray第一溶液⁽²⁵⁾으로 浸出 (2.85g : 20ml) 定量하였다.

無機磷酸의 分別定量은 Chang and Jackson法⁽⁶⁾에 準하여 40 mesh체를 通過한 試料 5g을 50ml Polyethylene管에 取하여 浸出液 30ml를 加하여 浸出하였다. Occluded Fe-P의 定量에 있어서는 事前處理過程에서 加한 dithionite과 citrate를 30% H₂O₂로 酸化處理하는 대신 KMnO₄ 溶液으로 處理하는 變法⁽⁵²⁾을 使用하였다. Al-P, Fe-P와 Occluded Fe-P의 浸出定量時 나타나는 暗赤褐色은 活性炭 2g을 加하여 除去한후 磷酸을 發色定量하였다.

磷酸吸收係數⁽³²⁾은 25g의 土壤에 2.5% (NH₄)₂HPO₄ (pH 7.0)溶液 50ml를 加하여 24時間 放置後 濾過한 液을 Vanadate法으로 發色시켜 濾液中の 磷酸濃度를 定量하고 添加磷酸의 溶液과의 濃度差로부터 計算에 依하여 求하였다.

磷酸吸着實驗에는 0.5mm 체를 通過시킨 土壤試料과 KH₂PO₄溶液을 使用하였다. 全實驗을 通하여 液溫을 16°±2°C로 維持하였다.

土壤 2g을 100ml容 三角 Flask에 넣고 濃度를 달리하는 KH₂PO₄溶液 50ml를 加하여 攪拌 진탕기에서 진탕하여 吸着 平衡에 達하게 한 다음 酸洗 濾紙로 濾過한液의 磷酸濃度를 Murphy & Riley法⁽⁴⁵⁾으로 比色 定量하고 添加 磷酸液濃도와 平衡 磷酸濃度の 差로부터 吸着된 磷酸의 量을 求하였다. 添加磷酸의 濃度は 20ppm에서 200ppm까지 5단계의 濃度로 하였다. 振盪時間은 二時間이던 거의 磷酸吸着이 平衡에 達함으로 全實驗을 通하여 振盪은 二時間 均一하게 하였다.

III. 結果 및 考察

1. 土壤磷酸의 形態別 含量

供試土壤에 對한 土壤磷酸의 形態別 分析 結果

는 表 4와 같다.

全磷酸의 含量은 表土(0-10cm)에 있어서 0.16%서 부터 0.83%까지 그리고 心土(10-50cm)에 있어서 0.07%에서 부터 0.57%까지 넓은 범위에 걸쳐서 變하며 土壤 1(上孝土壤)을 除하고는 下層으로 내려갈수록 顯著하게 減少하여 心土에서 的全磷酸含量은 表土의 것의 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 에 不過하다.

Bray 第一 浸出液으로 浸出定量되는 有效磷酸 含量 역시 全磷酸 含量처럼 表土에 가장 많고 土深이 깊어짐에 따라서 減少하나 減少傾向은 全磷酸의 것 보다 더욱 顯著하다. 表土의 有效磷酸 含量은 土壤 1(上孝土壤)을 除하고는 最低 22.8 ppm, [土壤 3(南元土壤)]에서 부터 그의 14倍인 324ppm [土壤 5(西歸土壤)]까지이다. 土壤 1의 全磷酸과 有效磷酸 含量은 土深間 差異가 없다. 한편 土壤 5의 有效磷酸含量은 土深이 깊을수록 그 含量이 낮지만 모두 20ppm以上이며, 土壤 4에서는 0-10cm와 10-30cm의 有效磷酸이 各各 47.0과 44.6 ppm으로 Bray 第一法으로 決定하는 適正 下限濃度 20ppm을 넘고 있어서 이들 土壤에서는 表層에 施用한 磷酸이 下方 移動되었음을 意味한다.

無機磷酸의 形態別含量은 全體의으로 볼 때 Water SolubleP < Al-P < Occluded Fe-P < Fe-P < Ca-P < Occluded Al-P 順이며 Al과 結合되어 있는 磷酸(Al-P + Occluded Al-P)이 가장 많다. Ca-P와 總磷酸鐵(Fe-P + Occluded Fe-P)를 比較하여 보면 總磷酸鐵이 Ca-P 보다 많았지만 土壤 2의 表土와 土壤 5의 表土 및 心土上部에서는 오히려 Ca-P가 總磷酸鐵 보다 많았는데 이는 有效磷酸含量, 土壤 pH, 鹽基飽和度の 分析結果를 볼 때 많은 量의 磷酸 및 石灰의 施用에 依한 것으로 推定된다.

土深別로 어떤 特殊한 形態의 磷酸이 集積되는 지의 與否를 보기 위하여, 全無機磷酸에 對한 各種無機磷酸의 含存比

$$[Al-P의 含量比(\%)] = \frac{Al-P}{全無機磷酸} \times 100$$

를 求하고 이를 그림 1~6에 나타내었다.

土壤 4, 土壤 5 兩土壤에서는 Occluded Al-P의 含量比가 表土에서 높고 心土로 내려가면서 減少하는 傾向을 보이지만 全體의으로는 有意差가 없어 土深別로 어떤 特殊한 磷酸形態의 集積狀態가 認定되지 않았다.

各無機磷酸의 形態別 含量과 粘土含量 그리고 化學的性質과의 相關性을 檢定한 結果 이들 間에는 아무런 相關이 없었다. 한편 Al-P와 Occluded

Table 4. Amount of water-soluble, aluminium-, iron-, calcium-, occluded iron-, occluded aluminium-, available- and total phosphorus in soils.

