

特異酸性畚 土壤의 改良을 爲한 石灰施用 效果에 關한 研究

朴 英 善
農村振興廳 農業技術研究所
(1974年 5月 1日 受理)

Studies of Liming Effect on the Improvement of an Acid Sulphate Paddy Soil

Young Sun Park

Institute of Agricultural Science, Office of Rural Development
Suweon, Korea

(Received May 1, 1974)

Summary

These studies were carried out for the elucidation of liming effect on the growth of rice seedlings and the chemical characteristics of an acid sulphate paddy that shows not only extremely high acidity of soil but also poor growth of rice plants, consequently low yield. Thus the liming effect on the changes of acidity, oxidation-reduction potential, and the contents of iron, aluminium, sulphate, and phosphorus fractions in the soil was investigated under the waterlogging and drying condition. The reclaimable or inhibitory effect of phosphorus, iron and aluminium on the growth of rice seedlings was also investigated under liming.

The results are summarized as follows:

1. After liming, the pH of the acid sulphate subsoil decreased again on drying.
2. The oxidation-reduction potential reached a minimum after 5 days of flooding and greatly decreased on liming but increased after drying.
3. The contents of ferrous iron soluble in water and Morgan's solution reached a maximum after 15 days of flooding and only the content of water soluble ferrous iron was greatly decreased.
4. The content of aluminium soluble in water and Morgan's solution decreased by flooding and liming, and showed a tendency to increase on drying.
5. In the limed acid sulphate soil, the content of water soluble calcium showed a highly significant negative correlation with the content of sulphate and liming decreased sulphate content in the soil.

6. The contents of total phosphorus was 496.3 ppm in the acid sulphate topsoil and 387.5 ppm in the subsoil. The content of each phosphorus fraction was in the order of Fe-P > Occ. Fe-P > Ca-P > Occ. Al-P > Al-P and Fe-P content in the soil was the highest fraction among them.

7. Lime application increased greatly Ca-P and Al-P, and Occ. Fe-P and Occ. Al-P only slightly, but decreased Fe-P differently in each soil.

8. Effect of phosphorus on the dry matter yield of rice seedlings was great. The optimum amount of phosphorus to produce maximum dry matter yield of rice seedlings appeared to be 6.8% of maximum absorption (absorption coefficient) without liming and 10.0% with liming.

9. In rice seedlings liming increased the content and uptake of calcium and silica but decreased those of iron and aluminium. Phosphorus application increased the content and uptake of phosphorus and decreased iron while the application of iron and aluminium increased their contents and uptake but decreased those of phosphorus.

10. Liming greatly alleviated such toxicity of iron and aluminium.

11. When phosphorus was applied, the dry matter yield of rice seedlings showed highly significant positive correlations with uptake of phosphorus, calcium and silica each. When iron and aluminium were applied, dry matter yields indicated significant positive correlations with the contents or uptake of calcium and silica each, but significant negative correlations with the content or uptake of iron and aluminium.

12. Under the application of phosphorus and lime, dry matter yields showed significant positive correlations with pH and Morgan's extractable calcium each of the soil samples after harvest. Under the application of lime, iron and aluminium, dry matter yields showed significant positive correlations with pH, calcium and silica each, but negative correlations with iron and aluminium contents each of the soil samples after harvest.

緒 言

土壤은 作物이 生育을 營爲할 수 있는 培地이다. 이러한 作物의 培地로서의 土壤은 作物生育을 爲하여 恒常 好適한 것만은 아니고 때로는 그들이 吸收利用할 수 있는 養分이 不足되는 境遇도 있고 어느 때는 含有되는 成分이 너무 過多하거나 또는 有害成分이 含有되어 生育에 障害을 일으키는 要因이 되기도 하여 目標하였던 生産量을 거둘수 없게 된다.

여러가지 類型의 低位 生産畝中 特異酸性畝 土壤은 그 分布 面積이 5,000餘ha에 이르고 代表的인 金海統을 爲始하여 鳳林統, 海拓統 등이 이 類型에 屬하는 것으로 알려져 있다.

