

立地土壤의 特性

柳順昊, 宋寬哲

서울대학교 農科大學

I. 緒 言

濟州道는 橢圓形의 火山島로서 海拔 1,950 m인 漢拏山을 主峰으로 周圍에는 무려 360 여 개의 크고 작은 寄生火山(噴石丘: Cinder cone)이 散在되어 있다. 濟州道の 火山活動은 第三紀에 비롯되어 間間이 休靜期를 두고 數次에 걸쳐 噴出되었으며 最近에 와서 西紀 1002 年에 飛揚島가, 그리고 1007 年에 軍山이 各各 爆發하였다.^(1,35) 火山爆發時 噴出된 火山灰, 火山砂 等の 堆積에 依하여 生成된 火山灰土가 濟州道 土壤의 대부분을 차지하고 있다.^(4,10) 火山灰土는 母材인 火山灰의 影響을 支配的으로 받는 間帶性 土壤으로서 그 형태나 性質에 있어서 一般土壤과 比較하여 特異한 점이 많다.^(7,9,13,29,31) 火山灰 堆積物은 粒度和 그 構造, 組織 等の 特異性 때문에 化學的 風化가 急速度로 進行되어 多量의 鹽基가 遊離溶脫됨에 따라 酸性이 強해지고 脫珪酸作用이 進行되어 非晶質 粘土礦物인 Allophane이 形成되며, 이 Allophane에서 土壤 pH의 변화에 따라 Al이 遊離되어 活性化되는 性質(礬土性)이 매우 強하다.^(11,13,31) 濟州道 土壤이 不良한 것은 主로 Allophane의 強한 礬土性에 基因된다.^(11,13,31) 즉 難分解性的의 有機物이 多量으로 集積되고, 陽이온置換容量은 높으나 浸透性이 過多하여 鹽基 특히 NH_4^+ , K^+ 등이 溶脫, 遊離되기 쉬운 반면 磷酸을 吸着, 固定하는 能力은 대단히 크다. 微量元素의 缺乏現象이 많으며, 物理性에 있어서 假密度가 낮고 固相이 적어 輕鬆하다는 問題點이 있다.^(9,13,31) 또한 高溫多濕한 氣候條件에 依하여 土壤中 可溶性 鹽類의 溶脫과 一次礦物의 分解가 더욱 促進되고, 強風에 依하여 土壤 浸蝕 역시 쉽게 일어나기 때문에 問題가 되고 있다.⁽¹³⁾

土壤 改良을 위하여 石灰 또는 磷酸을 施用했을 때 置換性 또는 活性 Al이 減少되더라도 非晶質 Al ⇌ 活性 Al ⇌ 置換性 Al의 平衡系에서 非晶質 Al이 活性 Al을 거쳐 置換

2 亞熱帶農業研究

性 Al 으로 되어 새로운 平衡系에 쉽게 도달한다.^(11,13) 따라서 火山灰土는 一般 酸性土壤에 比하여 石灰를 多量 施用하여도 pH의 變動이 極히 완만하고 置換性 Al의 含量 減少가 적을 뿐만 아니라 活性 Al도 거의 變化가 없으며, ^(11,13) 磷酸肥料를 多量으로 施用해도 有效 磷酸의 含量 增加가 크지 않다.

이와같이 濟州道 火山灰土는 Allophane의 強한 礬土性에 基因되어 自然肥沃도가 매우 낮을 뿐만 아니라 그 改良도 極히 어렵기 때문에 一般土壤에 比하여 作物 生産力이 낮다(表1).

Table 1. The ratios of the crop yields in Cheju to the Korean mainland (%).

	Paddy rice	Naked barley	Beer barley	Soybean	Sweet potato
1976	81.3	72.6	81.5	84.9	116.9
1977	78.2	103.2	108.5	85.0	129.3
1978	77.1	73.1	73.9	90.3	117.3
1979	77.7	64.3	77.9	80.6	100.5
1980	99.7	80.7	79.8	52.8	91.3
Area(ha)*	892	6,727	8,865	8,773	9,924

* Planted area in 1981.

表1에서 보는 바와 같이 主要 作物의 單位面積當 生産量을 全國과 比較했을 때 礬土性에 強한 作物인^(10,13) 고구마만 全國 平均量보다 높고 水稻, 大麥, 裸麥, 大豆 등 대부분의 作物 生産量이 낮다.

濟州道の 總面積은 181,997 ha이며 이중 田畓은 約 5萬ha이나 畓은 耕作地의 2%인 1,000 ha에 不過하여 田作이 爲主이다.^(4,10) 濟州道는 우리나라에서 最多雨地域이나 地盤이 主로 多孔性의 噴石, 熔岩 등으로 되어 있기 때문에 물의 地下浸透流去量이 많을 뿐만 아니라 上流水源이 豊富치 못하여 大部分의 河川은 降雨直後가 아니면 恒時 乾川을 이루고 있어서 生活用水에 큰 곤란을 받아 왔다.^(17,35) 따라서 海岸地方의 湧泉帶를 따라 村落이 形成되고 대부분의 農耕地는 海岸地方에 分布되어 있었다.⁽³⁵⁾ 그러나 1960年代 初부터 꾸준히 추진된 用水開發事業에 依하여 生活用水 問題가 緩和됨에 따라 農耕地가 中山間地方으로 擴大되어가고 있다. 特히 1960年代 末 以後 柑橘 栽培面積의 急激한 增大와 더불어⁽¹⁶⁾ 一般 耕作地와 柑橘園이 中山間地方으로 急激하게 增大되어가고 있다.

濟州道 火山灰土는 磷酸 固定 能力이 매우 커서 土壤 磷酸의 有効도가 낮기 때문에 磷酸 肥料와 堆肥 등이 每年 多量으로 施用되어 왔는데, 特히 集約的인 營農方法에 依해 經營되고 있는 柑橘園에는 더욱 많은 量의 鹽基性肥料와 堆肥 등이 施用되어 왔다.^(2,16)

本稿에서는 濟州道 土壤의 分類와 一般의 特性에 對해 살펴보고, 標高 100 m 以下에 位置하고 있고 耕作年代가 오래된 循環道路邊의 土壤을 海岸地方 土壤, 標高 100 ~ 300 m의

는 곳에 位置하고 있고 比較的 耕作年代가 짧은, 俗稱 ‘中山間部落’ 周圍의 土壤을 中山間地方 土壤, 그리고 標高 300 m 以上되는 곳에 位置하고 있는 草地 및 山林土壤을 山間地方 土壤으로 區分하여 地帶別, 土地利用에 따른 化學的 特性 變化를 考察하고, 耕作年代에 따른 柑橘園 土壤의 化學的 特性 變化를 考察함으로써 改良이 極히 어려운 것으로 알려진 濟州道 土壤의 改良 可能性에 關하여 論議코자 한다.

II. 土壤分類 및 特性

1975 년에 完了된 濟州道 精密土壤調查 結果에 依하면 表 2 와 같이 濟州道の 土壤은 5 個目, 10 個 亞目, 12 個 大群, 30 個 亞群, 47 個 屬 및 64 個 統으로 分類되어진다.⁽⁴⁾

Table 2. Classification of soils in Cheju Island

Order (5)	Suborder (10)	Great group (12)	Subgroup (30)	Family (47)	Series (64)
Entisols	Psamments	Udipsamments	2	2	3
	Orthents	Udorthents	3	5	6
	Aquents	Psammaquents	1	1	1
Inceptisols	Andepts	Eutrandepts	4	4	4
		Dystrandepts	3	13	21
	Ochrepts	Eutrochrepts	5	8	11
		Dystrochrepts	4	4	4
	Aquepts	Haplaquepts	1	2	2
Alfisols	Udalfs	Hapludalfs	3	3	7
	Aqualfs	Ochraqualfs	1	1	1
Ultisols	Udulfts	Hapludulfts	2	3	3
Histosols	Saprists	Medisaprists	1	1	1

Udisaments, Udorthents, Psammaquents 는 未熟土로서 各各 堆積土, 岩碎土, 鹽類土와 類似한 土壤으로 山岳地 및 海邊에 分布되어 있다.⁽¹⁰⁾ Eutrandepts, Dystrandepts, Eutrochrepts, Dystrochrepts 는 半熟土로 Eutrandepts 가 濃暗褐色, Dystrandepts 가 黑色의 火山灰土이며 Eutrochrepts 와 Dystrochrepts 는 酸性 褐色森林土와 類似한 土壤으로서 이들 土壤群이 濟州道 土壤의 80 % 가가이 된다.^(4,10) Hapludalfs, Ochraqualfs, Hapludulfts 는 完熟土로서 이중 Hapludalfs 와 Hapludulfts 는 暗褐色土, 赤黃色土 및 黃褐色土와 類似한 土

4 亞熱帶農業研究

壤으로서 濟州道 土壤의 16% 정도가 된다.^(4,10) Medisaprists 는 有機質土로서 西歸浦市 西南方 및 城山邑의 熔岩流 平坦地에 局部的으로 分布된다.⁽¹⁰⁾

濟州道 土壤에 對한 概略的인 分布를 보면 그림 1 과 같이 暗褐色土(17.02%), 濃暗褐色土(41.37%), 黑色土(21.63%) 및 褐色森林土(13.92%)의 4 個 土壤群으로 大別할 수 있다.⁽⁴⁾

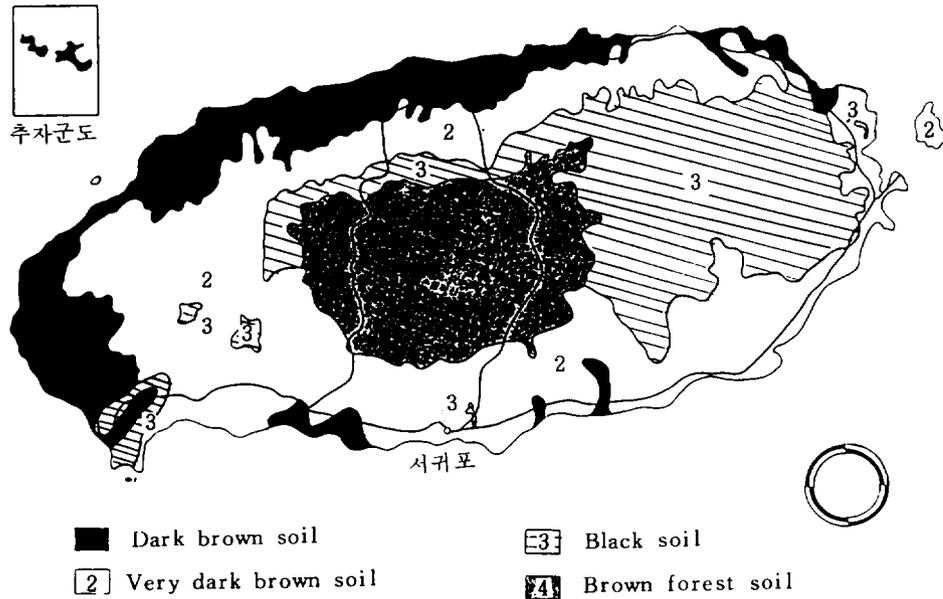


Fig.1. Soil map of Cheju Do.