Soil	Depth (cm)	P Fraction (ppm)							Total P (%)	Available P (ppm)
		water soluble [*] P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occluded		Sum		
						Al-P	Fe-P			
1	0-10	1.0	12.5	25.5	46.4	54.4	71.9	211.7	0.16	1.8
	10-30	1.4	2.3	27.3	50.4	141.9	36.2	259.5	0.13	1.1
	30-50	1.2	1.1	12.7	15.3	61.3	15.8	107.4	0.15	1.4
2	0-10	13.3	49.0	161.0	367.9	566.4	102.0	1,259.6	0.37	72.8
	10-30	1.3	92.3	68.7	127.9	218.9	65.1	574.2	0.17	15.2
	30-50	0.8	18.2	27.3	19.8	190.2	39.6	259.9	0.12	3.0
3	0-10	1.0	169.7	219.9	272.0	220.3	84.9	967.8	0.18	22.8
	10-30	1.0	30.8	32.8	11.3	120.8	35.1	231.8	0.12	6.4
	30-50	0.9	3.4	7.9	5.6	24.2	10.2	52.2	0.07	0.8
4	0-10	14.9	76.4	285.4	282.4	686.4	280.2	1,626.1	0.61	47.0
	10-30	4.1	455.6	258.2	356.6	596.0	220.8	1,891.3	0.47	44.6
	30-50	1.2	317.9	273.3	249.2	340.0	240.6	1,422.2	0.36	14.4
5	0-10	54.3	244.8	115.5	639.8	2,082.8	234.9	3,372.1	0.83	324.0
	10-30	8.3	158.4	297.6	560.0	1,079.2	123.4	226.9	0.57	96.0
	30-50	2.4	134.4	346.2	186.8	588.8	169.8	1,428.4	0.23	24.5
6	0-10	2.1	116.2	161.0	276.2	1,396.0	206.7	2,158.2	0.58	54.8
	10-30	1.4	125.0	346.2	68.5	1,041.6	178.2	1,760.9	0.36	8.5
	30-50	1.4	14.8	10.3	35.6	550.9	28.3	791.3	0.20	2.0

* NH₄ Cl-extractable P is termed as water soluble P after Chang and Jackson ⁽⁶⁾

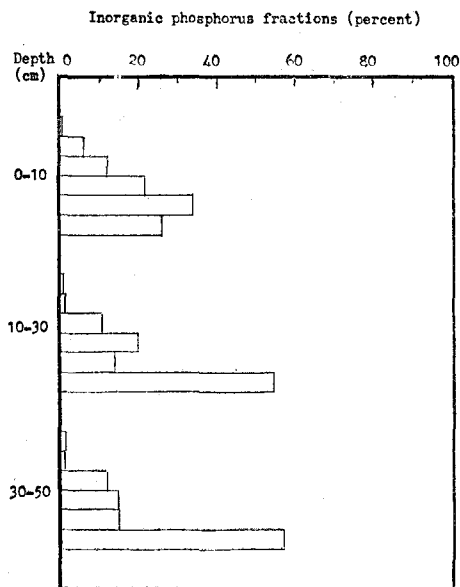


Fig. 1 The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Sanghyo soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P and occluded Al-P.

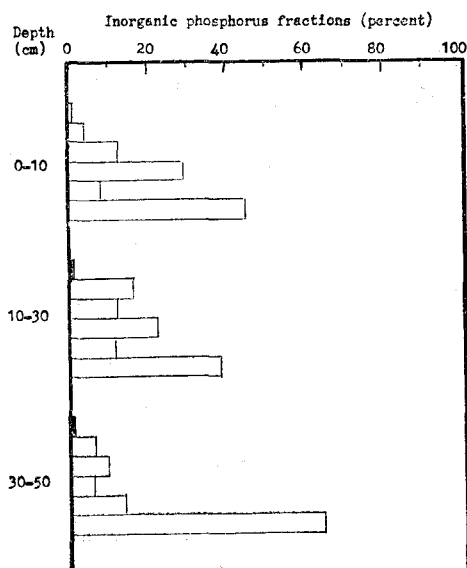


Fig. 2. The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Cheju soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P.

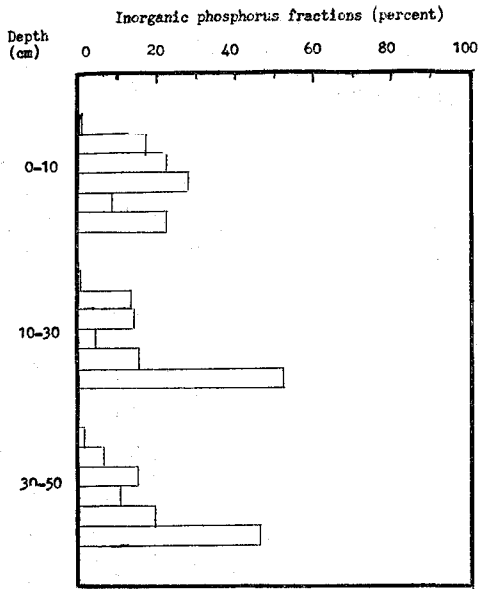


Fig. 3. The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Namwon soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P.

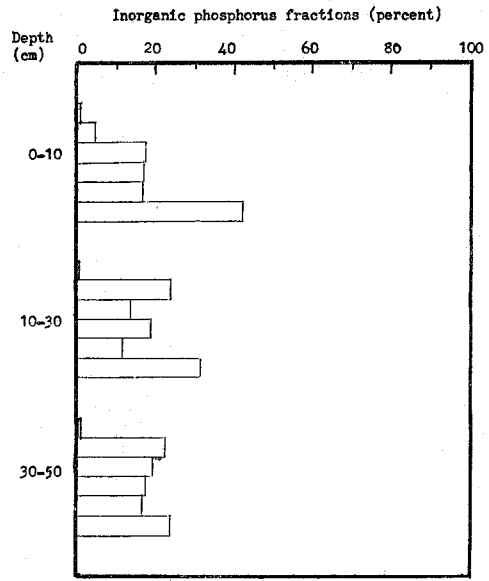


Fig. 4. The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Chungmun soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P.