特異酸性畝 土壤은 주로 慶尙南道 金海郡 一帶에 分布하고 있으며 稻作으로 利用되고 있으나 土壤의 性質이 特異하고 生産力이 甚히 떨어지기 때문에 著者は 1968년부터 特異酸性畝 土壤에 關하여

研究하였으며 이 土壤에 對하여 그의 化學的 性質을 解明하고 水稻가 健全하게 生育할 수 있는 土壤 管理方法을 찾아내는 것은 收量提高를 爲한 重要한 課題라 생각되어 다음과 같은 研究을 遂行하였다.

石灰施用이 特異酸性畝 土壤의 化學的 特性 變化에 미치는 影響으로 湛水와 乾燥過程에서 土壤의 pH, Eh, Fe[#], Al[#] 및 黃酸含量 變化와 土壤磷酸의 形態變化를 究明하려고 하였으며 石灰施用이 水稻 生育에 미치는 影響으로 水稻苗에 對한 磷酸의 效果와 鐵 및 알루미늄이 水稻苗의 生育에 주는 影響 등에 關한 一連의 試驗을 遂行하여 水稻 生育을 沮害하는 土壤化學的인 要因과 그 改善을 爲한 몇 가지 結果를 얻었으므로 이를 報告코저 한다.

本 研究遂行에 있어 많은 指導와 鞭撻을 베풀어 주신 恩師 서울大學校 農科大學 李春寧 博士, 林善旭 博士, 그리고 前 農業技術研究所長 金泳燮 博士, 土壤化學研究擔當官 朴天緒 博士, 서울産業大學 吳旺根 博士, 研究의 機會를 주신 農村振興

廳長 金寅煥 博士께 感謝드리며 아울러 本 實驗遂
行과 成績整理를 도와주신 農業技術研究所 土壤化
學研究擔當官室 同僚職員 여러분께 깊은 謝意를
表하는 바입니다.

I. 研究史

湛水後 土壤의 pH變化는 여러가지 植物 營養分
의 有効度에 影響을 주고 土壤溶液中的 H_2CO_3 ,
 Fe^{2+} , Mn^{2+} 및 Al^{3+} 等の 成分濃度에 顯著한 影響을
주어서 때로는 水稻에 害를 미치는 境遇도 있다⁽⁶⁸⁾.
湛水에 依한 畚土壤의 pH變化는 初期 土壤의 pH,
土壤 酸化構成物의 性質과 量 및 有機物의 種類와
含量에 따라 左右된다고 Ponnampereuma⁽⁷⁶⁾는 報
告하였다. 土壤을 湛水하면 期間이 經過됨에 따라
pH가 上昇되며^(24, 62, 69, 77) 石灰가 施用됨으로써 pH
價는 顯著히 增加된다^(24, 43). 湛水後 土壤의 pH變
化는 2~3日 째 떨어져다가 다시 上昇하는데<sup>(24, 29,
30, 45, 66)</sup> 이것은 有機物의 分解에 따른 酸 濃度의
增加에 起因된다고 하였고 朴等⁽⁷²⁾은 湛水土壤의
pH는 初期에는 下降하다가 徐徐히 上昇하여 pH
6.0 程度로 繼續 維持하나 有機物源으로 澱粉을
添加하면 初期에 pH가 急激히 上昇하다가 5日 以
後 急降下하여 4.5 程度로 되고 16日以後 다시 上
昇하는데 이것은 有機物의 分解와 密接한 關係가
있다고 하였으며 山中等⁽⁶⁰⁾과 本村等⁽⁴⁶⁾도 이와 同
一한 結果를 報告한 바 있다.