暗褐色土, 赤黃色土 및 黃褐色土는 大靜, 翰京, 翰林, 涯月, 濟州市 等 西北部 海岸地方의 熔岩類 平坦地에 分布되며 主로 耕作地로 利用된다.⁽¹⁰⁾ 濃暗褐色土는 中山間地方의 熔岩類 平坦地에 分布되며 一部는 田作地 및 果園으로 利用되고 나머지는 草地로 利用된다.⁽¹⁰⁾ 黑色土는 城山·表善·南元 等 東部의 高地帶 熔岩流 台地에 分布되며 主로 野生草地로 利用되고, 褐色森林土는 海拔 700 m 以上の 森林地에 分布된다.⁽¹⁰⁾ 이 중 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土는 代表的인 火山灰土의 特性을 갖고 있으나 暗褐色土는 火山灰土의 特性을 弱하게 지니고 있다.⁽¹⁰⁾

濟州道 土壤의 物理的 特性은 表 3 과 같다.⁽³⁵⁾

暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 假密度와 眞密度가 낮아지고 있는데, 黑色土 및 褐色森林土에서의 假密度는 特히 낮다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 有機物과 假密度 사이에는 逆相關關係가 있는데, 多量으로 集積된 有機物 때문에 假密度가 0.4 g/cm³까지 내려가고 있다. 이렇게 極히 낮은 假密度는 火山灰土의 代表的인 特性으로서 Soil Texanomy 에서 火山灰土를 分類하는 基準이 되고 있다.⁽³⁵⁾

Table 3. Physical properties of Cheju soils (Shin, J.S. 1978)

	B.D	P.D	Porosity	Water retention(%)	
	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	1/3bar	15 bar
Dark brown soil	1.02	2.73	62.6	33.3	19.2
Very dark brown soil	0.85	2.59	67.2	67.3	29.4
Black soil	0.54	2.15	74.9	77.0	36.7
Brown forest soil	0.76	2.15	64.6	73.7	30.6

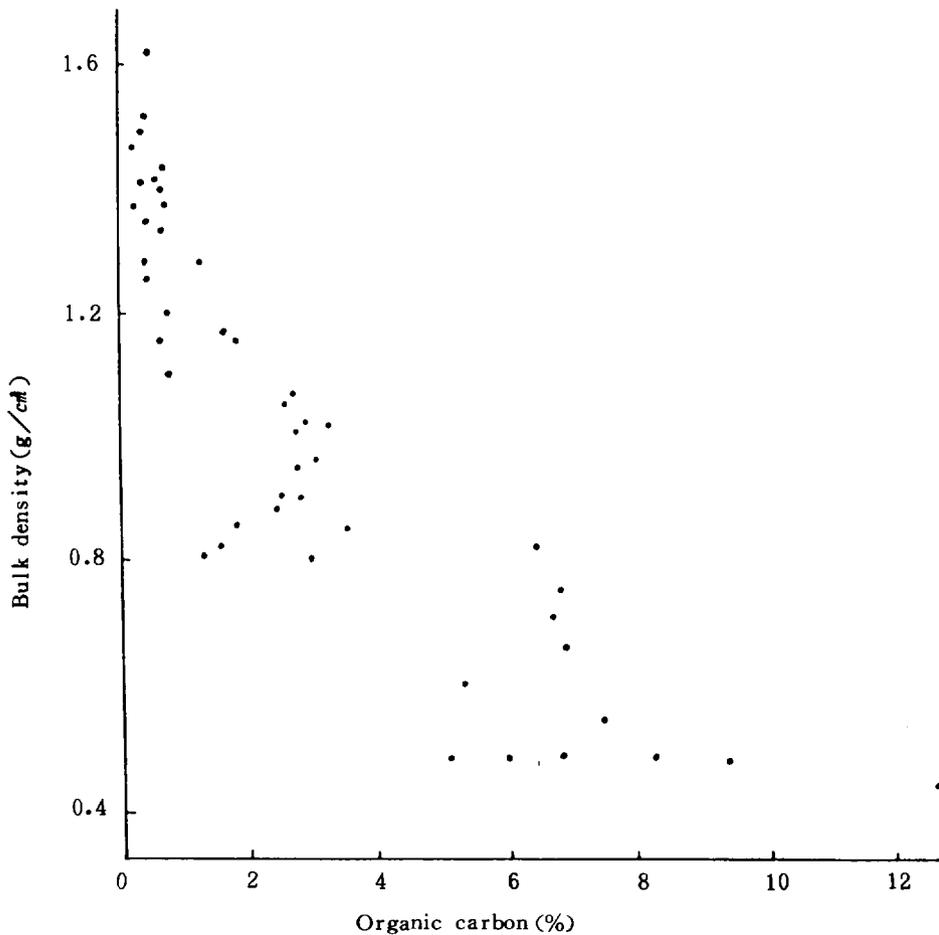


Fig.2. Relationship between bulk density and organic carbon (Shin, J.S. 1978)

黑色土 및 褐色森林土는 假密度가 極히 낮기 때문에 孔隙率이 매우 커서 三相中 固相의 比率이 20~30%에 不過하다.^(9,35) 따라서 毛細管 孔隙과 非毛細管 孔隙이 많고 透水性과 通氣性이 좋으며 排水가 良好한 長點이 있으나 土壤이 輕鬆하다는 問題點이 있다.^(8,13,35)

有效水分(圃場容水量과 萎凋係數와의 差) 保有力은 暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 높아지고 있는데 特히 黑色土 및 褐色森林土에서 높다.

이와 같이 透水性과 通氣性이 좋은 同時에 保水力이 큰 것은 一般土壤에서는 찾아볼 수 없는 火山灰土의 特性이다.^(13,35)

未耕地에서의 pH(H₂O)는 表4에서 보는 바와 같이 一般的으로 낮으며, 暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 낮아지고 있는데 反하여 pH(NaF)는 反對로 높아지고 있다.⁽³⁵⁾

Table 4. pH of Cheju soils (Shin, J.S. 1978)

	pH		
	(H ₂ O)	(KCl)	(NaF)
Dark brown soil	5.5	4.6	9.1
Very dark brown soil	5.1	4.5	11.5
Black soil	5.0	4.8	11.9
Brown forest soil	4.9	4.7	12.0

NaF 溶液으로 pH를 측정하면 F⁻ 이온이 陰이온중에서 電氣陰性도가 가장 強하기 때문에 土壤中에 있는 OH⁻ 이온을 置換시켜 pH를 높인다. 特히 火山灰土에서는 水酸化物的 形態로 存在하는 Al, Fe, Si 등의 化合物이 Allophane 表面에 多量으로 吸着되어 있을 뿐만 아니라 多量으로 集積된 有機物과 複合體를 形成하고 있는 Al, Fe 등도 主로 水酸化物的 形態로 存在하고 있기 때문에⁽²⁶⁾ 一般 壤質土壤에 比하여 pH(NaF)가 대단히 높다. 따라서 pH(NaF)가 9.4 以上이면 火山灰土로 分類된다.^(24,25,35) 暗褐色土에서는 pH(NaF)가 9.1에 不過하나 黑色土에서는 11.9, 그리고 褐色森林土에서는 12.0에 達하고 있다.

Table 5. Chemical properties of Cheju soils (Shin, J.S. 1978)

	OM (%)	Exch. cations (me/100g)				CEC (me/ 100g)	B.S (%)	SiO ₂ /P ₂ O ₅ Al ₂ O ₃ sorp. (mg/ 100g)	
		Ca	Mg	K	Na			2.32	1036
Dark brown soil	5.48	5.7	3.9	0.6	0.2	24.9	41.7	2.32	1036
Very dark brown soil	6.05	0.2	0.1	0.1	0.2	35.6	1.7	1.77	2048
Black soil	13.03	0.5	0.4	0.2	0.4	63.0	2.4	1.48	2300
Brown forest soil	12.0	0.3	0.3	0.2	0.3	59.6	1.9	1.44	2508

表 5에서 보는 바와 같이 暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 有機物, 陽이온置換容量 및 磷酸吸收係數는 높아지고 있으나 鹽基飽和度와 珪礬比는 낮아지고 있다.⁽³⁵⁾

濟州道 火山灰土는 難分解性 有機物의 集積으로 有機物 含量이 極히 높고 따라서 陽이온置換容量도 매우 높다. 特히 黑色土 및 褐色森林土에서는 陽이온置換容量이 60 me/100g 이나 되어 Kaolinite 를 主粘土礦物로 하고 있는 우리나라 一般土壤의 10 me/100g 에 比하여 대단히 높다.⁽³⁵⁾

陽이온置換容量은 높으나 鹽基 溶脫이 多量으로 일어나는 土壤 特性 때문에 置換性 鹽基 含量이 낮고(未耕地) 따라서 鹽基飽和度도 낮아 暗褐色土를 除外하고는 5%에도 미치지 못하고 있다.⁽³⁵⁾ 그러나 火山灰土의 陽이온置換容量이 pH의 變化에 따라 差異가 크기 때문에^(35,36) pH 7, NH₄OAc 로 측정된 陽이온置換容量은 實際 圃場보다 높고, 鹽基飽和度는 낮게 計算된다.⁽³⁵⁾ 따라서 表 5의 鹽基飽和度보다 實際 圃場에서는 높을 것이나 그럼에도 불구하고 鹽基飽和度는 매우 낮다. 磷酸吸收係數는 暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 높아지고 있는데, 特히 黑色土 및 褐色森林土에 磷酸肥料를 施用하면 大部分의 磷酸이 吸着, 固定되기 때문에 磷酸의 有効도가 낮아지는 問題가 크다는 것을 알 수 있다. 火山灰土에서 磷酸이 主로 陽荷電된 Al 및 Fe 의 水酸化物에 吸着되므로^(21,32) 土壤中 OH⁻ 基가 많을수록 많은 量의 磷酸이 吸着되고 따라서 磷酸吸收係數와 pH(NaF) 사이에는 直線的인 相關關係가 있다.⁽³⁵⁾

珪礬比는 暗褐色土, 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土의 順으로 낮아지는데 特히 黑色土 및 褐色森林土에서 極히 낮다. 非晶質 珪酸鹽 粘土礦物인 Allophane 이 火山灰 堆積物로부터 脫珪酸作用과 더불어 形成되기 때문에^(31,38) Allophane 含量이 많을수록 珪礬比가 낮아지고 따라서 Allophane 에서 Al 이 遊離되어 活性化되는 性質이 強해진다.^(13,35)

Ⅲ. 地帶別 化學的 特性 變化

그림 3에서 보는 바와 같이 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 pH가 낮아지고 있으며, 表土에 比하여 深土의 pH가 높은 傾向이다. 黃⁽¹⁸⁾에 依하여 報告된 全國 pH 平均値인 5.4 에 比하여 中山間地方이나 山間地方의 pH는 비슷하고 海岸地方은 월등히 높다. 또한 海岸地方의 pH는 우리나라 밭土壤의 '76~'79년 平均 pH가 5.9 라고 한 正等의 報告⁽⁸⁾와 比較해서도 높으나 中山間地方이나 山間地方은 낮다.

主粘土礦物인 Allophane 에 緣由하여 Al 活性이 대단히 크며,^(3,31) 遊離된 Al 과 Complex 를 形成하고 있는 多量의 有機物이 갖는 酸性^(7,29) 때문에 耕作年代가 오래되지 않은 中山間地方이나 山間地方의 土壤 pH가 낮은 것이라고 생각된다. 이러한 現象은 陽이온置換

容量이 매우 높는데 反하여 浸透性이 過多한 土壤條件과 많은 降雨에 依하여 鹽基溶脫이 쉽게 일어나기 때문에 더욱 促進된다.^(9, 13) 이는 深土의 pH가 表土마다 높은 傾向을 보이는 것과도 一致한다. 그러나 海岸地方의 耕作地에서는 오랜 耕作과 더불어 草木灰 및 海草의 施用, 石灰施用 그리고 熔成磷肥와 같은 鹽基性 肥料의 多量 施用에 依하여 pH가 높아진 것이라고 생각된다.

pH가 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 낮아졌듯이 鹽基飽和度 역시 山間地方으로 올라갈수록 낮아지는 傾向이다. 海岸地方의 pH가 全國平均보다 높아 表土, 深土 各各 6.0, 6.2에 達함에도 불구하고 鹽基飽和度は 40% 以下로 매우 낮으며 中山間地方은 20% 内外, 山間地方은 10% 内外로 더욱 낮다. 이는 日本의 火山灰土에서 pH가 6.3이나 되는데도 鹽基飽和도가 15%에 불과하다고 한 Kanno의 報告⁽³¹⁾와 같은 現象으로 앞으로 究明되어야 할 火山灰土의 特性이다.

그림 4에서 보는 바와 같이 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 有機物 含量이 높아지는 傾向이며, 이는 全國 有機物 含量 平均値인 2%⁽⁸⁾에 비해 대단히 높다. 濟州道 土壤에서 有機物 含量이 높은 것은 有機物이 Allophane과 Complex를 形成하여 分解에 對한 低抗性을 가지며,^(29, 31, 38) 土壤微生物의 活動에 有害한 多量의 Al에 依해 微生物의 번식이 制限되고 磷酸의 固定으로 그 活動이 더욱 阻害되어 어느 一定線에서 分解가 정지되어 集積되기 때문이다.^(13, 17, 20, 29, 35) 또한 乾燥와 濕潤이 反復되는 Monsoon의 氣候條件과 通水, 通氣性이 良好한 Allophane質 土壤條件에 生育이 良好한 草本植物이 有機物 給源으로 多量 供給되기 때문이다.^(17, 31) 그러나 一般적으로 耕作年代가 오래된 海岸地方의 耕作地에서는 계속적인 耕耘과 耕作의 進行에 따라 有機物의 分解가 促進되기 때문에 그 含量이 낮은 것으로 생각된다.

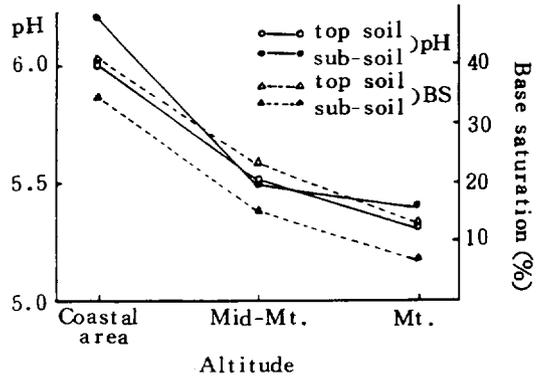


Fig. 3. Variations in the pH and the base saturation of soils with altitude.

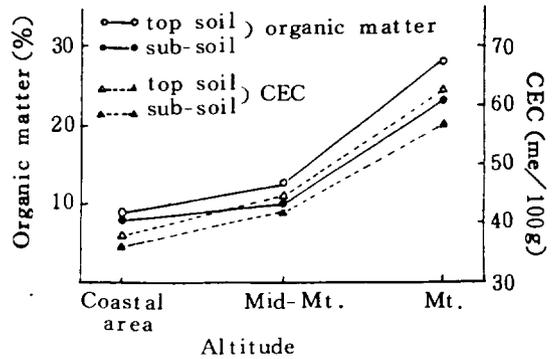


Fig. 4. Variations in the organic matter content and CEC of soils with altitude.