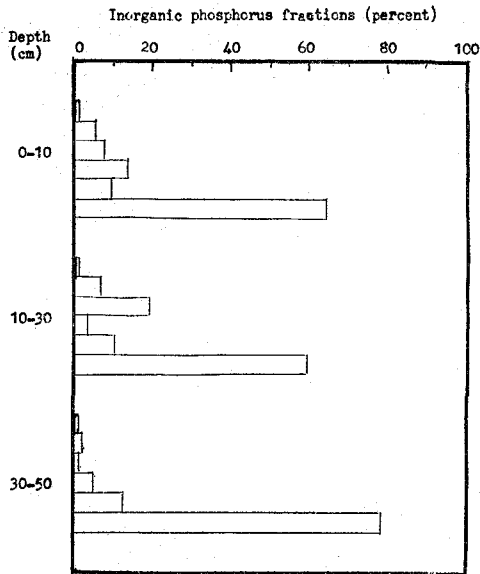


Fig. 5. The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Seogwi soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P.

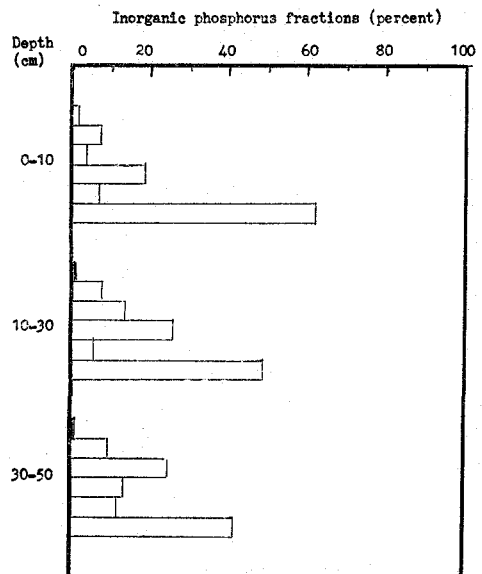


Fig. 6. The percent water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P of total inorganic phosphorus in the Seohong soil. The percentages (plotted from top to bottom) are in the order: Water soluble P, Al-P, Fe-P, Ca-P, occluded Fe-P, and occluded Al-P.

Al-P 그리고 Fe-P와 Occluded Al-P 間에 있어서도 有意相關은 없었으나 相關係數는 前者 보다 높았다.

Non occluded P에서는 Fe-P가 Fe-P 보다 含量이 적지만 Occluded 態의 境遇 Al-P는 Occluded Fe-P 보다 2.3倍나 많았다.

金⁽²⁰⁾은 韓國土壤의 磷酸은 主로 磷酸鐵礬土의 形態로 存在할 것이라고 하였으며, 吳와 辛⁽⁵¹⁾은 韓國畚土壤에 가장 많은 磷酸은 Fe-P이며 가장 적은 것은 Ca-P와 Al-P라고 하였는 바 濟州道柑橘園土壤에서는 이와는 달리 Al과 結合된 磷酸이 가장 많고 다음으로 Ca-P가 많다는 點이 特異하다. 有效磷酸에 對한 全磷酸, 水溶性 磷酸, Al-P, Fe-P 및 Ca-P 含量과의 相關性을 各各 檢定한 結果는 表 5와 같다.

Table 5. Correlation coefficients for relationships between available P and total-, water soluble-, aluminium-, or calcium P.

P fraction	Total P	Water-Soluble P	Al-P	Fe-P	Ca-P
r(n=18)	** 0.83	** 0.96	0.37	0.14	** 0.81

** significant at 1% level.

有效磷酸과 有意相關을 보인 것은 全磷酸, 水溶性 磷酸, Ca-P이며, Al-P 및 Fe-P는 有意相關이 없었다. 이와 같이 有效磷酸과 關係가 깊은 Ca-P가 많은 것은 火山灰土壤에서 磷酸施用의 重要性을 認識한 나머지 每年石灰와 磷酸質肥料를 多量 投與한 結果라 생각된다.

2. 土壤에 施用한 磷酸의 吸着

(1) 磷酸의 施用濃度가 吸着에 미치는 影響

土壤 5를 使用하여 添加磷酸의 濃度가 吸着에 미치는 影響을 본 結果는 그림 7(참조 Appendix 1)과 같다.

그림 7을 보면 磷酸의 吸着量에 미치는 添加溶液의 濃度가 현저하며 土壤에 關係없이 初期濃度 150ppm까지는 거의 直線의으로 吸着量이 增加하고 있으며 表土(0~10cm) 및 心土上部(10~30cm)의 境遇磷酸吸着은 初期濃度 150ppm에서 飽和量에 達하고 있으나 心土下部(30~50cm)에서는 150 ppm 以上の 濃度에서도 飽和되지 않고 있다.

土壤 5의 理化學의 性質(表 2,3,4)에서 土深間에 뚜렷한 差異가 있는 것은 有效磷酸含量과 粘

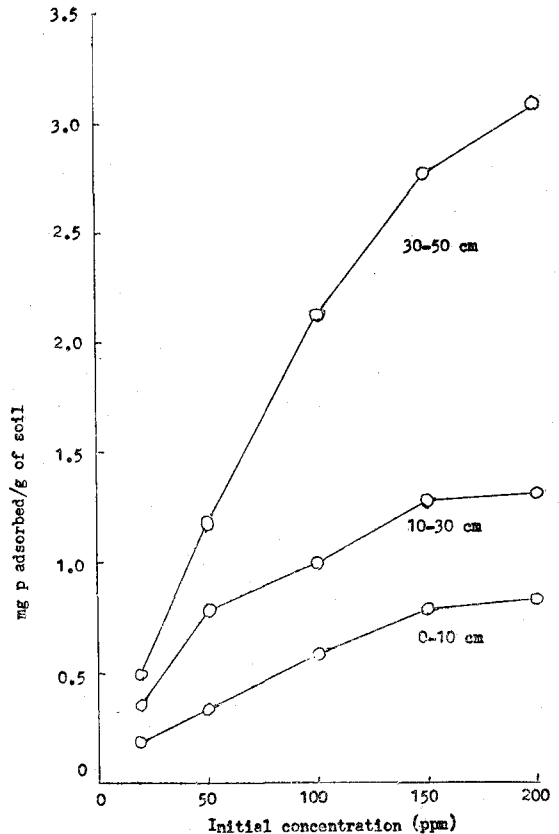


Fig.7 Phosphorus adsorption by Seogwi soil.