湛水로 因한 Eh의 變化는 最初 好氣狀態 일때의
電位差와 溫度, 有機物의 含量 및 土壤內에 存在하
는 電子受容體의 含量等에 依하여 決定된다⁽⁷⁶⁾. Eh
變化는 湛水後 1~2日에 거의 最低로 降下되며<sup>(29,
58, 76)</sup> 그 以後에는 거의 平衡狀態를 維持한다<sup>(59, 61,
71)</sup>. 朴等⁽⁷²⁾과 Ponnampereuma⁽⁷⁶⁾等에 依하면 Eh
値는 湛水 初期에 急降下하여 最低에 達했다가 上
昇 最高點에 이른다음 다시 低下된다고 하였다.
河等⁽²⁴⁾은 酸性 硫酸鹽 土壤에 石灰를 施用하여
湛水하면 微生物의 活動이 助長되어 Eh는 더욱
低下된다고 하였으며 Park等⁽⁶⁹⁾도 特異酸性土壤에
對한 石灰效果試驗에서 이와같은 結果를 報告한
바 있다^(17, 90).

土壤에서 2價鐵의 生成은 土壤 微生物의 活動,
土壤中 活性鐵의 含量⁽⁶⁵⁾과 湛水의 如否, 有機物
의 量 및 溫度等의 影響을 크게 받는다^(22, 72, 76).
朴等⁽⁷¹⁾은 重粘土에는 活性鐵 含量이 많은데도 湛
水時 2價鐵의 生成이 적은것은 微生物의 作用이

活發하지 못한데 基因된 것이라 하였다. 吳等⁽⁵⁰⁾
은 高低 收穫畚土壤을 湛水恒溫하면 2價鐵含量은
湛水 4~5日에 急激히 上昇하고 그後 平衡을 維持
한다고 하였으며 朴等⁽⁷²⁾은 砂質畚土壤에 2%의
澱粉을 加하여 恒溫 할때는 3日後에 最高에 達했
다가 漸次 下降한다고 하였으나 特異酸性土를 湛
水하였을 때는 2~3週 사이에 最高에 達한다고 하
는 報告도 있다^(77, 86). 또 著者^(66, 69)는 特異酸性 土
壤에 石灰를 施用하면 幼穗形成期까지는 土壤의
2價鐵 含量이 더 많아지는 傾向이나 그 以後에 가
서 減少되고 土壤溶液에서는 生育 初期부터 減少
되어 後期까지 繼續된다고 報告하였다.

特異酸性土壤에서 알루미늄은 作物에 害를 끼
치는 要因의 하나라는 것이 많은 研究者에 依하
여 報告되었으며^(43, 47, 52, 77, 78, 87, 92) 著者⁽⁸⁸⁾는 收量
이 比較的 높은 特異酸性畚 土壤의 置換性 알루
미늄 含量은 表土와 心土에서 各各 33ppm, 40ppm
이었고 收량이 比較的 낮은 畚土壤에서는 表土와
心土에서 各各 157ppm, 210ppm 이라 報告하였고
그 含量은 pH가 낮으면 많다고 하였다. 또한 朴
等⁽⁷³⁾은 우리나라 耕作地 土壤의 알루미늄 含量에
關한 研究에서 畚土壤의 pH와 置換性 알루미늄
含量과는 高度의 有意性있는 負相關 關係가 있음
을 밝힌바 있다. 한편 特異酸性畚 土壤에 있어서
置換性 알루미늄의 含量은 湛水에 依하여 土壤이
還元되고 pH가 上昇되면 적어지며 石灰나 珪灰
石 施用으로 이의 溶解度를 크게 減少시킬 수 있
다고 하였다^(66, 69, 70).