濟州道 土壤에 있어서 有機物 含量이 매우 높으나 이는 Al의 複合 膠質物로서 鹽基吸着力이 弱하며 難分解性이므로^(13,20,26) 養分給源이나 一般 腐植과 같은 地力增進 效果가 거의 없을 뿐만 아니라^(13,26) 오히려 假密度를 낮게 하는 問題를 야기시킨다.^(9,13)

그림 5와 같이 우리나라 南部의 溫度가 높고 通氣가 良好한 壤土 및 砂壤土에서는 有機物 含量이 높을수록 窒素應酬가 작아지나 濟州道 火山灰土에서는 反對로 窒素應酬가 커지는 傾向을 보이고 있다.⁽⁶⁾ 溫度가 높고 通氣가 良好한 우리나라 南部地方 土壤에서는 土壤 微生物에 의해 有機物의 分解가 쉽게 되어 有機物로부터 상당량의 窒素 供給이 있으나, 濟州道 火山灰土에서는 有機物의 C/N率이 높아 窒素饑餓 現象이 항상 일어나기 때문에 窒素應酬가 커지거나,⁽⁶⁾ 아니면 有機物이 많은 土壤일수록 難分解性의 有機物이 集積되어 있어서 微生物의 分解에 의해 供給되는 窒素量이 적기 때문일 것이라고 推定된다.

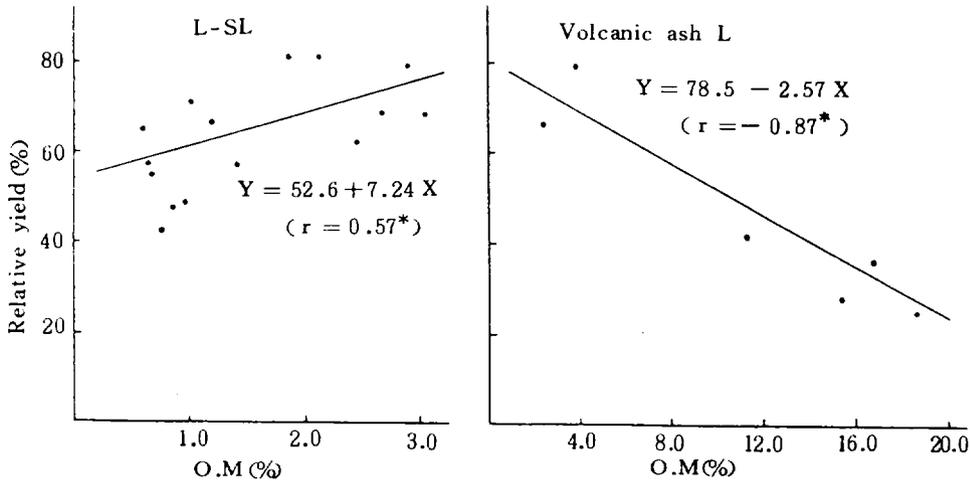


Fig.5. Correlation between relative yields and organic matter contents in light-textured soils of south region and volcanic ash soil (Park, N. J. et al. 1973)

濟州道 土壤이 갖는 이러한 有機物의 特性 때문에 有機物의 施用 效果가 顯著하게 나타나는 것이 特徴적이다.^(6,13,15) 濟州道 柑橘園 土壤에 堆肥, 油粕, 鷄糞, 海草 등 有機物의 效果가 特히 좋으며,⁽⁶⁾ 堆肥와 熔成磷肥의 混合施用 效果가 極히 높아서 大豆에 있어서 50%의 增收를 가져왔다는 報告⁽¹³⁾가 있다.

濟州道 火山灰土에 堆肥를 施用하면 土壤에 陰性膠質體를 增加시켜 NH_4^+ , Ca^{++} , K^+ 등의 吸着力을 높이고 微量元素를 包含하여 各種 養分을 供給할 뿐만 아니라 緩衝力이 弱하고 礮土性이 강한 酸性土에 對해서 堆肥에 의해 生成되는 腐植酸이나 糖類 등이 遊離 Al이나 Fe와 Complex를 形成하여 施肥 磷酸의 固定力을 減少시키는 效果가 나타난다.^(6,13,15,27)

陽이온置換容量도 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 높아지는데 이는 有機物 含量의 增加 傾向과 一致한다. 特히 山間地方 土壤의 陽이온置換容量은 60me/100g에 達하여

海岸地方과 比較하여 2倍 가까이 된다. 濟州道 土壤의 陽이온置換容量이 높은 것은 Allophane 에 緣由하여 有機物 含量이 높은 것에 基因된다. 이는 陽이온置換容量과 有機物 含量 사이에 高度로 有意한 상관관계가 있는 것(農土 $r = 0.836^{**}$, 深土 $r = 0.740^{**}$) 〃으로 確因할 수 있다. Martini 等^(29,30)은 中央아메카의 火山灰土(Andepts)에서 土深이 깊어질수록 陽이온置換容量이 減少하는 것은 Allophane 과 有機物 含量이 減少하는 것과 直線的인 관계가 있으며,²⁹⁾ 같은 中央아메리카 火山灰土이면서도 土壤 分化가 더욱 進陟된 土壤(Latosols)에서는 有機物 含量이 減少해도 粘土 含量이 增加하기 때문에 陽이온置換容量에는 差異가 없다고 하였다.³⁰⁾

濟州道 火山灰土에서는 土深이 깊어질수록 有機物 含量이 낮아짐에 따라 陽이온置換容量이 낮아지는데, 이는 陽이온置換容量이 有機物에 依해 決定的으로 左右되기 때문이라고 생각된다.

濟州道 火山灰土는 活性化 磷酸을 吸着, 固定시키는 能力이 대단히 크다. 따라서 有效磷

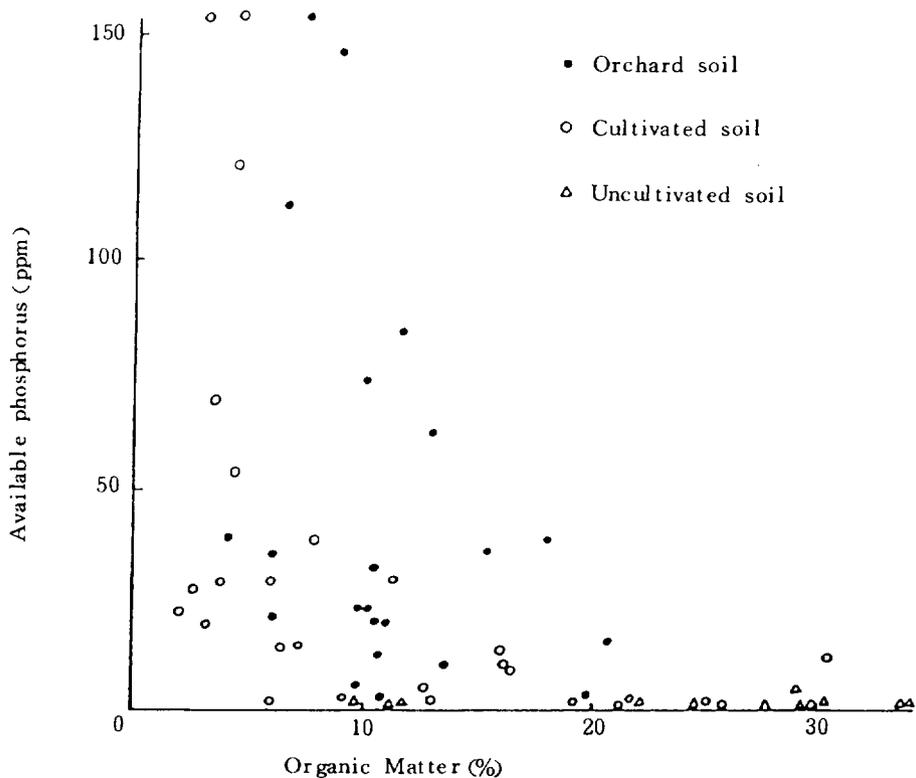


Fig.6. The relationship between the oraganic matter and the available phosphorus in three types of soils.

酸이 缺乏되기 쉬우며 施用磷酸도 無効化되기 쉬워 作物 栽培에 있어서 커다란 問題로 되고 있다. ^(2,6,9,13,15) 이는 Allophane의 等電點의 매우 높아서 中性 가까이에 있기 때문에 弱한 酸性에서도 陽性 Colloid가 되어 磷酸과 같은 陰이온을 多量으로 吸着할 뿐만 아니라 Allophane 으로부터 遊離된 多量의 活性 Al 과 施用 磷酸이 結合하여 不溶化되기 때문이다. ^(13,29,31)

有効磷酸 含量과 有機物 含量과의 關係를 土地利用別로 보면 그림 6과 같다.

Allophane 含量과 直線的인 상관관계가 있는 有機物²⁹⁾과 有効磷酸 사이에는 負의 상관관계($r = -0.402^{**}$) ⁷⁾가 있다. 有機物 含量이 5% 以下인 밭土壤에서는 有効磷酸이 20ppm에서 300ppm까지 매우 多樣한 分布를 보이고 있으나, 有機物 含量이 5% 以上인 밭土壤에서는 有効磷酸이 모두 40ppm 以下로 매우 많은 量의 磷酸이 固定되었음을 알 수 있다. 未耕地에서는 有機物 含量에 관계없이 有効磷酸 含量이 5ppm 以下로 極히 낮으나, 柑橘園 土壤에서는 磷酸質 肥料를 每年 多量으로 施用하기 때문에 有機物 含量이 높더라도 有効磷酸 含量이 높게 나타나고 있다.

置換性 Ca, Mg 및 K 含量은 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 낮아지며, 表土에서의 含量이 深土보다 높다(表 6). 置換性 Ca, Mg 및 K의 全國 平均値인 5.0me/100g, 1.9me/100g, 0.48me/100g⁸⁾에 比하여 含量이 比較的 높으나 陽이온置換容量이 매우 높기 때문에 各各의 飽和率은 낮다.

Table 6. Contents of exchangeable cations (me/100g)

		CEC	Ca	Mg	K	Na
Coastal area	top soil	38.0	11.59	2.55	0.94	0.46
	sub-soil	35.8	8.57	2.45	0.77	0.58
Mid-Mt.	top soil	43.6	7.29	1.73	0.86	0.37
	sub-soil	40.1	4.10	0.85	0.76	0.38
Mt.	top soil	62.5	5.50	1.24	0.58	0.39
	sub-soil	57.1	2.37	0.37	0.24	0.45

中山間地方이나 山間地方에 比하여 海岸地方의 置換性 陽이온 含量이 현저하게 높은 것은 海岸地方일수록 耕作年代가 오래 되었기 때문이라고 생각된다. Ca 과 Mg 含量이 많은 熔成磷肥가 多量으로 施用되어 왔으며, 또한 濟州道에 供給되고 있는 石灰가 苦土 含量이 3% 内外인 具砂⁽¹⁹⁾인데 全國 平均値⁽⁸⁾와 比較하여 置換性 Ca이 Mg보다 더욱 높은 것으로 보아 많은 石灰 施用이 이루어졌음을 알 수 있다. 置換性 K 含量은 地帶에 관계없이 全國 平均値⁽⁸⁾보다 높는데, 이는 濟州道 火山灰土에 Allophane 외에도 Vermiculite가 多

量으로 存在하기¹⁾ 때문이다. 또한 K成分含量이 높은 海藻類로 製造한 堆肥의 施用도 이에 關여되었으며, 多量으로 施用한 加里肥料가 蓄積되었기 때문이라고 생각된다.

置換性 Na含量은 地帶間에 큰 差異가 없으며 地域에 關係없이 表土보다 深土에서 높은 것으로 보아 溶脫이 쉽게 일어난다는 것을 알 수 있고, 또한 一般 耕作地에는 溶脫되는 量보다 더 많은 量의 Ca, Mg, K 등이 施用되어 왔음을 알 수 있다.

總鹽基中에서 Ca, Mg, K 및 Na이 차지하는 比率를 보면 表7과 같다.

Table 7. Proportions (%) of exchangeable bases.

		Ca	Mg	K	Na
Coastal area	top soil	74.6	16.4	6.0	3.0
	sub-soil	69.3	19.8	6.2	4.7
Mid-Mt.	top soil	71.1	16.9	8.4	3.6
	sub-soil	67.3	14.0	12.5	6.2
Mt.	top soil	71.3	16.1	7.5	5.1
	sub-soil	69.1	10.8	7.0	13.1

Black²²⁾에 依하면 置換性 鹽基 總量에서 2價 陽이온이 차지하는 百分率은 濕潤地方의 酸性土壤에서 보통 90% 以上이며, K含量比는 2~4%에 不過하고 Na含量比는 海水의 影響을 받지 않는 한 2~3%에 不過하며, 乾燥地方의 鹽類土壤일수록 Na含量比가 높아지고 따라서 置換性 鹽基 總量에서 1價 陽이온이 차지하는 比率이 높아진다고 하였다.