土含量이다. 心土下部에서는 粘土含量이 오히려 낮음에도 多量의 磷酸을 吸着하는 것은 非火山灰土壤과는 다른 點이다. 瀧嶋와 佐久(57)는 非火山灰土壤에서는 粒徑이 작을수록 磷酸吸着力이 增加하지만 火山灰土壤에서는 各粒徑間에 磷酸吸着力의 差異를 거의 認定할 수 없다고 하였다. 따라서 이 土壤은 有效磷酸含量이 낮기 때문에 많은 量의 磷酸을 吸着한 것으로 보인다.

(2) 磷酸吸着과 等溫吸着方程式

土壤에서의 磷酸吸着 現象은 Langmuir 吸着方程式 또는 Freundlich 吸着方程式에 依하여 記述된다.

Freundlich 式은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{x}{m} = KC^{\frac{1}{n}} \quad \dots\dots(1)$$

式 (1)에서 K와 n은 常數, C는 吸着平衡時의 溶液의 磷酸濃度 m은 供試土壤의 무게, x는 供試土

壤에 흡착된 인산의 양이다. 식 (1)에서 양변의
 로그를 취하면 식 (2)가 된다.

$$\log \frac{x}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C \quad \dots\dots(2)$$

土壤中에서 인산흡착이 Freundlich 式을 따라서
 일어난다면 graph의 縱軸에 인산흡착량의 로그
 $\log \frac{x}{m}$, 橫軸에 平衡濃度の 로그值 $\log C$ 를 취할
 때 實測結果는 直線에 놓여야 한다.

한편 Langmuir 式은 다음 식 (3)으로 주어진다.

$$\frac{C}{\left(\frac{x}{m}\right)} = \frac{a}{\left(\frac{x}{m}\right)} + \frac{C}{\left(\frac{x}{m}\right)_m} \quad \dots\dots(3)$$

式 (3)에서 a 는 常數, c , x , 및 m 은 Freundlich
 式에서 定義한 바와 같고, $\left(\frac{x}{m}\right)_m$ 은 單分子層으로
 흡착이 일어날 때의 飽和吸着量이다. 土壤에서
 인산흡착이 Langmuir 式에 의하여 記述된다
 면 graph의 縱軸에 $\frac{c}{\left(\frac{x}{m}\right)}$, 橫軸에 c 를 취할 때
 實測結果는 直線에 놓여야 한다.

本 研究에서의 인산흡착實驗 結果는 Freundlich
 式과 잘 一致하였으므로 各土壤에 對한 實驗結果
 를 Freundlich 式을 利用하여 整理하였다.

그림 8~13은 各 平衡濃度에서의 인산의 흡

를 Freundlich 式에 의하여 plot(참조 Appendix
 2) 한 것이다. 여기서 graph 縱軸의 y 는 식 (2)의
 $\frac{x}{m}$ 이다. graph 上에 보면 實測值가 直線에
 모이고 있어 供試土壤의 인산흡着現象이 Freund-
 lich 式으로 잘 表現되고 있음을 나타낸다.

그림 14는 實測值를 Langmuir 式을 따라 plot 한
 하나의 例示이다. 實測值는 直線에 놓이지 않
 고 曲線을 나타내고 있어서 供試土壤에서의 인산
 흡着은 Langmuir 式에 의하여 記述될수 없음을 보
 여 주고 있다.

Langmuir 式은 氣體運動論에 基礎를 두고 誘導
 된 式인데 對하여 Freundlich 式은 一種의 實驗式
 이므로 Langmuir 式이 適用되는 경우와는 달리
 Freundlich 式으로써는 計算에 依하여 最大吸着量
 을 求할 수는 없다.

塚田(60)는 土壤에 添加한 인산의 半量은 土壤
 에 흡着되고 나머지 半量은 平衡溶液中에 殘存하
 는 平衡系에서 土壤에 흡着되는 量을 「인산比吸
 着量」이라 하고 이 概念을 Freundlich 式에 導入하
 여 土壤間의 인산흡着量을 比較하였다.

이 概念을 mg 의 土壤에 加한 初期濃度 C_0 인
 $V ml$ 의 溶液으로 부터 인산을 흡着하여 固相과 液
 相으로 50%씩 分配되는 平衡 濃度를 $C_{\frac{1}{2}}$ 이라 하
 면 다음의 식 (4)을 얻는다.

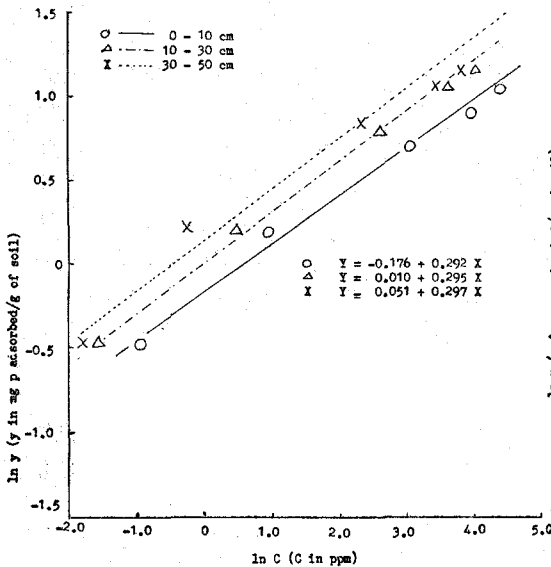


Fig. 8. Phosphorus adsorption data for the Sanghyo soil plotted according to Freundlich isotherm.