우리나라 特異酸性畚 土壤의 可酸化性 硫黃 含
量은 表土와 心土에서 各各 0.21, 0.35mg/gr 이
며 全硫黃은 1.3, 2.0mg/gr 인것으로 알려져 있
다⁽⁶⁸⁾. Ponnampereuma⁽⁷⁷⁾는 特異酸性畚 土壤의 水
溶性 黃酸含量은 湛水初에는 적고 湛水 2週後에
最高에 達하였다가 다시 減少하여 一定한 濃度로
되는데 그 平衡濃度는 土壤의 種類에 따라 다르다
고 하였으며 Kanapathy⁽³²⁾는 西部 Malaysia의 特
異酸性土 改良에 關한 研究에서 黃酸含量은 土層
이 깊을수록 많아서 水溶性 黃酸含量은 Telock 統
의 0~15cm 에서는 0.01~0.07%, 30~60cm 에서
는 0.01~0.28%, 그 以下에서는 0.01~0.52% 라
고 報告하였다. 米田^(93, 94, 95)는 日本 海岸 鹽害地
의 特殊 酸性土에 關한 研究에서 水稻 栽培期間
中の 作土와 表面水의 pH가 낮고 可溶性 鹽類의
含量이 大端히 높은데 그 가운데 가장 많은 黃酸
은 嫌氣的 狀態에서 生成되었던 黃化物이 酸化되

기 때문이라고 하였으며 Moormann⁽⁴⁷⁾은 Sierra Leone 土壤 酸性化의 原因은 酸素에 依하여 黃化鐵이 黃酸 第2鐵과 黃酸으로 變하기 때문이라 하였으며村上⁽⁴⁸⁾은 酸性 硫酸鹽 土壤에서 水稻의 生育을 障害하는 主된 原因이 黃酸鐵, 黃酸알루미늄 등의 黃酸鹽이므로 石灰施用으로 土壤反應을 矯正하고 透水에 依하여 이 有害物들을 除去시키는 것이 重要하다고 하였다. Murthy⁽⁵³⁾는 印度의 特異酸性土인 Kari 土壤은 全黃酸 含量이 높을 뿐만 아니라 水溶性 黃酸含量도 높아서 表土에서 1.92%, 心土에서 3.13%나 되며 이는 季節에 따라 多少 變動된다고 하였다. Fleming⁽¹⁹⁾은 美國 南部 Carolina 海岸 沼澤地帶에도 pH가 2.0~3.0으로 大端히 낮고 全硫黃이 5.5%나 되는 特異酸性土가 있다고 報告하였다. Kanapathy^(81,82)는 西部 Malaysia 에는 約 250,000 acre의 特異酸性土가 있으며 이 土壤은 pH가 3.5~4.3이고 水溶性 黃酸은 0.01~0.07%, 全硫黃 含量은 0.16~0.43%이므로 石灰를 施用하고 排水를 하여야만 作物을 栽培할 수 있다고 하였다. Philippines 에도 1,500萬 ha의 特異酸性土의 分布가 있는데⁽⁷⁷⁾ 鐵이나 알루미늄 被害外에 過剩의 黃酸鐵과 黃酸 알루미늄의 害가 크고 水溶性 黃酸이 0.2% 以上되나 石灰施用으로 그 被害를 若干 輕減시킬 수 있다고 하였다. van Holst 等⁽⁸⁰⁾은 特異酸性土에 使用한 콘크리트 排水管 腐蝕에 關한 研究에서 黃酸은 콘크리트 腐蝕에 關與하는 ettringite(cement bacillus) 形成의 原因이 되며 排水管의 cement 加水化物에서 遊離된 消石灰는 地下水中の 黃酸과 作用을 하는데 이 때 黃酸이 充分하면 콘크리트 表面에 石膏가 沈澱된다고 하였다. Andriess⁽²⁾는 Lobster Mound 土壤에서 黃酸 濃度가 높은 것은 Pyrite의 酸化때문이며 van Breemen⁽⁸⁸⁾은 特異酸性土壤에서 有機物과의 反應으로 SO_4^{2-} 이 還元되어 FeS와 HCO_3^- 가 生成되는 平衡系에서 HCO_3^- 가 CO_2 로 擴散되거나 溶脫 또는 $CaCO_3$ 로 沈澱됨에 따라 SO_4^{2-} 의 濃度는 減少하는 것이라고 하였다. Brinkman⁽⁸⁾은 石灰의 施用은 土壤의 pH가 7.0 以上되거나 또는 그 以下에서도 硫黃이 黃酸으로 酸化되는 것을 促進하나 pH가 中性以上으로 되었을 때에는 Pyrite의 酸化를 遲延시킨다고 報告하였다.