濟州道 土壤이 濕潤地方의 酸性土壤임에도 불구하고 Na含量比가 3.0~13.1%로 매우 높은 것으로 보아 海風의 影響을 받고 있음을 알 수 있다. 그런데 海岸地方에서 山間地方으로 올라갈수록 pH가 낮아지나 置換性 鹽基 總量에서 1價 陽이온이 차지하는 比率이 높아지는 것으로 보아 海岸地方 耕作地에 Ca, Mg 등이 多量 施用되었음을 確認할 수 있다. 따라서 濟州道 海岸地方의 土壤 pH가 높은 것은 海風의 影響에 依한 것이라기보다는 Ca, Mg 등을 多量 施用한 結果라는 것을 알 수 있다.

IV. 耕作年代에 따른 柑橘園 土壤의 化學的 特性 變化

濟州道 火山灰土는 磷酸을 吸着, 固定시키는 能力이 대단히 커서 有効磷酸이 缺乏되기 쉽기 때문에 作物 栽培에 있어서 磷酸肥料의 效果가 좋다는 것이 農民들에게 널리 알려져 Ca과 Mg含量이 높은 熔成磷肥가 每年 多量으로 施用되어 왔다. 特히 集約的인 營農方

法에 依해 經營되고 있는 柑橘園에는 더욱 많은 量의 熔成磷肥⁽²⁾ 뿐만 아니라 柑橘의 新梢 生長에 效果가 特히 좋은 加里肥料⁽⁶⁾를 비롯하여 草本灰, 海藻類 및 기타 有機物이 每年多 量으로 施用되어 왔다. 이를 具體的으로 보기 위해 濟州道에서의 單位面積當 肥料 消費量 과 窒素肥料에 對한 磷酸 및 加里肥料의 消費比率를 全國 平均과 比較하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 濟州道에서의 單位面積當 肥料 消費量은 全國 平均에 比하여 60年代 末 以後 繼續的으로 더 많아지고 있다.^(3, 16) 이는 柑橘 栽培面積이 60年代 末 부터 急激하게 增大되어 온 것⁽¹⁶⁾과 같은 傾向이다.

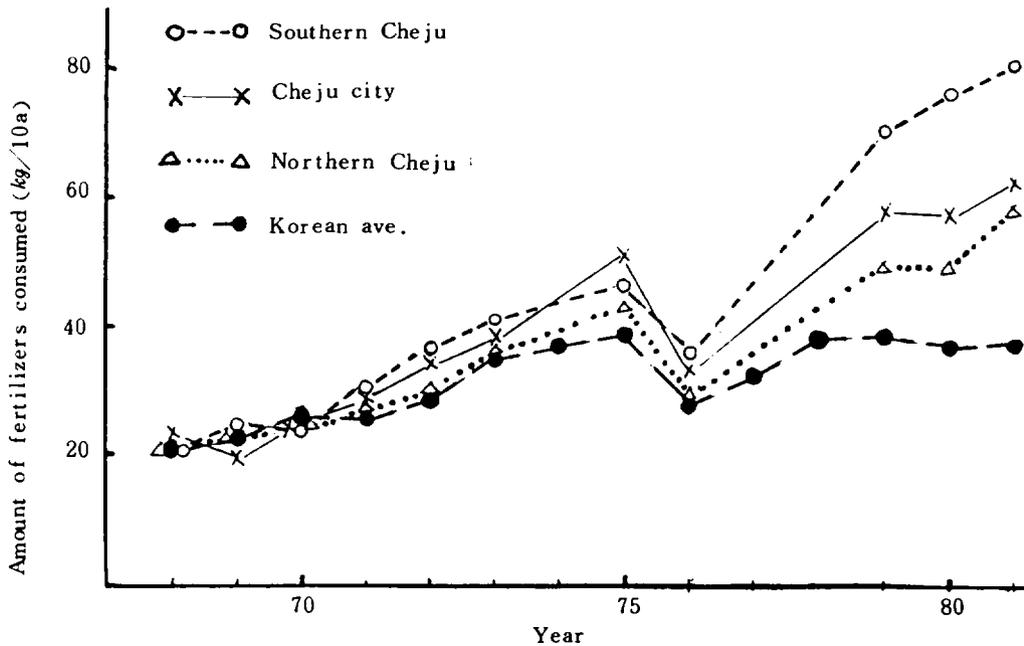


Fig.7. Annual consumption of chemical fertilizers per unit area of cultivated land.

單位面積當 肥料 消費量은 濟州道 內에서도 南濟州郡이 濟州市나 北濟州郡에 比해 더 많 다. 特히 柑橘 栽培面積이 '82년 現在 全耕作地의 65.6%나 되는 西歸浦에서는 肥料 消費量이 104kg/10a에 達해⁽¹⁶⁾ 全國 平均의 3배나 되는 것으로 보아 柑橘園에 매우 많은 量의 肥料가 施用되고 있음을 알 수 있다.

窒素肥料에 對한 磷酸 및 加里肥料의 消費比率도 全國 平均에 比하여 濟州道에서 더 높은데(그림 8), 이에서 火山灰土의 特性 및 柑橘 栽培特性을 고려하여 肥料를 施用해 왔다는 것을 確認할 수 있다.

窒素肥料에 對한 磷酸과 加里肥料의 施用比率는 '74 ~ '75년 以後 더욱 현저하게 높다.

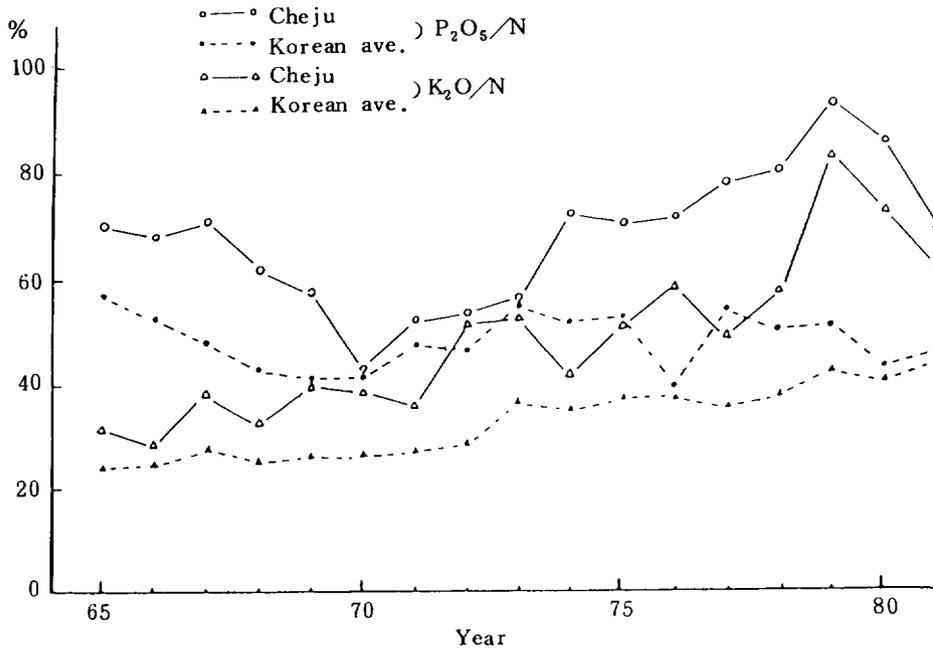


Fig.8. Yearly patterns of the ratios of P₂O₅ and K₂O to N in chemical fertilizers applied.

이는 '75년 봄 濟州道에서 開催된 '濟州道 土壤에 관한 심포지움'(土壤肥料學會 主催)의 영향으로 생각된다.

濟州道 內에서도 濟州市나 北濟州郡에 比하여 南濟州郡에서 窒素肥料에 對한 磷酸 및 加里肥料의 施用比率이 더 높다(그림 9, 10).

이는 火山灰土의 特性이 弱한 暗褐色土가 北濟州郡과 濟州市 農耕地에 널리 分布되어 있는데 反하여 南濟州郡의 耕作地에는 主로 濃暗褐色土 및 黑色土가 分布되어 있으며,^(4,10) 濟州道 柑橘園의 70%가 南濟州郡에 位置하고⁽¹⁶⁾ 있기 때문이다.

이와 같이 濟州道 柑橘園에 매우 많은 量의 肥料을 施用하는데 特히 磷酸과 加里肥料를 많이 施用하므로 全國 平均에 比하여 單位面積當 施肥量이 濟州道에서 더 많을 뿐만 아니라 窒素肥料에 對한 磷酸과 加里肥料의 施用比率도 더 높게 나타나고 있다. 이러한 傾向은 柑橘園이 많은 南濟州郡에서 더욱 顯저하다. 特히 濟州道 火山灰土는 假密度가 0.4~0.9 g/cm³에 불과하여^(9,35) 一般 陸地 土壤의 1/2 程度에 불과하기 때문에 土壤重量을 基準한다면 2倍의 量이 施用된 結果가 되어 柑橘園에 施用되는 肥料量이 더욱 엄청나게 많다는 것을 알 수 있다.

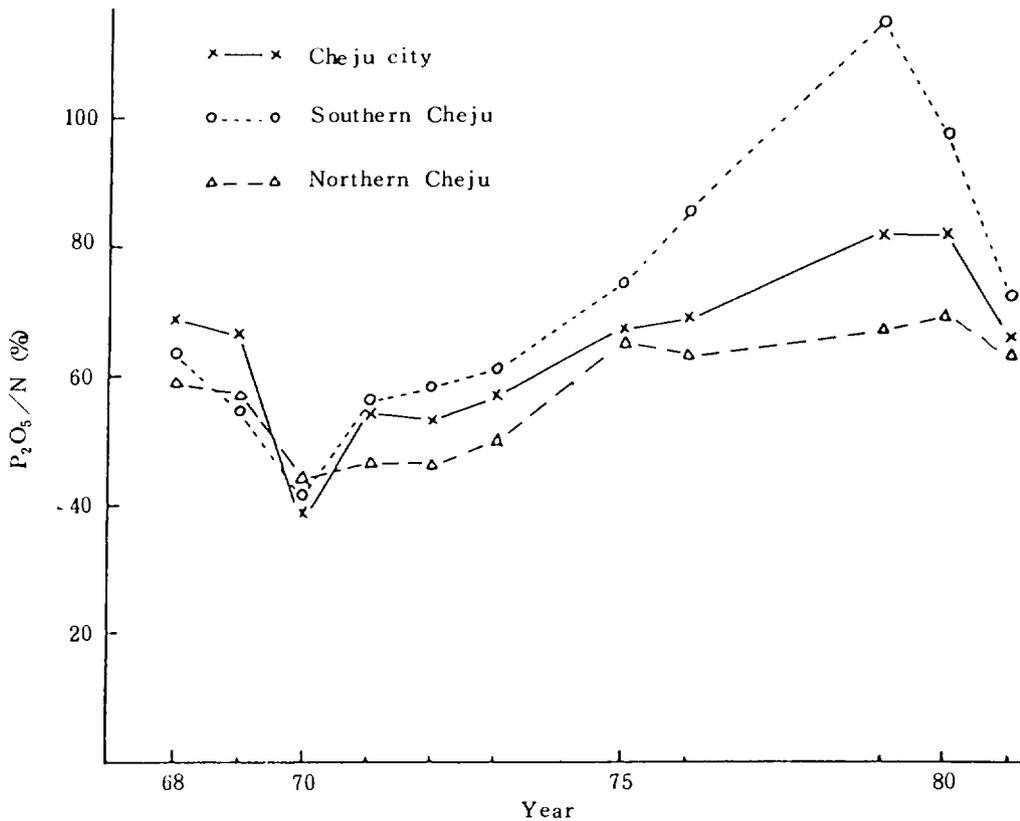


Fig.9. Yearly patterns of the ratios of P₂O₅ to N in chemical fertilizers applied.

濟州道 柑橘園에 磷酸 및 加里肥料을 每年 多量으로 施用해온 結果 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 土壤中 有効磷酸(Bray No.1-9) 含量이 增加하고 있다(그림 11). 30 ~ 50 cm의 深土에서는 그 增加 趨勢가 미미하나 30년 以上된 柑橘園에서는 一般 耕作地와 5년된 柑橘園의 表土와 비슷한 水準까지 增加하였음을 알 수 있다.

濟州道 火山灰土는 磷酸을 吸着, 固定하는 能力이 대단히 커서 磷酸肥料을 多量으로 施用하더라도 有効磷酸 含量 增加가 크지 않은 것으로 알려져 있는데,¹³⁾ 開園年度가 오래된 柑橘園 土壤에서는 有効磷酸 含量이 상당한 水準으로 增加되어 있다. 特히 濃暗褐色土와 黑色土인 南濟州郡 柑橘園 土壤을 分析對象으로 하였기에 그 增加 傾向이 더욱 意味있는 것 이라고 생각된다. 따라서 濟州道 火山灰土에 磷酸肥料을 一時에 多量으로 施用하지 않고 每年 連用하면 오래된 柑橘園 土壤에서처럼 有効磷酸의 含量을 높은 水準까지 增加시킬 수 있을 것이다.

