

耕作地 田土壤의 磷酸特性에 關한 研究

IV. 土壤特性別 分劃磷의 分布

申喆雨* · 金鼎濟** · 柳寅秀***

Studies on the Characteristics of Phosphorus in the Upland Soil

IV. Distribution Percentage of Inorganic Phosphorus on Different Levels of Soil Chemical Properties

Cheol-Woo Shin*, Jeong-Je Kim**, In-Soo Ryu***

SUMMARY

A laboratory experiment was conducted to investigate the relationship between the composition of phosphorus forms and soil chemical properties. The soil samples were collected from the farms of the 149 locations where vegetables were intensively cultivated with heavy application of phosphorus.

The composition percentages of Ca-P and Saloid-P to the total phosphorus were increased as increasing soil pH while those of Fe-P and Al-P were decreased. The composition percentage of Fe-P were increased up to pH 5.0-6.0 and decreased as increasing pH above 6.0, respectively.

The pH dependency of Al-P and Fe-P composition percentage was more remarkable for the soils with high available phosphorus (>500ppm) than with low available phosphorus (<500ppm).

Composition percentages were in order of Fe-P>Al-P>Ca-P>Saloid-P for the soils with available phosphorus below 500ppm, while those were in order of Al-P>Fe-P>Ca-P>Saloid-P for the soils with high available phosphorus above 1,000ppm.

Composition percentages of Al-P and Fe-P were increased as increasing active Al content, and Fe-P was increased as increasing of active Fe and P sorbed but saloid-P, Al-P and Ca-P were decreased.

結 言

土壤中 磷酸은 有機態와 無機態로 존재 하는데 대부분이 無機態 磷으로 Chang 과 Jackson¹⁾은 이들 無機態磷을 Al-P, Fe-P, Ca-P, Reductant soluble Fe

-P, Occluded Al, Fe-P로 分劃하였다. 흔히 작물 有 效도와 關連하여 앞의 세가지 分劃이 주로 연구의 대상이 되고 있으며, 토양중 蓄積磷의 대부분도 Al-P, Fe-P, Ca-P의 세形態로 이들 含量은 土壤反應, 토양에 磷酸을 施用한 후 경과한 시간, 施用磷酸의 肥種,

* 農村振興廳 試驗局(Research Bureau, RDA, Suwon, Korea)

** 江原大學校 農科大學(College of Agriculture, Kang Weon National University, Chuncheon, Korea)

*** 檀國大學校 農科大學(College of Agriculture, Dan Kook University, Chonan, Korea)

溫度, 土壤水分含量 등에 따라 크게 달라지는 것으로 알려져 있다^{5, 6, 7, 18, 20}. 작물에 대한 인산의 主供給源도 이들 세形態의 인이라 하여 토양중에서 可給態 인산으로 써 無機態 인의 可溶性이 강조되고 있다^{8, 9, 15, 26, 30, 31}.

Singh²² 등은 17년 동안 過石을 계속 施用한 토양중에는 Fe-P 함량이 가장 많았으나, 過石의 施用으로는 當年 作期에 Fe-P의 증가량이 적었고 Al-P와 Ca-P 함량은 有意하게 증가하였다고 하였고, Cho와 Cardwell²³은 無機態 인 중 Al-P, Fe-P는 酸性土壤에서, Ca-P는 알카리토양에서 많았으며 pH 7.0 부근의 토양에서는 Al-P, Fe-P, Ca-P 함량이 거의 비슷하게 分布하였는데 Ca-P 보다는 Al-P, Fe-P 함량이 다소 많았고, 水溶性 인산이 토양에 添加되면 수시간안에 대부분이 不溶性으로 된다고 하였다.

한편 토양중 無機態 인은 토양중에서 Fe, Al, Ca 및 그외의 다른 성분들과 결합하여 不溶性의 인산複合體를 形成하며, 특히 Al과 Fe 함량이 높은 토양에서 인산의 固定量이 많다고 한다^{2, 12, 13, 18, 27}.