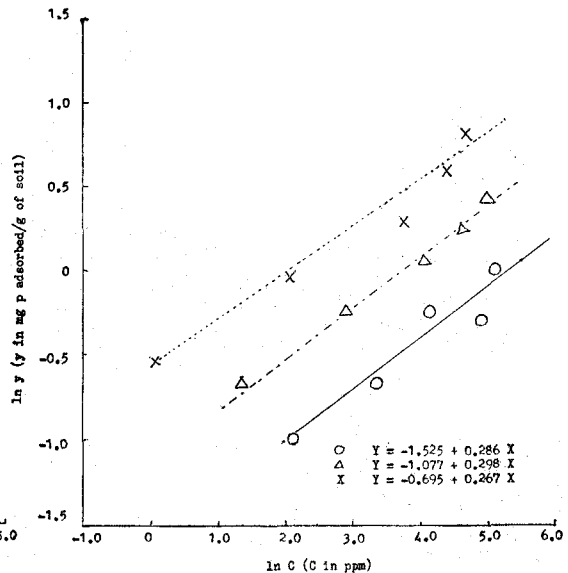


Fig. 9. Phosphorus adsorption data for the Cheju soil, plotted according to Freundlich isotherm.

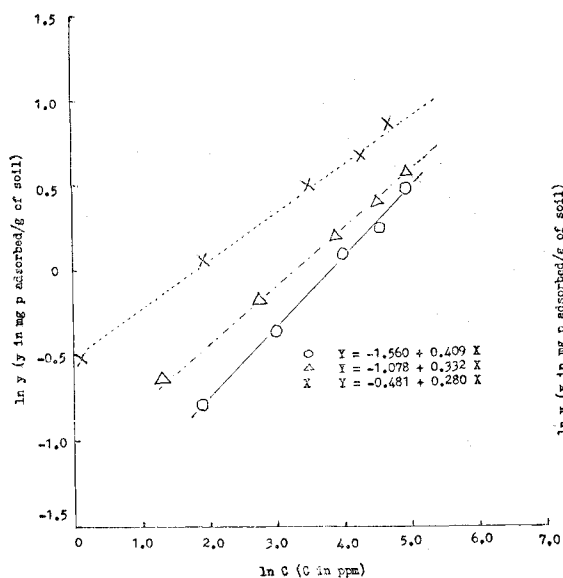


Fig. 10. Phosphorus adsorption data for the Namwon soil plotted according to Freundlich isotherm.

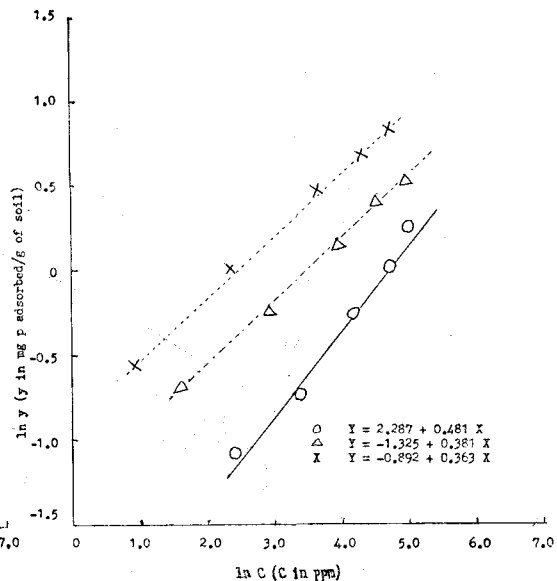


Fig. 11. Phosphorus adsorption data for the Chungmun soil plotted according to Freundlich isotherm.

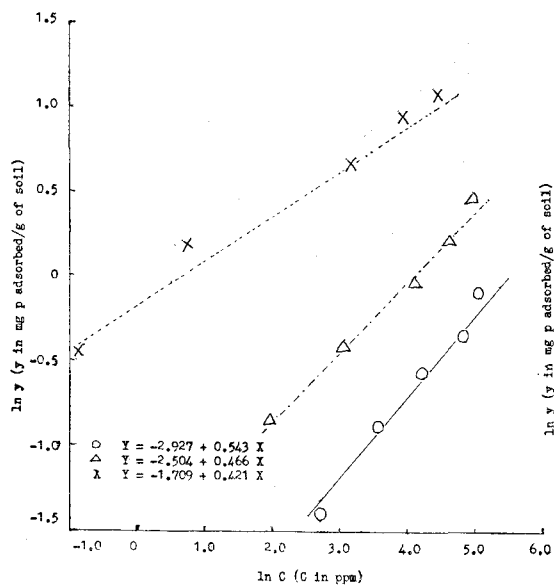


Fig. 12. Phosphorus adsorption data for the Seogwi soil plotted according to Freundlich isotherm.

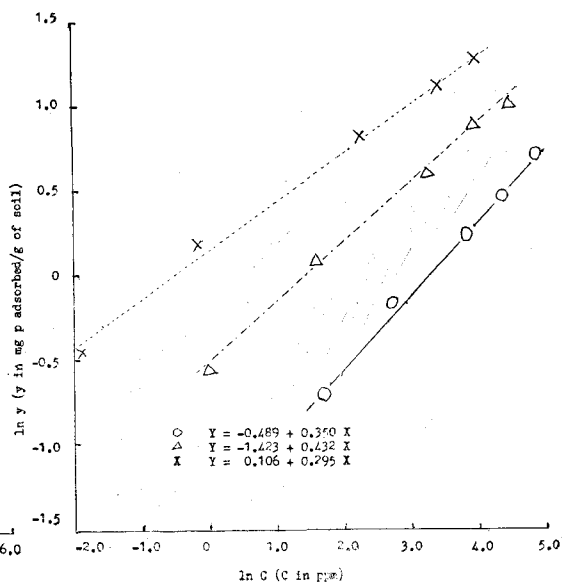


Fig. 13. Phosphorus adsorption data for the Seohong soil plotted according to Freundlich isotherm.