그림 12 및 13에서와 같이 置換性 Ca 과 Mg 含量도 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록

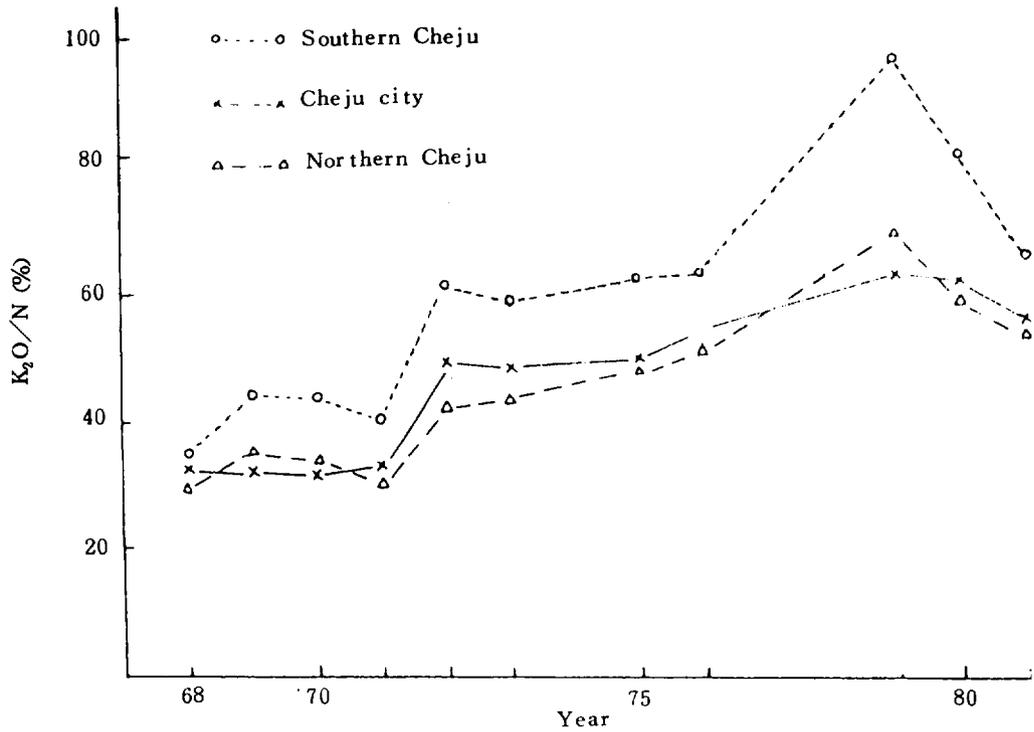


Fig.10. Yearly patterns of the ratios of K₂O to N in chemical fertilizers applied

增加하고 있다. 置換性 Ca 및 Mg 含量에 있어서 5년된 柑橘園 土壤이 一般 밭土壤보다 낮은 것은 最近에 開園된 柑橘園이 주로 未耕地를 開墾하여 이루어진 것이기 때문이라고 생각한다.

밭土壤과 5년된 柑橘園에서는 表土와 深土 사이에 置換性 Ca 과 Mg 含量이 거의 없다. 그러나 10~15년된 柑橘園에서는 深土에서 置換性 Ca 과 Mg 含量이 거의 증가하지 않으나 表土에서 현저하게 증가하기 때문에 表土와 深土間에 그 含量差가 매우 크다. 이것

은 溶脫이 많이 일어나는 土壤特性이 있음에도 불구하고 溶脫量보다 施肥量이 훨씬 많기 때문이라고 생각된다. 30년 이상된 柑橘園에서야 深土에서 Ca 과 Ma 이 현저한 增加 傾向을 보이고 있다.

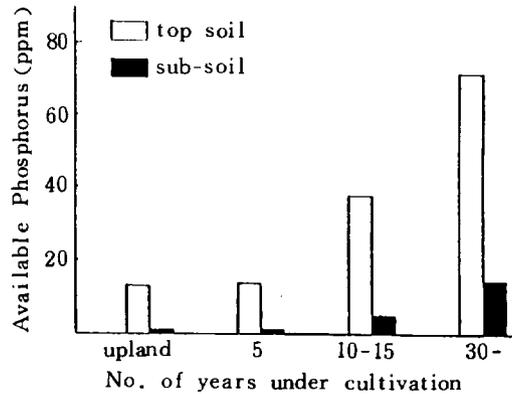


Fig.11. The available phosphorus content of citrus orchard soils.

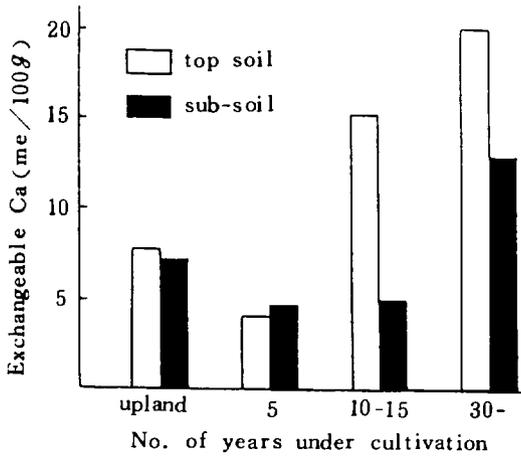


Fig.12. The exchangeable Ca of citrus orchard soils.

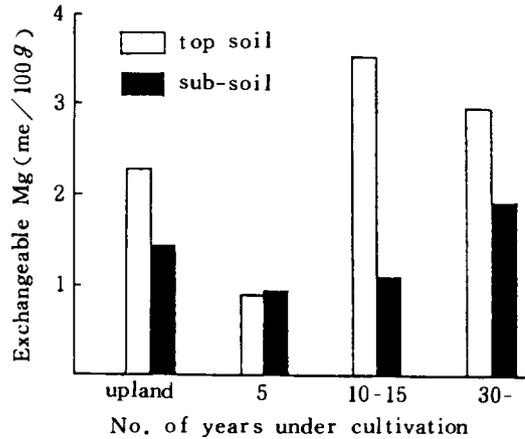


Fig.13. The exchangeable Mg of citrus orchard soils

그림 14 와 같이 開園年度가 오래된 柑橘園일수록 土壤中 置換性 K 含量도 增加하고 있다.

10~15년된 柑橘園에서 置換性 Ca 平均値는 15 me/100g 에 達하며, 30년 以上된 柑橘園에서는 무려 20 me/100g 에 達하고 있다. 이는 Kaolinite 가 主粘土礦物인 우리나라 一般土壤의 陽이온置換容量 10 me/100g 의 倍에 達하는 매우 많은 量이다. 一般的으로 濟州道 火山灰土는 溶脫이 甚하여 問題되는 것^(9, 13) 으로 알려져 있으나, 陽이온置換容量이 크기 때문에 많은 量의 置換性 陽이온들이 土壤에 保有되어 作物에 利用될 수 있을 것이라고 생각된다.

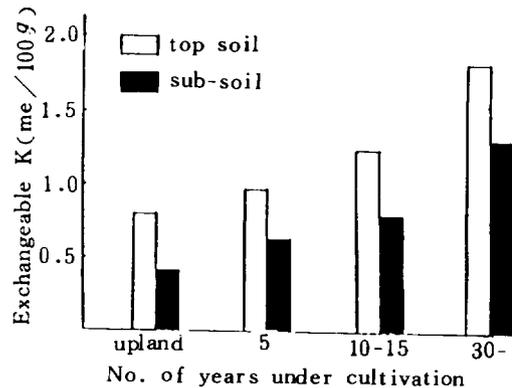


Fig.14. The exchangeable K of citrus orchard soils

開園年度가 오래된 柑橘園 土壤에 매우 많은 量의 置換性 Ca 이 吸着되어 있으나 置換性 Mg 과 K 도 多量으로 存在하고 있기 때문에 置換性 陽이온 사이에 養分收支 不均衡은 問題되지 않을 것이라고 생각된다. 물론 置換性 Ca, Mg, K 등이 多量으로 存在하기 때문에 微量元素 缺乏問題가 일어날지 모르나, 이는 앞으로 研究되어야 할 課題라고 생각된다.

陽이온置換容量은 柑橘園의 耕作年代에 따라 거의 變하지 않는데 反하여 Ca, Mg, K 등과 같은 置換性 鹽基 含量이 增加하므로 柑橘園의 開園年度가 오래 될수록 鹽基飽和度가 높아지고 있다(그림 15).

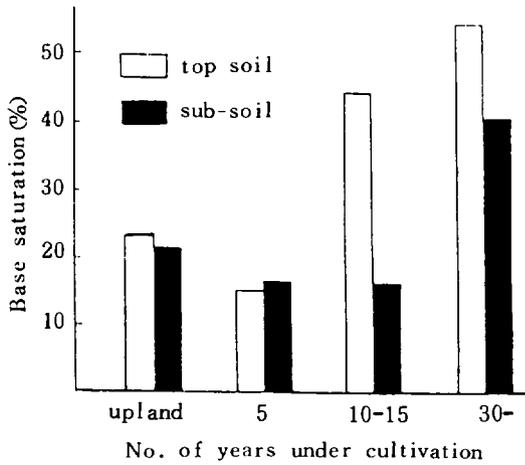


Fig.15. The base saturation (%) of citrus orchard soils.

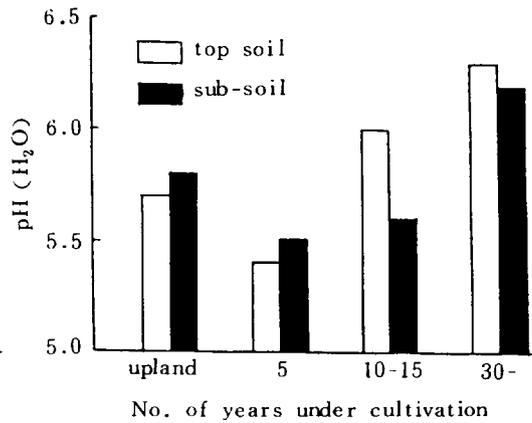


Fig.16. pH(H₂O) of citrus orchard soils

따라서 pH 역시 柑橘園의 開園年度가 오래될수록 높아지고 있다(그림 16). 밭土壤과 5년된 柑橘園 土壤에서는 深土의 pH가 表土의 pH보다 높으나 耕作年數가 10년 이상되면 表土의 pH가 더 높다. 이는 10년 이상된 柑橘園 土壤에서 置換性 Ca, Mg 및 K 含量이 현저하게 增加하는 것과 같은 現象이다. 30년 이상된 柑橘園에서는 深土의 pH도 매우 높다.

濟州道 火山灰土는 石灰를 多量으로 施用하여도 pH 變動이 極히 緩慢하다고 널리 알려진 것^(11,12,13)과는 달리 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 pH가 현저하게 增加하고 있다. 지금까지 濟州道 火山灰土의 酸度矯正을 위하여 行해진 試驗으로는 置換性 Al 含量을 基準으로 石灰를 施用하여 pH 變化를 본 試驗^(11,12) 밖에 없다. 置換性 Al 含量을 基準하여 1~3 me/100g의 石灰를 施用했을 때 pH 變化가 거의 없었을 뿐만 아니라 置換性 Al 및 活性 Al 含量 減少도 거의 없었다고 한다.^(11,12) 이는 濟州道 火山灰土의 陽이온置換容量이 40~60 me/100g 정도로 매우 높는데 反하여 置換性 Al 含量은 1~2 me/100g에 不過하여 一般 酸性土壤과 比較해서도 1/3 밖에 되지 않을 정도로 적기 때문에⁽¹¹⁾ 그에 相當하는 石灰 施用에 依해 pH 變化가 거의 없었던 것으로 생각된다. 따라서 置換性 Al 含量을 基準하여 石灰所要量을 算出할 것이 아니라 置換性 水素 含量을 基準으로 하여 石灰所要量을 算出하고 그에 相當하는 石灰를 濟州道 火山灰土에 施用한다면 지금까지 알려진 것보다 pH 變化가 클 것으로 豫상된다.