Robertson¹⁹ 등에 의하면 알루미늄이나 철 함량이 높은 토양에서는 施用된 인산의 대부분이 Occluded-P로 變化되며 적은 量만이 作物의 有效도에 영향을 주는 세 가지 形態의 인(Al-P, Fe-P, Ca-P)으로 주로 존재한다고 하였다. 이러한 토양에서는 인산의 固定力이 크기 때문에 작물이 吸收 이용하기 용이한 形態의 인산 즉, 有效인산含量이 매우 낮아 作物생육에 필요한 적당한 量의 인산이 규칙적으로 계속 施用되었으며, 인산의 固定力이 큰 토양에 可溶性 인산이 施用되면 원래 土壤인산의 有效도가 감소되고 인산의 固定力이 낮은 토양에서는 증가되는 경향이라고 보고된 바 있으며^{11, 16, 26, 29}, 토양중 철과 알루미늄 함량은 토양의 인산吸收

力과도 밀접한 關係가 있어서 토양의 인산 保有力 예측에 유용한 指標가 된다고 한다^{1, 14, 21}.

토양인산의 形態別 分布에 관한 國內의 연구는 여러 연구자들에 의해서 보고된 바 있으나^{10, 11, 17, 20, 25} 대부분이 논토양을 대상으로 하였고, 밭토양에 대해서는 미흡한 실정이다.

본 研究에서는 인산蓄積地 149개 토양에 대하여 土壤特性別로 形態別 分劃인산의 含量分布에 대하여 檢討하였다.

材料 및 方法

試驗材料는 前報^{23, 24}에서 供試한 인산蓄積地 토양 149點에 대한 無機態인산 및 化學性 分析成績을 이용하였다.

結果 및 考察

土壤의 化學的 特性에 따른 土壤인산의 形態別 分布와 變動을 밝히기 위하여 인산이 多量 施用되었을 것으로 예상되는 園藝作物栽培地(施設 및 露地) 토양 總 149點에 대하여 土壤特性別로 無機態分劃인산의 組成을 檢討한 결과 먼저 土壤의 pH 等級別로 總인산含量에 대한 각 分劃인산의 百分率을 平均하여 나타낸 결과를 보면 表 1과 같다.

토양 pH수준의 증가에 따라 總인산에 대한 Residual-P의 分布比는 30% 내외로 거의 일정하였으나 Sa-loid-P와 Ca-P의 分布比는 다같이 增加되는 경향으로 나타나서 土壤 pH가 4.5 이하인 土壤에서는 Sa-loid-P의 分布比가 각각 1.2%의 6.1%이었으나 pH

Table 1. Distribution percentage of inorganic phosphorus to total P depending on various soil pH range in 149 phosphorus accumulated soil samples

pH range	Sample size	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	Relative percentage to total phosphorus				
			Sa-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Residual-P
< 4.50	15	696	1.2	30.4	27.4	6.1	34.9
4.51 ~ 5.00	28	812	1.4	29.2	30.9	6.8	31.7
5.01 ~ 5.50	33	852	1.8	30.0	29.6	9.1	29.5
5.51 ~ 6.00	33	941	2.1	26.2	26.6	14.3	30.7
6.01 ~ 6.50	20	1,083	3.3	24.6	28.6	13.5	30.1
6.51 ~ 7.00	11	829	3.4	22.0	23.5	19.8	31.0
> 7.01	9	1,094	7.6	18.1	21.8	20.6	32.0
Mean	149	892	2.7	26.4	27.6	12.2	31.1

7.0 이상인 土壤에서는 7.6 %와 20.6 %로 크게 증가되었다. 그러나 Al-P의 分布比는 pH 5.01 ~ 5.50 수준까지는 30 % 정도로 비슷하였고, Fe-P의 分布比는 pH 4.51 ~ 5.00 사이에서 30.9 %로 다소 높았다가 pH 5.5 이상에서는 모두 그 含量이 낮아지는 경향으로 나타나 pH 7.0 이상의 土壤에서는 Al-P는 18.1%, Fe-P는 21.8 %로 그 分布比率이 가장 낮아졌다.