金⁽³⁴⁾은 土壤中에 含存되는 有效磷에 關한 研究에서 韓國 畚土壤의 磷은 主로 磷酸鐵礬土의 形態로 있을 것이라고 하였으며 Basak 等⁽⁵⁾은 印度의 畚土壤中에는 Al-P와 Fe-P가 全磷의 46.6

%, 有機磷은 41.6%라고 報告하였고 Chang⁽¹¹⁾은 臺灣 畚土壤에는 Fe-P가 無機磷의 大部分을 차지하며 이 形態가 水稻에 利用되는 有效磷酸의 主要한 것이라고 하였다. Park⁽⁶⁴⁾은 韓國 畚土壤의 無機磷은 Fe-P>Al-P>Ca-P의 順으로 많다고 하였고 吳等⁽⁶⁰⁾은 韓國 畚土壤의 全磷은 332 ppm이며 各種 磷含量은 Fe-P>Org.-P>Red. Fe-P>Ca-P≥Al-P의 順으로 가장 많은 形態의 磷은 Fe-P라고 하였다. 堆積樣式別로는 新海成土에서 Ca-P≥Fe-P>Al-P, 舊海成土에서는 Fe-P>Ca-P>Al-P, 河成土에서는 Fe-P>Ca-P≥Al-P, 殘積土에서는 Fe-P>Al-P>Ca-P의 傾向을 보인다고 하였다. Cho 等⁽¹⁴⁾은 Minesota 土壤의 磷酸 形態, 磷酸固定 및 有效磷酸 檢定方法에 關한 研究에서 酸性土壤에는 Fe-P와 Al-P가 많고 鹽基性土壤에서는 Ca-P가 많으며 pH 7.0 附近에서는 Fe-P와 Al-P가 Ca-P 보다 많기는 하나 3가지 形態의 磷이 거의 같은 量으로 存在한다고 하였다. Hong 等⁽²⁷⁾은 日本의 火山灰土, 泥炭土 및 鑛物質 土壤의 化學性質에 關한 研究에서 火山灰土에서는 Al-P, Org.-P>Residual P, Fe-P의 順으로, 泥炭土에서는 Org.-P>Al-P, Fe-P, Residual P, 鑛物質 土壤은 Al-P, Fe-P, Residual P>Org.-P의 順이며 Ca-P는 어느 다른 形態보다도 적게 含有되었다고 하였으며 金野等⁽²¹⁾도 이와같은 結果를 報告한바 있다. 江⁽¹³⁾은 臺灣 酸性土壤의 磷酸은 湛水前에는 Fe-P>Al-P>Ca-P의 順으로 含有되나 湛水되면 初期에는 Fe-P>Ca-P>Al-P의 順으로 된다고 하였다. Mandal⁽⁴⁴⁾은 土壤에 石灰를 施用하면 土壤 無機磷中 Fe-P와 Al-P는 減少하고 Ca-P는 增加한다고 하였으며 Kar 等⁽⁸⁸⁾은 西部 Bengal의 酸性土에서 施用한 磷酸의 30~50%가 3個月內에 土壤에 다 固定이 되는 데 이는 主로 Al-P, Fe-P, 還元性 Fe-P로 增加되고 吸着된 Al-P와 Fe-P는 增加의 程度가 적게 그리고 Ca-P의 量은 別로 影響받지 않는다고 하였다. 또 東海等⁽²⁵⁾은 畚土壤에 多量의 磷酸을 施用함으로써 Mandal 과는 달리 Ca-P, Al-P, Fe-P가 다같이 增加되고 量적으로는 Al-P가 많고 Org.-P와 難溶性 P는 增加되지 않았다고 하며 土壤에 磷酸을 施用하고 5~10週間 湛水 恒溫하였을 때 火山灰土에서는 施用된 磷酸의 75~80%가 Al-P, 11~16%가 Fe-P, 5~12%가 Ca-P의 型으로 蓄積되며 沖積土에서는 34~44%가 Al-P, 20%가 Fe-P, 19~34%가 Ca-P로 變하는데 이러한 土壤間