柑橘園 土壤의 置換性 Al 含量은 그림 17과 같다. 여기에서 置換性 Al이란 주로 Al(H₂O)₆³⁺의 形態로 存在하는 Al으로서 1N KCl 溶液으로 浸出되는 Al을 意味한다. 그리고 活性 Al은 Al(H₂O)₆³⁺ 形態로 存在하는 Al 뿐만 아니라 Al 水酸化物의 形態로

粘土鑛物에 吸着되어 있는 Al 및 有機物과 Complex를 形成하여 存在하고 있는 Al 으로서 1N NH₄OAc(pH 4.8)으로 浸出되는 Al 을 뜻한다.⁽³⁴⁾

濟州道 土壤의 置換性 Al 含量은 pH가 같은 一般 鑛質 酸性土壤의 1/3에 不過하다는 報告⁽¹¹⁾와 같이 全般的으로 낮다. pH가 같을 때 有機物 含量이 높은 土壤일수록 置換性 Al 含量은 낮으며,⁽²³⁾⁽³⁷⁾와 火山灰土에 Al 含量이 높다고 하더라도 多量으로 集積된 有機物의 영향으로

作物에 直接的인 Al 害毒을 끼치지 않는다는 報告⁽²³⁾ 등이 있다. 또한 酸性 土壤에 有機物을 施用하면 有機物이 Al 과 Complex를 形成하여 Al 活性을 感少시키기 때문에 置換性 Al 含量이 낮아질 뿐만 아니라 pH를 높이는 等 石灰 施用과 같은 效果가 있다는 報告⁽²⁷⁾도 있다. 따라서 濟州道 土壤의 置換性 Al 含量이 全般的으로 낮은 것은 多量으로 集積된 有機物의 영향에 依한 것이라고 생각되나, 有機物과 置換性 Al 含量 사이에 直接的인 상관관계는 없었다.⁽⁷⁾

柑橘園의 開園年度가 오래될수록 置換性 Al 含量이 減少되고 있다. 10 ~ 15년된 柑橘園의 表土에서는 置換性 Al 含量이 20ppm에 不過하며, 30년 以上된 柑橘園에서는 表土 深土 各各 5ppm, 10ppm으로서 深土에서도 현저하게 減少되었음을 보여주고 있다.

그림 18에서 보는 바와 같이 pH와 置換性 Al의 對數值 사이에 高度로 有意한 상관관계가 있다. 陽이온置換容量이 40 ~ 50me/100g으로 매우 높으며, 置換性 水素 含量이 매우 낮은 것으로 보아 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 置換性 Al 含量이 減少하는 것은 pH 增加에 基因된다는 것을 알 수 있다.

濟州道 火山灰土의 置換性 Al 含量이 全般的으로 낮은 것과는 달리 活性 Al 含量은 그림 19에서 보는 바와 같이 매우 높다. 特히 深土의 活性 Al 含量은 더욱 높아 置換性 Al 含量의 10 배 以上이나 된다. 이것은 濟州道 火山灰土가 非晶質 珪酸鹽 粘土鑛物인 Allophane을 主粘土鑛物로 하고 있기 때문에 Al이 水酸化合物의 形態로 Allophane 表面에 多量으로 吸着되어 있을 뿐만 아니라⁽³³⁾ 火山灰土에 多量으로 集積되어 있는 有機物과 Complex를 形成하여 存在^(28,35)하고 있기 때문이라고 생각된다.

밭土壤과 5년된 柑橘園에서 表土의 pH가 深土의 pH보다 낮기 때문에 置換性 Al 含量이 表土보다 深土에서 낮은 것과는 달리 活性 Al 含量은 表土에서 낮다. 10 ~ 15년된 柑橘園에서는 表土의 活性 Al이 深土의 1/3에 不過할 정도로 현저하게 減少되고 있으며,

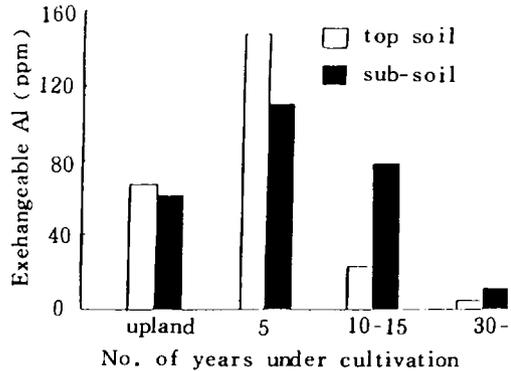


Fig.17. The exchangeable Al of citrus orchard soils

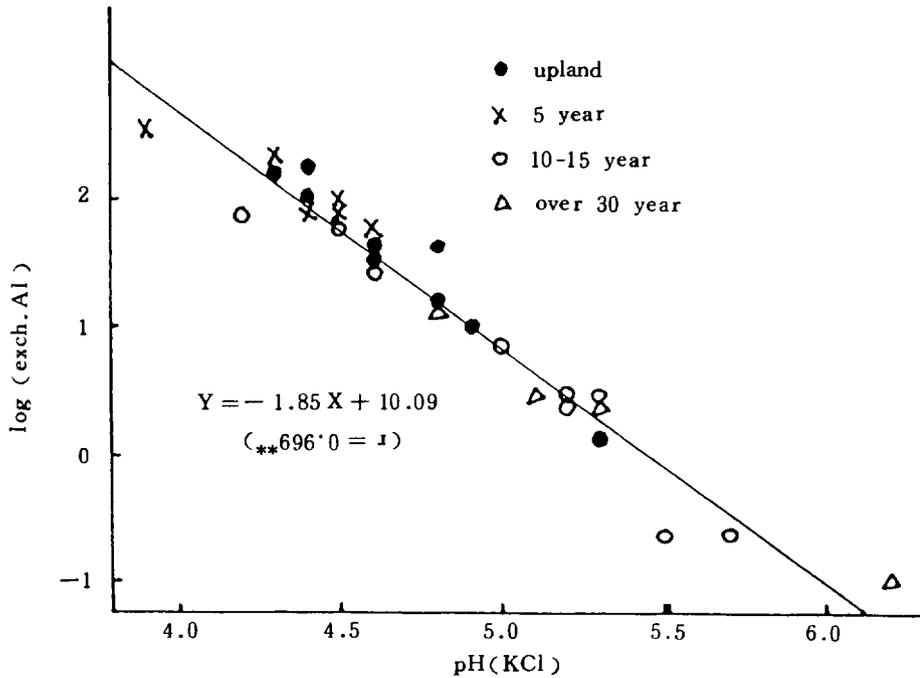


Fig.18. The relationship between pH(KCl) and log(exchangeable Al) in Cheju citrus orchard soils.

30년 이상된 柑橘園에서는 表土 뿐만 아니라 深土의 活性 Al 含量도 상당히 減少되고 있다.

柑橘園의 開園年度가 오래될수록 pH가 높아지고 이에 따라서 置換性 Al 含量이 減少되는 것과는 달리 活性 Al 은 多量으로 施用되고 있는 磷酸肥料의 영향으로 그 活性이 減少되는 것이라고 생각된다. 즉 酸性土壤에 石灰를 施用했을 때 pH가 높아짐에 따라서 置

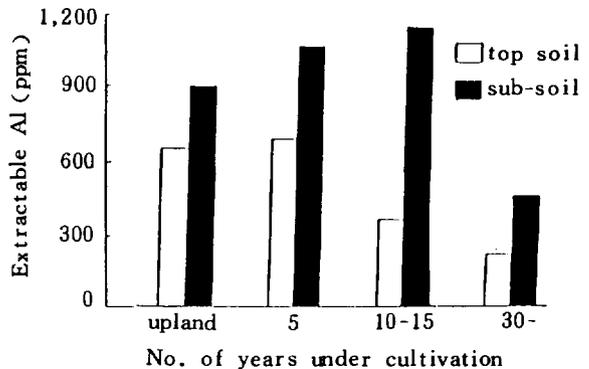


Fig.19. The extractable Al of citrus orchard soils

換性 Al 含量은 현저하게 減少되나 活性 Al 含量은 거의 減少되지 않으며,⁽²⁸⁾ 磷酸과 結合되어 있는 Al 은 活性 Al 浸出液으로도 거의 浸出되지 않을 정도로 強하게 結合되어 있기 때문이다.⁽⁴⁰⁾ 이것은 그림 20에서 보는 바와 같이 表土에서는 活性 Al 과 有効磷酸 含量 사이에 高度로 有意한 負의 상관관계가 있는데 反하여 施用 磷酸이 深土로 거의 移動하

자 않기 때문에 深土에서는 有效磷酸 含量이 매우 낮을 뿐만 아니라 活性 Al의 含量 變化에 거의 영향을 주고 있지 않다는 사실에서 確認할 수 있다.

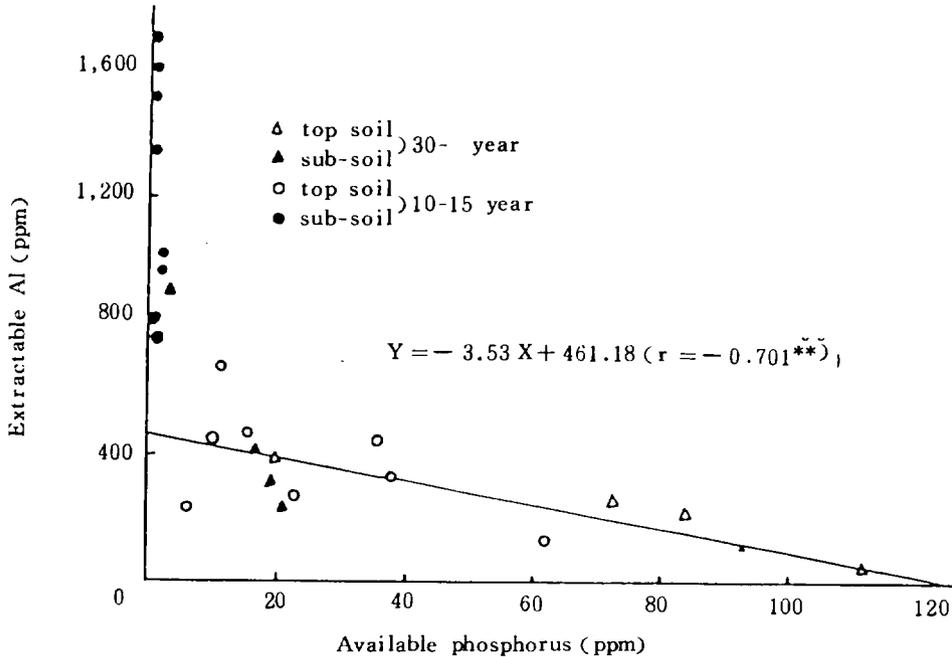


Fig.20. The relationship between the available phosphorus and the extractable Al in Cheju citrus orchard soils.

밭土壤과 5년된 柑橘園 土壤의 有效磷酸 含量이 極히 낮으나 表土의 活性 Al 含量이 深土보다 낮은 것 또한 施用 磷酸의 영향 때문이라고 생각된다. 즉 磷酸肥料가 土壤에 施用되었을 때 施用 磷酸의 大部分이 活性 Al과 反應하여 Al의 活性을 減少시키면서 施用 磷酸 自體도 不溶化 되고, 一部는 다른 形態로 土壤에 固定될 것이다. 더욱 많은 量의 磷酸이 每年 連用되었을 때 Al 活性은 계속적으로 減少되고, 土壤中 磷酸은 有效態로 存在하는 量이 많아질 것이다.

그림 21에서 보는 바와 같이 濟州道 柑橘園에서 活性 Al과 有機物 含量 사이에 深土에서는 高度로 有意한 상관관계가 있으나 表土에서는 有意성이 없다. 또한 有機物 含量이 갈 때 表土의 活性 Al 含量이 深土에 比하여 현저하게 낮다.

火山灰土에 있어서 有機物은 Al, Fe, Si 등과 Complex를 形成하여 매우 安定된 形態로 存在하기 때문에 分解가 쉽게 되지 않아 土壤中에 多量으로 集積된다.⁽²⁶⁾ 金屬-有機物 複合體를 形成하는 金屬中 Al 含量이 가장 높아 70~90%나 되며,⁽²⁶⁾ 有機物과 結合되어 있는 Al 含量과 有機物 含量 사이에 直線的인 상관관계가 있다.⁽⁴⁰⁾ 過酸化水素를 處理하

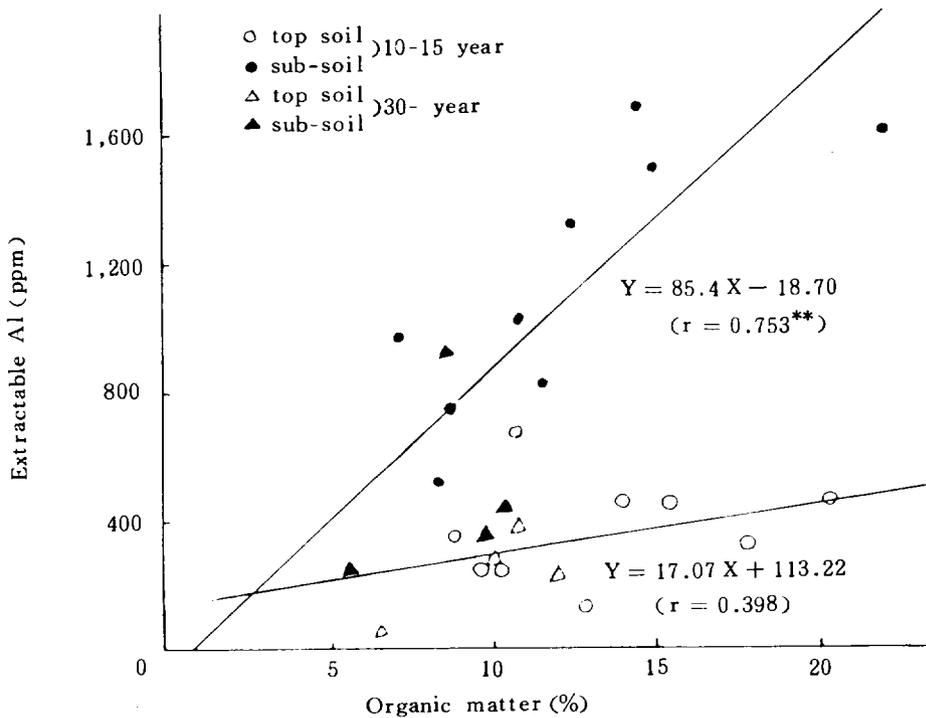


Fig.21. The relationship between the organic matter and the extractable Al in Cheju citrus orchard soils.