따라서 土壤 pH의 상승으로 總磷에 대한 Saloid-P와 Ca-P의 分布比率은 높아지고 반대로 Al-P와 Fe-P의 分布比率은 낮아져서 土壤中 分劃磷의 分布比는 주로 pH변화에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

한편 pH變化에 따른 有效磷酸含量은 pH 6.01 ~ 6.50 수준까지는 증가경향이 현저하여 최저 696 ppm에서 1,083 ppm으로 증가되었으나 그 이상에서는 감소되었다가 다시 증가하여 不分明하게 나타났다.

이상과 같이 pH증가로 Saloid-P와 Ca-P의 含量이 증가됨에 따라 總磷에 대한 이들 分劃磷의 分布比率도 증가되어 상대적으로 Al-P와 Fe-P의 分布比率이 감소되는 현상으로 볼 수 있었다. 한편 pH上昇으로 有效磷酸이 점차 높아지는 점으로 보아 Saloid-P와 Ca-P의 증가는 有效磷酸含量的 증가와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각할 수 있다.

表1에서 각 無機態分劃磷의 分布比는 Residual-P를 제외하고는 pH 수준별로 달라져서 Al-P, Fe-P, Ca-P, Saloid-P의 分布比率이 각각 pH 4.50이하에

서는 30.4, 27.4, 6.1, 1.2 %이었으나 pH 5.51 ~ 6.00 수준에서는 26.2, 26.6, 14.3, 2.1 %로 되어 Al-P와 Fe-P의 分布比가 서로 같아졌고 pH 7.0 이상에서는 Fe-P의 감소로 그 分布比率이 각각 18.1, 21.8, 20.6, 7.6 %로 변화되어 pH가 中性부근에 이르면 Al-P, Fe-P, Ca-P 3자의 分布比는 거의 같은 比率로 維持된다는 것을 알 수 있다.

이와같은 現象때문에 分劃磷의 分布比는 調查地의 土壤反應에 따라 여러가지로 나타나는 것으로 볼 수 있는데, 吳와 辛¹⁹⁾은 논土壤 調查에서 新海成土에서는 Ca-P ≥ Fe-P > Al-P, 丘海成土와 河成土에서는 Fe-P > Ca-P > Al-P, 殘積土에서는 Fe-P > Al-P > Ca-P의 순으로 서로 달랐다고 하며, 洪 등¹⁰⁾은 一般 耕作地土壤을 평균하여 볼때 Fe-P > Al-P > Ca-P의 순이었다고 하여 本 試驗에서 149점의 평균 分布比와 일치하였고, 한편 Cho와 Caldwell³⁾은 Al-P, Fe-P는 酸性土壤에서 많고 Ca-P는 알칼리土壤에서 많았으며 pH 7.0 부근의 土壤에서는 Al-P, Fe-P, Ca-P의 含量이 거의 비슷하게 分布되었다고 하였는데 本 試驗의 結果와 유사한 경향이였다.

한편 分劃磷의 分布比率이 pH외에 土壤中 磷酸蓄積量의 차이에 따라 어떻게 變化되는지를 밝히기 위하여 149개 土壤의 有效磷酸含量을 3 수준으로 구분하고 다시 pH별로 分劃磷의 分布比를 조사하여 얻은 分布曲線을 그림 1에 나타내었다.