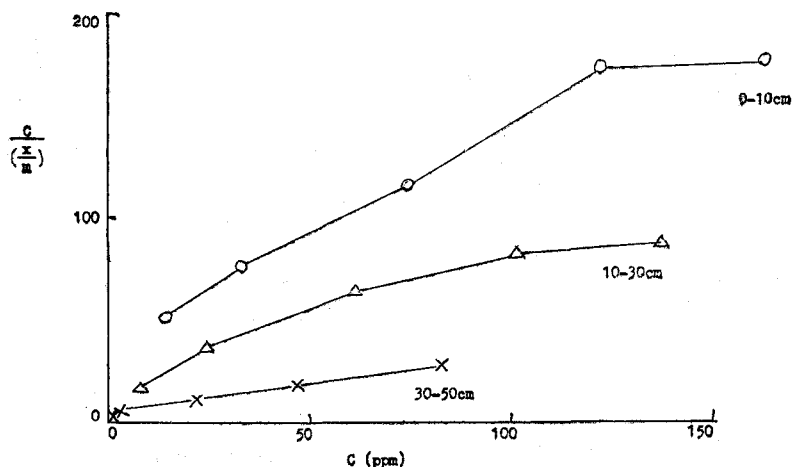


Fig. 14 Phosphorus adsorption data for the Seogwi soil plotted according to Langmuir isotherm.

Table 6. Freundlich constants, amount of P adsorbed at equilibrium concentration for half the added phosphorus to be adsorbed, and phosphate absorption coefficient for soils.

Soil	Depth (cm)	K	1/n	C _{1/2} * (ppm)	Amount of p adsorbed at C _{1/2} (mg p/g Soil)	P absorption coefficient (mgP ₂ O ₅ /100g)
Sanghyo	0-10	0.8386	0.292	143	3.58	2543.0
	10-30	1.0101	0.295	124	3.10	2714.8
	30-50	1.1354	0.300	231	5.78	2840.8
Cheju	0-10	0.2176	0.286	20.7	0.518	1363.0
	10-30	0.3406	0.289	39.6	0.990	1317.3
	30-50	0.5898	0.268	74.9	1.870	1809.9
Namwon	0-10	0.2101	0.409	36.7	0.918	1729.7
	10-30	0.3403	0.332	49.7	1.242	1758.8
	30-50	0.6182	0.280	86.3	2.158	1764.1
Chungmun	0-10	0.1016	0.481	14.8	0.370	1626.6
	10-30	0.2658	0.381	45.5	1.136	1855.7
	10-50	0.4098	0.363	97.5	2.438	2073.4
Seogwi	0-10	0.0536	0.543	5.29	0.132	1500.6
	10-30	0.1811	0.421	30.9	0.772	1855.7
	30-50	0.8547	0.284	138	3.459	2348.3
Seohong	0-10	0.2410	0.432	53.9	1.347	2121.5
	10-30	0.6312	0.350	142.5	3.556	2417.0
	30-50	0.8642	0.290	145.4	3.634	2657.6

* C_{1/2} : The equilibrium concentration for half the added Phosphorus to be adsorbed.

$$\frac{x}{m} = (C_0 - C_{\frac{1}{2}}) \times \frac{V}{1000} \times \frac{1}{m} = KC_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

式(4)에 $C_0 = 2C_{\frac{1}{2}}$ 을代入하고 $C_{\frac{1}{2}}$ 에對하여 풀 다음 兩邊의 對數를 取하면 式(5)을 얻는다.

$$\log C_{\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{\frac{1}{n} - 1} \right) \left\{ \log \left(\frac{V}{1000Km} \right) \right\} \dots (5)$$

式(5)에서 $\frac{1}{n}$ 및 K 는 각각 Freundlich 吸着線의 勾配와 切片이다.

$$\text{式(4)을 고쳐 쓰면 } \frac{x}{m} = \frac{C_{\frac{1}{2}} V}{1000m} \dots (6) \text{가 되며}$$

式(5)으로 부터 求한 $C_{\frac{1}{2}}$ 의 값을 式(6)에 代入하면 磷酸의 比吸着量이 求해진다.

表 6은 Freundlich 吸着線으로 부터 計算된 Freundlich 常數, 50% 分配 濃度, 比吸着量과 實驗的으로 測定한 磷酸吸收係數를 나타낸 것이다. 比吸着量은 磷酸吸收係數와 高度의 相關($r = 0.89^{**}$)이 있으나, 比吸着量의 土壤間 또는 土深間의 變化傾向을 磷酸吸收係數의 것과 比較하여 보면 比吸着量이 더 뚜렷한 差異하나 나타난다.

磷酸 吸收係數는 測定誤差가 없다면 한 點의 試料에 對한 一回의 測定實驗으로 그의 값이 決定되지만 磷酸比吸着量은 Freundlich 吸着線에 依하여 求하여지는 것이므로 同一 土壤試料를 가지고 여러 濃度에 對한 磷酸 吸着量을 求하여야 할 것이나 定量 誤差를 고려한다면 土壤間의 磷酸吸着能을 測定比較하는 것은 比吸着量에 依하는 것이 精確한 것으로 보인다.

磷酸吸收係數 및 比吸着量과 粘土, 有機炭素 有效磷酸 全磷酸과의 相關을 보면 表 7과 같다. 磷酸吸收係數는 粘土含量, 有效磷酸含量 및 全磷

Table 7. correlation coefficient for relationships between p -absorption coefficient or amount of P adsorbed at $C_{\frac{1}{2}}$ and clay oranic carbon available P or total pcontent.

	Clay	Org. carbon	Avail-able P	Total P
P-absorption coefficient	0.41	0.72**	-0.41	-0.35
Amount of P adsorbed at $C_{\frac{1}{2}}$	-0.28	0.51*	-0.51*	-0.59**

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

酸含量과는 負相關을 나타내는 傾向이 있는 反面 有機炭素含量과는 高度의 正相關을 나타내고 있다. 한편 比吸着量과 粘土含量, 有機炭素, 有效磷

酸 및 全磷酸含量과의 사이에는 粘土含量을 除外하면 모두 有意의 相關이 있는데 有機炭素와는 正相關, 有效磷酸 全磷酸과는 負相關이 있다.