여 有機物을 分解시켰을 때 置換性 Al 含量은 현저하게 增加되나 活性 Al 은 거의 增加되지 않은 것으로 보아⁽²⁸⁾ 有機物과 Complex 를 形成하여 存在하고 있는 Al 의 大部分이 活性 Al 이라는 것을 알 수 있다. 따라서 柑橘園의 深土에서 活性 Al 과 有機物 含量 사이에 高度로 有意한 상관인 있는 것이라고 생각된다. 이것은 活性 Al 이 pH, 粘土 및 有機物 含量과 상관관계가 있는데 이중 有機物 含量과 가장 密接한 상관인 있다는 報告⁽³⁴⁾와 一致하는 現象이다.

그러나 磷酸肥料의 多量 施用에 依해서 有機物과 Complex 를 形成하여 活性 Al 의 形態로 存在하고 있는 Al 이 不溶化되기 때문에⁽⁴⁰⁾ 有機物 含量이 같을 때 表土의 活性 Al 含量이 深土보다 현저하게 낮으며, 또한 活性 Al 과 有機物 含量 사이에 表土에서 有意한 상관인 없는 것이라고 생각된다.

柑橘園 土壤에서 活性 Al 과 pH(NaF) 사이의 관계는 그림 22 와 같다.

柑橘園의 深土에서는 活性 Al 含量과 pH(NaF) 사이에 高度로 有意한 상관관계가 있으나 表土에서는 상관계수가 낮다.

活性 Al 이 火山灰土에서 주로 Al 水酸化物의 形態로 存在하기 때문에 深土에서 活性

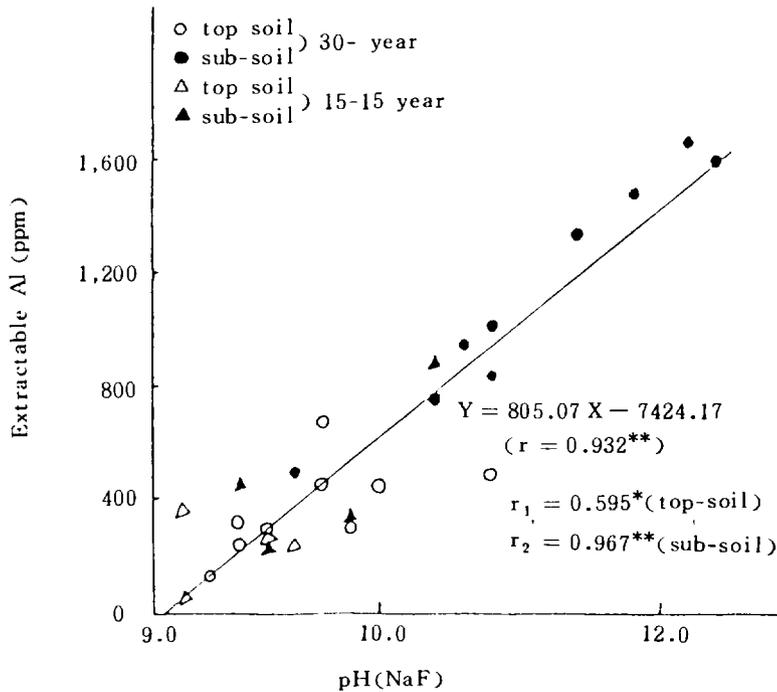


Fig.22. The relationship between pH(NaF) and the extractable Al in Cheju citrus orchard soils.

Al 과 pH(NaF) 사이에 高度로 有意한 상관계가 있는 것이라고 생각된다. 그러나 活性 Al 과 pH(NaF) 사이의 상관계가 表上에서 낮은 것은 多量의 磷酸 施用과 관계가 있다고 생각된다. 즉 施用 磷酸과 反應하여 不溶化된 Al 은 活性 Al 浸出液으로 거의 浸出되지 않는데 反하여 NaF 溶液으로는 多量 浸出되기 때문에⁽⁴⁰⁾ 磷酸 施用에 따른 磷酸 알루미늄의 含量 差異에 基因되는 것이라고 생각된다. 이러한 現象은 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 有效磷酸 含量 및 pH가 현저하게 높아지고, 置換性 Al 및 活性 Al 含量이 현저하게 낮아지는 것과는 달리 pH(NaF) 減少 傾向이 현저하지 않은 사실(그림 23)과 一致한다.

Allophane 이란 마치 Al 의 덩어리로 된 양파에 比較할 수 있는데, 이 양파의 껍질을 베껴내면 다시 새로운 껍질이 露出되는 것과 같이 石灰나 磷酸 施用에 依해 置換性 Al 이나 活性 Al 含

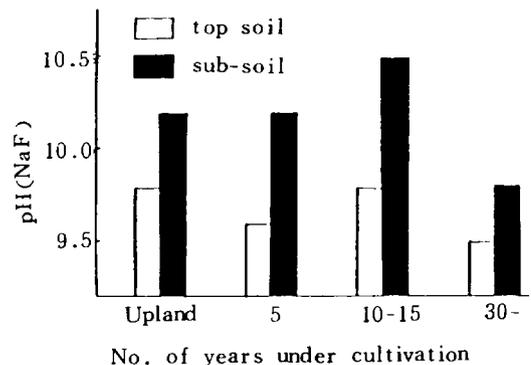


Fig.23. pH(NaF) of citrus orchard soils.

량이 一時的으로 減少되더라도 非晶質 Al에서 活性 Al을 거쳐 置換性 Al으로 쉽게 活性化되기 때문에 置換性 및 活性 Al의 含量 減少가 거의 없다.^(11, 12) 따라서 濟州道 火山灰土의 改良이 極히 어렵다고 알려져 있다. 그러나 柑橘園의 耕作年代가 오래될 수록 置換性 Al 및 活性 Al 含量이 현저하게 減少되고 있다. 이것은 주로 磷酸肥料를 多量으로 施用한 結果로서, 磷酸肥料의 多量 施用은 磷酸의 有効化를 增大시켜 礬土性이 큰 데서 基因되는 濟州道 土壤의 不良性을 改良하는 役割도 하고 있다.

따라서 濟州道 火山灰土에 磷酸을 處理하여 置換性 Al 및 活性 Al이 減少되는 것을 보다 具體的이고 動態的으로 研究한다면 火山灰土의 改良 可能性을 더욱 具體的으로 把握할 수 있을 것이다.

濟州道 火山灰土에 珪灰石을 施用했을 때 콩과 보리가 增收되었다는 報告⁽¹⁴⁾가 있는데, 珪灰石을 施用함으로써 Al 活性을 減少시키는 同時에 磷酸의 有効化를 增大시키는 研究가 遂行되어져야 할 것이다.

濟州道 火山灰土에 있어서 有機物 含量이 매우 높으나 이는 주로 難分解性이므로 養分 供給源이나 一般 腐植과 같은 地力 增進 効果가 거의 없을 뿐만 아니라 오히려 有機物 含量이 높을수록 窒素 應酬가 커지는 傾向을 보이며, 有機物 施用 效果가 현저하게 나타난다. 따라서 多量으로 集積된 難分解性 有機物의 分解를 促進시켜 作物栽培에 있어서 主要 養分 供給源이 되도록 하는 同時에 難分解性 有機物의 集積으로 波生되는 問題를 解決할 수 있는 研究가 遂行되어져야 할 것이다.

V. 結 論

濟州道 火山灰土는 非晶質 珪酸鹽 粘土鑛物인 Allophane을 主粘土鑛物로 하고 있는데, 이 Allophane에서 Al이 遊離되어 活性化되는 性質(礬土性)이 매우 强하며, 濟州道 土壤이 不良한 것은 주로 Allophane의 强한 礬土性에 基因되는 것으로 알려져 있다. 즉 難分解性의 有機物이 多量으로 集積되고 그에 따라 假密度가 極히 낮으며 强風에 依해 土壤 浸蝕이 쉽게 일어난다. 陽이온置換容量은 높으나 土壤의 鹽基吸着力이 弱하고 浸透性이 過多하여 鹽基가 溶脫, 遊離되기 쉽다. 또한 磷酸을 吸着, 固定시키는 能力이 대단히 커서 有効磷酸이 缺乏되기 쉽다는 問題 등이 있는 것으로 알려져 있다.

이러한 濟州道 火山灰土의 改良을 爲하여 石灰 또는 磷酸을 施用했을 때 置換性 또는 活性 Al이 減少되더라도 非晶質 Al이 活性 Al을 거쳐 置換性 Al으로 되어 새로운 平衡系에 쉽게 到達된다. 따라서 一般 酸性土壤에 比하여 pH 變動이 極히 緩慢하고 置換性 및 活性 Al의 含量 減少가 적을 뿐만 아니라 有効磷酸의 含量 增加가 크지 않는 등 土壤改良

이 매우 어려운 것으로 알려져 있다.

濟州道 山間地方의 草地 및 山林土壤은 火山灰土의 一般的인 問題點을 갖고 있다. 그러나 耕作年代가 오래된 海岸地方 土壤에서는 耕耘 및 耕作의 進行에 따라 難分解性의 有機物含量이 減少되고 있으며, 置換性 鹽基 含量이 增加되고 鹽基飽和度가 높아짐에 따라 pH는 全國 平均보다 더 높으며, 有效磷酸 含量 또한 增加되고 있다.

이러한 傾向은 集約的인 營農方法에 依해 經營되고 있는 柑橘園에서 더욱 현저하게 나타나고 있다. 濟州道 柑橘園에 磷酸 및 加里肥料를 每年 多量으로 施用해왔기 때문에 柑橘園의 開園年度가 오래될수록 土壤中 有效磷酸 含量이 增加되고 있을 뿐만 아니라 置換性 Ca, Mg 및 K 含量이 增加되고 따라서 鹽基飽和度와 pH가 높아지고 있다. 반면에 置換性 Al 및 活性 Al 含量은 현저하게 減少되고 있다.

濟州道 火山灰土는 磷酸을 吸着, 固定하는 能力이 대단히 커서 磷酸肥料를 多量으로 施用하여도 有效磷酸 含量 增加가 크지 않다고 알려져 있다. 그러나 開園年度가 오래된 柑橘園 土壤에서는 有效磷酸 含量이 상당한 水準으로 增加되어 있다. 따라서 濟州道 火山灰土에 磷酸肥料를 每年 多量으로 連用하면 오래된 柑橘園 土壤에서처럼 有效磷酸 含量을 높은 水準으로 增加시킬 수 있을 것이다. 이 때 波生될지 모르는 微量元素 缺乏問題는 앞으로 研究되어져야 할 課題라고 생각된다.

鹽基 溶脫이 過多하게 일어나는 것 또한 濟州道 火山灰土의 問題로 알려져 있으나 오래된 柑橘園 土壤에서는 置換性 Ca, Mg 및 K 含量이 各各 20me/100g, 3.5me/100g, 1.8me/100g에 達하고 있다. 鹽基 溶脫이 쉽게 일어난다고 하더라도 陽이온置換容量이 크기 때문에 매우 많은 量의 置換性 鹽基가 土壤中에 保有되어 作物에 利用될 수 있을 것이다.

濟州道 火山灰土에 石灰를 多量으로 施用하더라도 pH 變化가 거의 없는 것으로 알려져 있는데도, 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 pH가 많이 높아지고 있다. 지금까지 濟州道 火山灰土의 酸度矯正을 위하여 行해진 試驗으로는 置換性 Al 含量을 基準하여 1~3me/100g의 石灰를 施用하여 pH 變化를 본 것 밖에 없는데, 置換性 水素 含量을 基準으로 하여 石灰所要量을 算出하고 그에 상당하는 石灰를 施用한다면 지금까지 알려진 것보다 pH 變化가 클 것이다.

濟州道 火山灰土는 礮土性이 매우 크기 때문에 石灰나 磷酸을 多量으로 施用하더라도 置換性 Al 과 活性 Al 含量이 거의 減少되지 않는다고 알려져 있으나 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 土壤中 置換性 Al 및 活性 Al 含量이 현저하게 減少되고 있다. 이는 주로 磷酸肥料를 長期間에 걸쳐 多量으로 施用한 結果로서, 磷酸肥料의 多量 施用은 磷酸의 有效化를 增大시킬 뿐만 아니라 Al 活性을 減少시켜 礮土性이 큰데서 緣由되는 濟州道 土壤의 不良性을 改良하는 役割도 하고 있다. 따라서 濟州道 火山灰土에 磷酸을 處理하여 置換性 Al 및 活性 Al 含量이 減少되는 것을 보다 具體的이고 動的으로 研究한다면 火山灰土

의 改良 可能性을 더욱 具體的으로 把握할 수 있을 것이다.