pH에 따른 각 分劃磷의 總磷에 대한 分布比는 pH

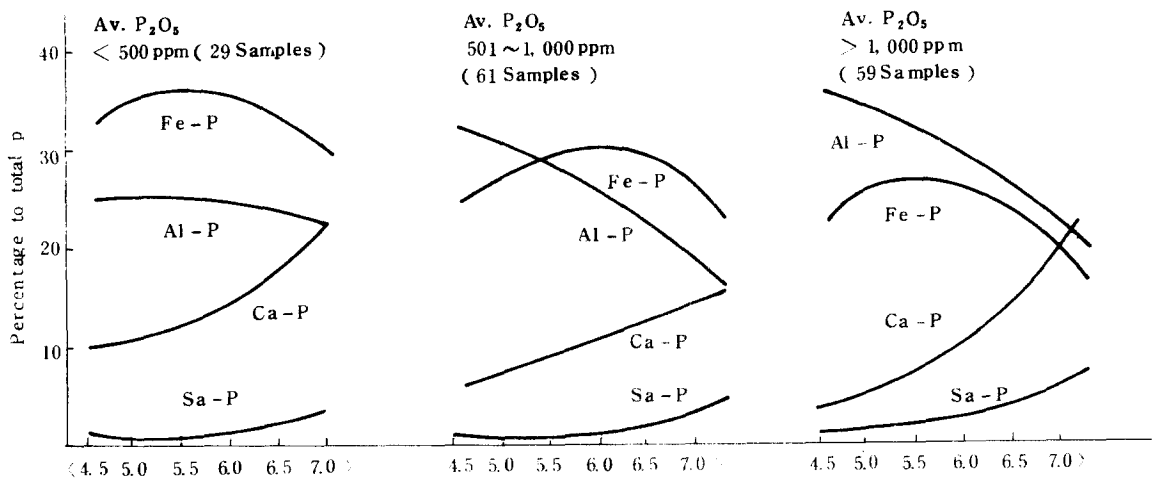


Fig. 1. Relationship between percentage of P fraction percentage to total P and soil pH range for different available phosphorus content.

증가에 따라 Saloid-P와 Ca-P의 分布比는 土壤磷酸 含量에 관계없이 일률적으로 증가되었으나 반대로 Al-P의 分布比는 감소되었고 Fe-P의 分布比도 pH 5.0~6.0범위에 이를때까지는 증가되다가 그이상의 pH에서는 급격히 감소되는 경향이였다. pH에 따른 Al-P와 Fe-P 分布比의 감소경향은 有效磷酸含量이 높을수록 현저하여 500ppm이상의 土壤에서 더욱 뚜렷한 경향이였다.

따라서 總磷에 대한 分劃磷의 分布比는 土壤反應 뿐 아니라 토양의 磷酸肥沃度等級에 따라서도 變動되어 그림에서 보는바와같이 有效磷酸 500ppm이하의 토양에서는 分劃磷의 分布比가 Fe-P > Al-P > Ca-P > Saloid-P의 순이었으나 이보다 磷酸肥沃도가 높아짐에 따라 점차 Fe-P와 Al-P의 分布比가 바뀌어 有效磷酸 1,000ppm이상의 토양에서는 그 分布比가 Al-P > Fe-P > Ca-P > Saloid-P로 轉換되었다. 그러나 Al-P의 分布比가 Fe-P의 分布比보다 현저히 높아진 경우는 有效磷酸 500ppm이상이며 pH가 約5.5 이하인 强酸性土壤에서 나타났음을 알 수 있다.

이 결과로보아 일반적으로 無機態分劃磷의 分布比는 Fe-P > Al-P > Ca-P이지만 土壤磷酸含量이 높고 强酸性土壤에서는 Al-P > Fe-P > Ca-P의 순으로 變化되어 無機磷의 形態別 分布는 有效磷酸의 蓄積量과

土壤反應의 變化에 따라 크게 變動되어 土壤磷酸의 有效도가 달라질 것으로 생각된다.

柳 등²⁰⁾에 의하면 無機態磷의 증가는 重過石의 多量處理에서 Al-P > Fe-P > Ca-P로, 熔成磷肥處理에서 Al-P ≈ Ca-P > Fe-P의 순이었다고 보고한바 있는데 이는 본 試驗 結果로 미루어 보아 酸性土壤에 酸性인 重過石處理로 高 磷酸土壤이 되어 Al-P 含量이 높아진 結果로 볼 수 있고, 한편 Ca과 Mg이 含有된 鹽基性 熔成磷肥의 處理로 pH가 상승되어 Ca-P가 증가될 경우는 그림의 有效磷酸 1,000ppm이상인 토양에서와 같이 Fe-P는 낮아지고 Ca-P가 Al-P와 비슷한 정도로 높아지는 것으로 생각된다. Yuan 등²¹⁾도 磷酸質肥料의 施用初期에는 Fe-P보다 Al-P로의 變換이 많다고 하였고 이외에 磷酸의 施用量이 많았을때는 Al-P / Fe-P 비가 증가된다고 하여 磷酸肥料를 施用하면 일시적으로 有效磷酸이 높아지고 또한 過石이나 重過石으로 施用할때에는 토양이 일시적으로 强酸性條件이 되어 Al-P의 형태가 우세한 것으로 볼 수 있다.