濟州道 柑橘園土壤에 磷酸 알루미늄 含量이 다른 形態의 無機磷酸 보다 많은 것은 火山灰土壤의 特性이지만 Ca-P가 磷酸 알루미늄 다음으로 많은 것은 비슷한 氣象條件下에서 生成發達된 다른 火山灰土壤과 다른 點이다. 이는 磷酸施用의 重要性을 認識한 나머지 每年 多量의 石灰와 磷酸質 肥料가 投與된 結果로 해석된다.

이와 같이 有效磷酸含量이 높다는 點은 磷酸을 多量施用함으로써 磷酸吸着力이 강한 火山灰土壤에서도 磷酸肥沃度를 增進시킬 수 있다는 可能性을 示唆하는 것이다.

土壤 5의 表土(0~10cm)는 有效磷酸含量이 324 ppm으로서 大端히 높음에도 磷酸吸收係數는 1500이나 되며 磷酸施用量으로서 이의 5%를 取한다면 75kg/10a나 되는 많은 양이 된다. 따라서 磷酸吸收係數를 기준으로 한 磷酸施用量의 決定은 再檢討를 要하는 問題라고 생각된다.

IV. 要 約

磷酸固定能이 大端히 큰 것으로 알려진 濟州道 火山灰土壤에서 施用磷酸의 動態를 把握코저 栽培年數가 다른 柑橘園에서 採取한 土壤에 對하여 磷酸의 分別定量을 行하고 各 土壤磷酸의 蓄積 形態, 그의 土深에 따른 變化 및 이들에 影響을 미치는 土壤의 理化學的 性質과의 關係를 比較檢討함과 아울러 磷酸吸着實驗을 行하여 磷酸吸着에 對한 等溫吸着式 및 磷酸施用量 決定基準인 磷酸吸收係數에 對한 檢討를 하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 無機磷酸의 分別定量을 Chang & Jackson 法에 依하여 行한 結果 形態別 含量은 Water-soluble $p < Al-P < Occluded Fe-P < Fe-P < Ca-P < Occluded Al-P$ 의 順으로 Al과 結合된 (Al-P + Occluded Al-P) 것이 가장 많고 Ca-P의 含量이 比較의 많은 것이 特異하다.
2. 全無機磷酸에 대한 各形態의 含存比는 土深間에 有意差가 없었다.
3. 全磷酸 有效磷酸 및 各形態의 磷酸含量은 表土에서 밑으로 내려갈수록 減少하며, 有效磷酸은 水溶性 磷酸, 全磷酸의 含量 및 Ca-P와 높은 有意相關(1% 수준)을 나타내었다.
4. 磷酸吸收係數는 有機炭素量과는 高度의 正相

關을 나타내는데 反하여 粘土, 有效磷酸, 全磷酸과는 負의 相關을 나타내었으나 有意性은 認定되지 않았다.

5. Freundlich 等溫吸着式的 常數를 利用하여 添加磷酸이 固相과 液相에 各各 50%씩 分配될 때의 磷酸吸着比吸着量을 求하여 土壤間의 磷酸吸着力을 比較한 바 比較着量은 有機炭素量과는 正相關, 有效磷酸, 全磷酸과는 負의 有意相關을 나타내었으나 粘土와는 有意性이 없었다.
6. 磷酸吸收係數와 比較着量은 高度의 相關이 있으며 土壤間 磷酸吸着能의 差異를 後者가 前者보다 더 分明하게 나타냈다.

引用文獻

1. Appelt, H. and E.B. Schalscha 1970. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34:599-602.
2. Beaton, J.D., H.B. Peterson and N. Bauer, 1960. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 340-345.
3. Black, C.A. 1965. Methods of Soil Analysis 2:1035-1040 Am. Soc. Agronomy
4. Bradley, D.B. and D.H. Sieling 1953. Soil Sci. 76:175-179.
5. Chang, S.C. and W.K. Chu 1961 J. Soil Sci. 12:286-293.
6. Chang, S.C. and M.L. Jackson 1957. Soil Sci. 84:133-144.
7. Chapman, H.D. and P. Pratl 1961. Methods of Analysis for Soils, Plants and waters 161-174 Univ. of Calif.
8. Cho, C.M. and A.C. Caldwell 1959 Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23:458-460.
9. Cole, C.V. and M.L. Jackson 1951. Sci. Soc. Am. Proc. 15:84-89
10. 中央農業技術院 1954. 全南土性調査報告書 251-253.
11. Coleman, N.T., J.T. Thorup and W.A. Jackson 1960. Soil. Sci. 90:1-7.
12. Coleman, R. 1945. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 15:84-89.
13. Dahnke, William C., John L. Malolm and Miguel E. Menendez 1964. Soil Sci. 98:33-38.
14. Davis, L.E. 1935. Soil Sci. 40:129-158.
15. Fisher, E.A. 1922. Trans Faraday Soc. 17: 305.
16. Fried, M. and L.A. Dean 1955. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19:143-147.
17. Haseman, J.F., E.H. Brown and C.D. Whitt 1950. Soil Sci. 70:257-271.
18. Hemwall, J.B. 1957. Soil Sci. 83:101-108.
19. Hong, C.K. & J. Yamane 1973. The Reports of the Institute for Agricultural Research Tohoku University. 24:31-42.
20. Hsu, J.A. and M.L. Jackson 1960. Soil. Sci. 90:16-24.
21. Hsu, Pa Ho. 1964. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:474-478.
22. Hsu, Pa Ho 1965. Soil Sci. 99:308-402.
23. Humphreys, F.R. and W.L. Pritchett 1971. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35:495-500.
24. International Institute of Tropical Agriculture Report 1971. Soil Chemistry 15-19.
25. Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis 134-182. Prentice-Hall India.
26. Joseph O.D., Glenn C. Russell and Dale H. Sieling 1952. Soil Sci, 73:173-181.
27. Juo, Anthony's and Boyd G.. Ellis 1968. Soil. Sci. 106:374-380.
28. 加藤芳明 1970. 日本土肥誌 41:218-224.
29. 金浩植 1954. 韓國農學會誌 1:25-60.
30. Kittrick, J.A. and M.L. Jackson 1956. J. Soil. Sci. 7:81-89.
31. Kurtz, T., De Turk, E.E., and Bray, R.H. 1946. Soil. Sci. 61:111-124.
32. 京都大學 農學部 農藝化學教室 1964. 農藝化學實驗書1: 産業圖書
33. Lehr, J.R., W.E. Brown and E.H. Brown 1959. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 23:3-7.
34. Lindsay W.L. and E.C. Moreno 1960. Soil. Sci. Am. Proc. 24:177-182.
35. Lindsay, W.L. and H.F. Stephenson 1959. Soil. Soc. Am. Proc. 23:12-18.
36. Lindsay W.L. and H.F. Stephenson, 1959. Soil Soc. Am. Proc. 23:18-22.
37. Low, P.F. and C.A. Black 1950. Soil Sci. 70:273-290.
38. Mack, A.R. and S.A. Barber 1960. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24:381-385.