그외에도 濟州道 火山灰土를 改良하기 위하여 珪灰石을 施用함으로써 Al 活性을 減少시키는 同時에 磷酸의 有効化를 增大시킬 수 있는 研究가 遂行되어져야 하며, 多量으로 集積된 難分解性 有機物의 分解를 促進시켜 作物栽培에 있어서 主要 養分 供給源이 되도록 하는 研究 또한 遂行되어져야 할 것이다.

摘 要

1975년에 完了된 濟州道 精密土壤調查 結果에 依하면 濟州道 土壤은 5個目, 10個亞目, 12개 大群, 30個亞群, 41個屬 및 64個統으로 分類되며, 이는 便宜上 暗褐色土(17.01%), 濃暗褐色土(41.4%), 黑色土(21.6%), 및 褐色森林土(13.9%)의 4個土壤群으로 大別된다. 濃暗褐色土, 黑色土 및 褐色森林土는 代表的인 火山灰土이나 暗褐色土는 火山灰土의 特性을 弱하게 지니고 있다.

濟州道 火山灰土는 非晶質 珪酸鹽 粘土礦物인 Allophane 을 主粘土礦物로 하고 있는데, 土壤 pH의 變化에 따라 Allophane 에서 Al 이 遊離되어 活性化되는 性質이 매우 強하며, 이러한 Allophane 의 強한 礬土性에 基因되어 濟州道 土壤의 自然肥沃도가 낮다. 즉 難分解性의 有機物이 多量으로 集積되고, 그에 따라 假密度가 極히 낮으며 強風에 依해 土壤 浸蝕이 쉽게 일어난다. 陽이온置換容量은 높으나 土壤의 鹽基吸着力이 弱하고 透水性이 過多하여 鹽基가 遊離, 溶脫되기 쉽다. 또한 磷酸을 吸着, 固定시키는 能力이 대단히 커서 有効磷酸이 缺乏되기 쉬운 問題 點이 있는데, 이러한 濟州道 火山灰土의 改良은 매우 어려운 것으로 알려져 있다.

특히 濟州道 土壤은 磷酸 固定 能力이 대단히 커서 有効磷酸이 缺乏되기 쉽기 때문에 作物 栽培에 있어서 磷酸肥料의 效果가 좋다는 것이 農民들에게 널리 알려져 Ca 과 Mg 含量이 높은 熔成磷肥가 每年 多量으로 施用되어져 왔다. 따라서 濟州道에서의 肥料 施用 樣相을 調査한 結果 單位面積當 施肥量이 全國 平均에 比하여 濟州道에서 더 많을 뿐만 아니라 窒素肥料에 對한 磷酸과 加里肥料의 施用 比率도 濟州道에서 더 높는데, 이러한 傾向은 柑橘園이 많은 南濟州郡에서 더욱 현저하다.

1960年代 初부터 濟州道의 農耕地가 中山間地方으로 急激하게 增大되어가고 있으나 大部分의 農耕地는 海岸地方에 分布되어 있다. 따라서 山間地方 및 中山間地方의 土壤은 火山灰土의 一般的인 問題點을 갖고 있으나 耕作年代가 오래된 海岸地方 土壤일수록 pH, 鹽基飽和度, 有効磷酸, 置換性 Ca, Mg 및 K 含量이 높으며, 有機物 含量 및 陽이온置換容量은 낮아지는 傾向이다.

이러한 傾向은 集約的인 營農方法에 依해 經營되고 있는 柑橘園 土壤에서 더욱 顯著하다. 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 土壤의 有效磷酸 含量 뿐만 아니라 置換性 Ca, Mg 및 K 含量이 增加하고 있으며, 陽이온置換容量은 柑橘園의 耕作年代에 따른 變化가 거의 없는데 反하여 置換性 鹽基 含量이 增加하므로 鹽基飽和度가 높아지고 따라서 pH가 높아지고 있다.

石灰나 磷酸 施用에 依해 含量 減少가 거의 없는 것으로 알려진 置換性 Al 및 活性 Al 含量은 柑橘園의 耕作年代가 오래될수록 顯著하게 減少되고 있다. 置換性 Al 含量 減少는 주로 pH 增加에 基因되나 活性 Al 含量 減少는 주로 磷酸肥料의 多量 施用에 基因된다. 따라서 有效磷酸 含量이 極히 낮은 深土에서는 活性 Al 이 有機物 含量 및 pH(NaF) 와 高度로 有意한 상관관계가 있으나 表土에서는 상관이 낮다.

引用文獻

1. 김봉태, 최대웅, 신용화. 1973. 濟州道 火山灰土의 粘土礦物에 관한 研究, 農試研報. 15:15-28.
2. 金滢玉. 1974. 濟州道 柑橘園 土壤의 磷酸形態 및 吸着에 관한 研究, 韓農化誌. 17(3): 1:16.
3. 農水産部(大韓民國). 1969-1982. 農林統計年報.
4. 農業技術研究所. 1976. 濟州道 精密土壤圖.
5. 朴來正, 李春秀, 柳寅秀, 朴天緒. 1973. 大麥의 NPK 應酬에 미치는 主要 土壤因子들의 影響에 관하여 金泳燮博士 回甲紀念 論文集. p.41-50.
6. 朴蕙, 柳順昊, 洪淳範. 1975. 濟州道 柑橘園土壤의 特性과 管理. 韓土肥誌. 8(3): 133-153.
7. 宋寬哲. 1982. 濟州道 土壤의 化學的 特性 調查 研究(碩士學位論文), 서울大學校.
8. 試驗研究報告書. 1979. 農技研. 592-598.
9. 愼鏞華, 金滢玉. 1975. 火山灰土의 特性에 관하여 韓土肥誌. 8(3):113-120.
10. 嚴基泰, 朱永熙, 李景洙, 愼鏞華. 1978. 濟州道 綜合開發計劃을 爲한 土壤 特性의 研究. 農試研報. 19(土肥 作保·균이편): 1-18.
11. 柳寅秀, 趙成鎮, 陸昌洙. 1974. 置換性 Al 含量에 따른 石灰所要量 決定에 관한 研究. 韓土肥誌. 7(3):185-191.
12. 柳寅秀. 1975. 田土壤 磷酸의 吸收係數와 Langmuir 最大吸着量과의 比較研究. 韓土肥誌. 8(1):1-7.
13. 柳寅秀, 柳順昊, 尹禎熙. 1975. 濟州道 田土壤의 肥沃度 現況과 改良. 韓土肥誌. 8(3):121-132.
14. 柳寅秀, 尹禎熙, 金仁卓. 1978. 火山灰土壤에서의 磷酸의 施用量과 施肥法 및 硅灰石의 效果. 韓土肥誌. 11(1):25-30.
15. 李鍾基, 李根常. 1975. 濟州道 草地開發에 있어서 土壤學的 問題點. 韓土肥誌. 8(3): 161-170.
16. 濟州道. 1969-1983. 濟州道 統計年報.
17. 채상석, 이동태. 1972. 제주도 화산회성 黑色土에 대한 생성 및 분류학적 조사연구. 農試研報(식물환경편). 14:27-38.
18. 黃慶善. 1973. 우리나라 代表土壤의 pH에 관한 研究. 韓土肥誌. 6(3):153-158.

19. 韓基碩, 李允煥. 1975. 우리나라 石灰資源과 需給現況, 韓土肥誌 別卷. 5-13.
20. Aomine, S. and N. Yoshinaga. 1955. Clay minerals of some well-drained volcanic ash soils in Japan, *Soil Sci.* 79:349-358.
21. Appelt, H., N.T. Coleman, and P.F. Pratt. 1975. Interactions between organic compounds, minerals, and ions in volcanic-ash-derived soils:II. Effects of organic compounds on the adsorption of phosphats. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:628-630.
22. Black, C.A. 1967. *Soil-plant relationships*. 2nd ed., John Wiley and Sons. New York. pp.209-210.
23. Cabrera, F. and O. Talibudeen. 1977. Effect of soil pH and organic matter on labile aluminum in soils under permanent grass. *J. Soil Sci.* 28:259-270.
24. Calhoun, F.G., V.W. Carlisle, and C. Luna Z. 1972. Properties and genesis of selected Columbian Andosols. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:480-485.
25. Fieldes, M., and K.W. Perrott. 1966. The nature of allophane in soils. III : Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z. J. Sci.* 9:623-629.
26. Griffith, S.M. and M. Schnitzer. 1975. The isolation and characterization of stable metal-organic complexes from tropical volcanic soils. *Soil Sci.* 120:126-131.
27. Hoyt, P.B. and R.C. Turner. 1975. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yields. *Soil Sci.* 119: 227-237.
28. Igue, K. and R. Fuentes. 1972. Characterization of aluminum in volcanic ash soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:292-296.
29. Martini, J.A. and J.A. Palencia. 1975. Soils derived from volcanic ash in central America:1. Andepts. *Soil Sci.* 120:278-287.
30. Martini, J.A. and L.R. Jaramillo, 1975. Soils derived from volcanic ash in Central America:2. Soil more developed than Andepts, *Soil Sci.* 120:376-384.
31. Ministry of Agriculture and Forestry, Japanese Government 1964. *Volcanic ash soils in Japan*.
32. Mizota, C. 1977. Phosphate fixation by ando soils different in their clay mineral composition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23(3) 311-318.
33. Perrott, K.W., B.F.L. Smith, and B.D. Mitchell. 1976 Effect of pH on the reaction of sodium fluoride with hydrous oxides of silicon, aluminum, and iron, and with poorly ordered aluminosilicates. *J. Soil Sci.* 27:348-356.

35. Shin, J.S. 1978. Composition and genesis of volcanic ash soils derived from basaltic materials in Jeju Island(Korea). Ph.D. Thesis. State Univ. of Ghent, Belgium.
36. Tan, K.H. 1965. The Andosols in Indonesia. *Soil Sci.* 99:375-378.
37. Thomas, G.W. 1975. The relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soils. *Proc. Soil. Sci. Soc. Am.* 39:591.
38. Wada, K. and S. Aomine, 1983. Soil development in volcanic materials during the quaternary, *Soil Sci.* 116:170-177.
39. Wada, K. and T. Higashi. 1976. The categories of aluminum and iron-humus complexes in Ando soils determined by selective dissolution. *J. Soil Sci.* 27: 357-368.
40. Yuan, T.L. and J.G.A. Fiskell, 1959. Aluminum studies: III. The extraction aluminum from some Florida soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22:202-205.

Characteristics of Soils in Cheju Island

Sun-ho YOO & Kwn-cheol SONG
Seoul National University

Abstract

Cheju Do is a volcanic Island. The volcanic eruptions began in the tertiary and the last eruptions were in 1002 and 1007 A.D. Volcanic ash is wide spread as soil parent material throughout the Island. Soils in the Island thus reveal typical characteristics of volcanic ash soil.

The soils in Cheju Island are classified into 5 orders, 10 suborders, 12 great groups, 30 subgroups, 47 families and 64 series. For convenience, however, these soils are categorized mainly into 4 groups: dark brown soils(17.0%), very dark brown soils(41.4%), black soils(21.6 %) and brown forest soils(13.9%), The last two groups have typical characteristics of volcanic ash soils, while the first is atypical.

It is well known to farmers that soils in the Island have very high phosphate fixing capacity. Heavy application of phosphate and potassium fertilizer is a common practice. Therefore the amount of chemical fertilizers consumed per unit area of cultivated land and the ratios of P_2O_5 and K_2O to N in Chemical fertilizers applied are much higher in the Cheju Island than those of the Korean mainland. These trends are particularly prominent in Southern Cheju where 70 % of the Cheju citrus orchards are located.

The coastal area has long been used for intensive farming and some of the mid-mountain region were recently reclaimed for agricultural crop production. The cation exchange capacity and the organic matter in the soils increase in the order of coastal area mid-mountain belt upper mountain area, while pH, base saturation, available phosphorus and exchangeable bases decrease with the elevation.

These trends are especially prominent in citrus orchard soils. As the result of heavy application of phosphate fertilizers, the available phosphorus of citrus orchard soils increase with increasing number of years of cultivation.

Base saturation and pH increase with the increase in number of years of

cultivation, inasmuch as exchangeable bases such as Ca, Mg and K increase prominently, but the cation exchange capacity do not vary in the citrus orchard soils.

The exchangeable Al of the citrus orchard soils decrease with increasing number of years of cultivation. This has resulted from an increase in pH.

The content of the extractable Al of the citrus orchard soils also decrease with the increase in number of years of cultivation. This is related to the fact that application of phosphate fertilizers led to a reduction in Al activity.

The extractable Al content strongly correlated with the organic matter and pH (NaF) in the sub-soil where the available phosphorus is extremely low, but the correlation is less significant in the top soil. This suggests the large amounts of the extractable Al are released from the hydrous oxides of Al and that the organically complexed form in the sub-soil, and non-extractable due to the reactions with phosphates applied to the top soil.