이상의 토양의 pH와 磷酸肥沃度等級別로 總磷에 대한 分劃磷의 分布比率 變動을 본 것이며, 表 2는 토양의 置換性 Ca, 活性 Al, 活性 Fe 및 磷酸吸收量(PS)에 따른 分劃磷의 分布比率 變動을 본 것이다.

Table 2. Distribution percentage of inorganic phosphorus with different level of soil chemical properties to total P

Component	Range	Sample size	Distribution percentage to total P			
			Saloid-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
Ex. Ca (me/100 g)	< 3.0	24	1.7	34.6	23.7	8.3
	3.1 ~ 5.0	61	1.7	27.4	28.9	10.2
	5.1 ~ 7.0	30	2.6	25.7	31.0	10.7
	7.1 ~ 9.0	13	3.8	19.7	26.1	17.6
	> 9.1	21	4.0	25.6	25.7	17.8
Act. Al (ppm)	< 40	62	3.0	24.0	25.9	15.7
	41 ~ 80	47	1.5	29.0	28.3	10.0
	81 ~ 120	23	1.3	31.8	29.6	7.1
	> 121	17	1.0	28.5	30.6	8.0
Act. Fe (%)	< 0.5	23	2.9	30.6	21.6	15.4
	0.51 ~ 1.00	100	2.4	26.8	28.6	11.4
	1.01 ~ 1.50	23	2.1	26.4	30.4	9.2
	> 1.51	3	1.5	24.4	29.0	11.1
PS (μg/g)	< 50	23	3.2	29.3	22.8	13.9
	51 ~ 100	67	3.0	28.0	25.6	12.3
	101 ~ 150	44	1.7	26.9	28.8	10.2
	> 151	15	0.4	22.2	42.5	9.9

置換性 Ca 含量的 수준이 높아짐에 따라 Saloid-P와 Ca-P의 分布比는 점차 증가되었고 Al-P의 分布比는 감소되었으나 置換性 Ca이 가장높은 수준(9.1 me/100 g 이상)에서는 증가되었고, Fe-P 分布比는 置換性 Ca이 5.1~7.0 me/100 g 까지 증가되다가 그 이상 수준에서는 다시 감소하는 경향을 보여 대체적 경향이 pH 변화에 따른 변동과 유사하였다. 活性 Al 含量 수준이 높아짐에 따라서는 Saloid-P와 Ca-P의 分布比가 점차 감소하였고 Al-P와 Fe-P의 分布比는 대체로 증가하는 경향이었으며, 活性 Fe 수준이 높아질때는 Fe-P는 증가하는 경향을, Saloid-P, Al-P, Ca-P의 分布比는 감소하는 경향이였다.

한편 土壤磷酸吸收量(PS)과 分劃磷의 分布比間의 關係를 보면 土壤의 磷酸吸收量이 높은 土壤일수록 Saloid-P, Ca-P 및 Al-P의 分布比는 낮아지고 Fe-P 分布比는 높아지는 경향을 보여 磷酸含量이 낮은 土壤(500 ppm 이하)에서는 Fe-P의 分布比가 높다는 그림의 결과와 일치하였다.