39. Manning, P.B. and M. Salomón 1965. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 29:421-423.
40. Ministry of Agriculture and Forestry, Japanese Government 1964. Volcanic ash Soils in Japan 107-108.
41. 三須英雄 1937. 日本農化學會誌 13:1338-1341.
42. 三須英雄 1939. 日本農化學會誌 15:1037-1039.
43. 宮内信文 中野篤弘 1971. 鹿兒島大農學部學術報告 21:143-152.
44. Moreno, E.C., W.E. Brown and G. Osborn 1960. Soil Sci. Am. Proc. 24:94-98.
45. Murphy J. and J.P. Riley 1962. Anal. Chim. Acta. 27:31-36.
46. 中山忠 佐藤友之 山下貴 1966. 日本土肥誌 37:203-206.
47. 中山忠 山下貴 1966. 日土肥誌 37:471-475.
48. 農業技術研究所 土壤化學分析法 1974.
49. 岡本昌雄, 佐伯季章 1971. 日本土肥誌 42:107-110.
50. Olsen, S.R. and F.S. Watanabe 1957. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21:144-149.
51. 吳旺根 辛相赫 1964. 農事試驗研究報告 7: 25-30.
52. Petersen G.W. and R.B. Corey 1966. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 30:563-565.
53. Robertson, W.K., L.G. Thompson, Jr. and C.E. Hutton 1966. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:446-450.
54. Russell, G.C., and Low, P.F. 1954. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:22-25.
55. Swenson R.M., C. Vernon Cole and Dale H. Sieling 1949. Soil Sci. 67:3-22.
56. Syers, J.K.T.D. Evans J.D.H. Williams and J.T. Murdock 1971. Soil Sci. 112:267-275.
57. 瀧嶋康夫 佐久間宏 1962. 日本土肥誌 33:205-209.
58. Taylor, A.W., E.L. Gurney and E.C. Moreno 1964. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:49-52.
59. 東海林覺 桶口福男 1970. 日本土肥誌 4:353-357.
60. 塚田豊昭 中野富夫 出口正夫 1967. 日本土肥誌 38:232-238.
61. Woodruff, J.R. and E.J. Kamprath 1965. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:148-150.

Appendix 1. Amounts of phosphorus adsorbed by Seogwi soil at different initial phosphorus concentration at 26°C.

Depth (cm)	Amounts of P Adsorbed(mg p/g)				
	Initial P Concentration (ppm)				
	20	50	100	150	200
0-10	0.188	0.401	0.619	0.840	0.925
10-30	0.375	0.806	1.018	1.293	1.425
30-50	0.491	1.196	2.140	2.868	3.096

Appendix 2. Amount of phosphorus adsorbed by soils at different P concentrations.

Soil	Depth (cm)	25ppm*		50ppm		100ppm		150ppm		200ppm	
		c**	y***	c	y	c	y	c	y	c	y
1	0~10	0.38	0.616	2.63	1.185	20.25	1.994	52.0	2.450	74.0	3.150
	10~30	0.20	0.620	1.60	1.210	14.00	2.150	39.0	2.775	58.0	3.550
	30~50	0.17	0.621	0.73	1.232	10.38	2.241	30.0	3.000	50.0	3.750
2	0~10	8.33	0.417	9.50	0.51	67.50	0.813	120.0	0.750	159.5	1.013
	10~30	3.90	0.528	18.63	0.785	56.50	1.088	98.0	1.300	137.0	1.580
	30~50	0.95	0.602	8.25	1.044	44.75	1.382	73.0	1.925	108.0	2.300
3	0~10	6.53	0.462	21.88	0.703	54.25	1.144	98.0	1.300	135.0	1.625
	10~30	3.75	0.532	15.82	0.855	50.63	1.235	92.0	1.450	128.0	1.800
	30~50	1.02	0.599	7.00	1.075	33.75	1.657	72.0	1.950	103.0	2.425
4	0~10	10.88	0.353	31.75	0.460	69.25	0.769	113.0	0.925	149.0	1.280
	10~30	4.85	0.504	18.75	0.782	53.75	1.157	90.0	1.500	130.0	1.750
	30~50	2.50	0.562	10.50	0.988	37.63	1.560	74.0	1.900	110.0	2.250
5	0~10	15.13	0.247	36.00	0.350	77.50	0.533	122.0	0.700	163.5	0.913
	10~30	7.30	0.442	23.94	0.652	61.25	0.969	101.0	1.225	137.0	1.575
	30~50	0.42	0.614	1.97	1.201	22.13	1.947	47.0	2.575	68.5	2.933
6	0~10	5.60	0.485	15.75	0.857	49.50	1.263	85.0	1.625	122.5	1.938
	10~30	1.00	0.600	5.07	1.124	25.75	1.856	50.0	2.500	86.5	2.838
	30~50	0.15	0.622	0.84	1.229	10.00	2.250	30.0	3.000	54.0	3.650

* initial concentration

** equilibrium concentration

*** mg P adsorbed/g soil.