이 結果에서 Saloid-P와 Ca-P의 分布比는 다같이 pH 증가와 置換性 Ca 含量이 높아짐에 따라 증가하고 置換性 Al 含量의 증가로는 감소되어 Saloid-P와 Ca-P는 土壤特性 차이에 따라 그 量과 分布比가 같이 變動하는 形態임을 알 수 있었다. 그러나 Al-P의 分布比는 活性 Al이 높을때 증가하고 置換性 Ca이나 活性 Fe이 증가할수록 감소하는 경향이나 예외인 경우가 있고 또한 Fe-P의 分布比는 活性 Fe, 活性 Al이 증가할수록 증가하는 경향이나 置換性 Ca의 증가로는 어느 선까지 증가되었다가 감소하는 등 확실한 경향이 없는 경우가 있어 Al-P와 Fe-P의 分布變化는 그림에서 본 바와같이 pH와 有效磷酸 및 기타 土壤因子가 複合적으로 작용하기 때문인 것으로 보며 앞으로 더욱 구체적인 연구가 필요할 것이다.

摘 要

多量の 肥料가 連用되어온 園藝作物栽培地 13個地 域에서 149개 土壤을 採取分析하여 토양의 化學의 特性에 따른 無機態磷의 形態別 組成을 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 土壤 pH의 상승에 따라 總磷에 대한 Ca-P와 Saloid-P의 分布比率는 높아지고 상대적으로 Al-P와 Fe-P의 分布比率는 낮아졌으나, Fe-P 分布比率

은 pH 5.0~6.0 범위에 이를때 까지 증가되다가 그 이상의 pH에서는 급격히 감소되는 경향이였다.

2. pH에 따른 Al-P와 Fe-P 分布比의 감소경향은 有效磷酸含量이 500 ppm이하로 낮은 토양에서는 완만하였으나 그 이상인 土壤에서는 더욱 뚜렷하였다.

3. 有效磷酸 500 ppm이하의 土壤에서는 分劃磷의 分布比率이 Fe-P > Al-P > Ca-P > Saloid-P의 순이었으나 이보다 磷酸含量이 높아짐에 따라서는 점차 Fe-P와 Al-P의 分布比率이 바뀌어 有效磷酸 1,000 ppm 이상의 土壤에서는 Al-P > Fe-P > Ca-P > Saloid-P 순으로 전환되었다.

4. Al-P와 Fe-P의 分布比는 土壤中 活性 Al 含量이 증가함에 따라서 증가되었고, Fe-P의 分布比는 土壤中 活性 Fe와 PS의 증가로 증가되나 Saloid-P, Al-P, Ca-P의 分布比는 감소되었다.

引 用 文 獻

1. Baldovinos, F., and G. W. Thomas. 1967. The effect of soil clay content on phosphorus uptake. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 31: 680-682.
2. Burgess, P. S. 1923. Comparison of active aluminum and hydrogen-ion concentration of widely seperated acid soils. Soil Sci. Vol. 15: 407-412.
3. Cho Chai-Moo, and A. C. Caldwell. 1959. Forms of phosphorus and fixation in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 26: 458-460.
4. Chang, S. C., and M. L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. Vol. 84: 133-144.
5. _____, and W. K. Chu. 1961. The fate of soluble phosphate applied to soils. J. Soil Sci. Vol. 12: 286-293.
6. _____, and S. R. Juo. 1963. Available phosphorus in relation to forms of phosphate in soils. Soil Sci. Vol. 94: 91-96.
7. _____. 1976. Phosphorus in submerged soils and phosphorus nutrition and fertilization of rice. Seminar on the fertility of paddy soils (ASPAC/FFTC).
8. 江耕村. 1965. 水田土壤中 各 形態磷의 有效性. 東北農試研報. 36: 90~94.
9. Fisher, R. A., and R. P. Thomas. 1935. The determination of the forms of inorganic phosphorus. J. Amer. Soc. Agr. Vol. 27: 263-271.
10. 洪政國, 洪鍾雲. 1982. 우리나라 主要 土壤中 磷酸의 特性에 關한 研究. I. 無機態 磷酸의 分劃 定量值를 中

- 心으로 韓土肥誌, Vol. 10 : 13 ~ 22
11. 金澄玉. 1974. 濟州道 柑橘園 土壤의 磷酸形態 및 吸着에 關한 研究. 韓農化誌. Vol. 17 : 219 ~ 234.
 12. Mattingly, G. E. G., and F. V. Widdowsn. 1963. Residual value of superphosphate and rock phosphate on an acid soil. J. Agric. Sci. Vol. 60: 394-407.
 13. Mahapatra, I. C., and W. H. Patrick, J. R. 1969. Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils. Soil Sci. Vol. 107: 281-288.
 14. Meek, B. D., L. E. Graham, T. J. Donovan, and K. S. Mayberry. 1979. Phosphorus availability in a calcareous soil after high loading rates of animal manure. Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 43: 741-744.
 15. 本谷耕一, 吉野喬. 1965. 磷酸 施肥に關する基礎 研究. 東北農試年報. Vol. 32 : 41 ~ 60.
 16. Neller, J. R., and C. L. Comer. 1947. Factors affected fixation of phosphorus in soils as determined with radioactive phosphorus. Soil Sci. Vol. 64: 379-387.
 17. 吳旺根, 辛相勳. 1964. 우리나라 畚土壤中 磷酸形態에 關하여. 農試研報. Vol. 7 (1) : 25 ~ 30.
 18. 朴天緒, 韓基鎬, 林秀吉, 李載現. 1969. 우리나라 表層土의 磷酸吸收力에 關한 研究. 韓土肥誌. Vol. 2 : 1 ~ 13.
 19. Robertson, W. K., L. G., Thompson, Jr., and C. E. Hutton. 1966. Availability and fractionation of residual phosphorus in soils high in aluminium and iron. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 30: 446-450.
 20. 柳寅秀, 申喆雨, 尹禎熙, 柳順吳. 1977. 田土壤 無機態 磷酸의 組成과 有效磷酸 分析方法에 關한 比較 研究. 韓土肥誌. Vol. 10 : 211 ~ 217.
 21. Saini, G. R., and A. A. Mclean. 1965. Phosphorus retention capacities of some New Brunswick soil and their relationship with soil properties. Can. J. Soil Sci. Vol. 45: 15-18.
 22. Singh, R. N., D. C. Martens, and S. S. Obenshain. 1966. Plant availability and form of residual phosphorus in Davidson clay loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 30: 617-620.
 23. 申喆雨, 金鼎濟, 尹禎熙. 1988. 耕作地 田土壤의 磷酸特性에 關한 研究. I. 蓄積磷酸의 形態別 組成과 有效磷酸含量과의 關係. 韓土肥誌. Vol. 21 : 21 ~ 29.
 24. _____, _____. 1988. 耕作地 田土壤의 磷酸特性에 關한 研究. II. 土壤磷酸含量과 몇가지 土壤化學性과의 關係. 韓土肥誌. Vol. 21 : 195 ~ 201.
 25. 심상철, I. G. Valencia, 이형구, 김정자, 김화영. 1970. 追跡子 技術에 의한 몇개 畚土壤에서의 磷酸肥效 研究. 放農研報. Vol. 6 : 211 ~ 216.
 26. 上澤正志, 加納純子, 內田好哉. 1980. 無機 三形態 磷酸 含量に基づく寒冷地 水田土壤リン酸の有効性 評價. 日土肥誌. Vol. 51 : 79 ~ 84.
 27. Tandon, H. L. S. 1970. Fluoride-extractable aluminum in soil. 2. As an index of phosphate retention by soils. Soil Sci. Vol. 109: 13-18.
 28. Taylor R. W., and Jonathan Woods. 1981. Inorganic phosphorus in calcareous rock land soils of the Bahamas. Soil Sci. Soc. Amer. J. Vol. 45: 730-734.
 29. Veril, V. Volk, and E. O. Mclean. 1963. The fate of applied phosphorus in four Ohio soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 27: 53-58.
 30. 吉野喬, 本谷耕一. 1970. 水田における磷酸施肥の技術的 考察. 東北農試研究報. 40 : 185 ~ 208.
 31. Yuan, T. L., W. K. Robertson, and J. R. Neller. 1969. Forms of newly fixed phosphorus in three acid sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 24: 447-450.