의 差異는 土壤의 活性 Al 에 原因된다고 하였다. Chang等⁽⁴²⁾은 pH 가 5.3~7.5인 6個土壤에 磷酸을 施用하고 100日間 湛水下에 두었을 때 磷酸의 形態는 主로 Fe-P 라고 하였으며 形成되는 磷酸鹽의 相對的인 量 및 그 種類는 Al, Fe 및 Ca 과 結合되는 固相의 比表面積에 依存되는데 처음에는 Al-P 와 Ca-P 가 形成되다가 漸次的으로 溶解도가 낮은 Fe-P 로 變한다고 하였다. 土壤磷酸 또는 施用磷酸은 土壤中の 遊離鐵 또는 알루미늄과 結合하여 難溶性으로 된다^(9,15,20,38,47,51,63,79,83).

酸性 土壤에서는 有效磷酸이 缺乏되기 쉬우므로 石灰를 施用하여 土壤反應을 矯正하고 磷酸을 施用하는 것이 重要하다⁽⁵²⁾. 著者^(67,68)와 Tanaka 等⁽⁸⁵⁾은 特異酸性畚 土壤에는 有效磷酸含量이 大端히 적으므로 石灰나 珪灰石을 施用할 境遇 磷酸 施用量이 充分하지 못하면 初期에 無効分藥이 지나쳐 穗當粒數가 적어지고 때로는 穗數가 적어서 減收를 招來한다고 하였다. Tanaka 等⁽⁸³⁾도 特異酸性土에서 水稻가 正常的인 生育을 하려면 適當量의 磷酸과 石灰를 주어야 하며 이들의 施用으로 鐵의 害毒을 減少시킬 수 있다고 하였다. 河⁽²³⁾와 金等⁽⁸⁵⁾도 酸性 硫酸鹽 土壤에 石灰를 施用함으로써 水稻의 生育이 좋아지고 穗數, 粒數, 稈實率 및 收量을 增加시켰으며 2 價鐵의 害도 減少시키고 胡麻葉枯病의 發生도 輕減시켰다고 하였다.

Moormann⁽⁴⁷⁾은 特異酸性土의 生産制限因子로서 土壤의 強한 酸性, 黃酸鐵, 알루미늄 및 망간의 過剩, 낮은 肥沃度 및 土壤物理性의 不良 등을 들었고 그러한 土壤은 排水施設이나 石灰를 施用함으로써 改良할 수 있다고 하였으며 Ponnamperuma⁽⁷⁷⁾와 Mai-Thi My Nhung⁽⁴³⁾은 特異酸性土의 強한 酸度는 高等植物에 直接 害를 주고 有機酸의 害를 더욱 促進시키며 鐵이나 알루미늄 등의 過剩 被害가 큰데 石灰의 施用은 鐵의 被害를 防止할 수 있고 2 酸化망간은 Eh의 下降을 顯著히 遲延시킨다고 하였다. 特異酸性土에서는 土壤 酸性化에 依한 障害外에 酸化 生成物인 黃酸第一鐵과 黃酸 알루미늄에 依한 害를 크게 입는데 石灰施用으로 그 被害를 防止할 수 있다는 事實이 多數 報告되었다^(8,51,52,70,78,95).

米田⁽⁹²⁾는 鹽成干拓地에 關한 研究에서 土壤의 pH가 5.0以下로 되면 多量의 鐵과 알루미늄이 溶出되어 水稻生育을 沮害하고 3 價鐵은 硫黃細菌의 活動을 弱화시키며 특히 pH가 4.0以下로 되면 알루미늄의 溶出量이 急增하여 水稻의 生育을 크게

沮害한다고 하였다. 그러나 Tanaka 等⁽⁸³⁾은 特異酸性畚 狀態下에서는 可溶性 알루미늄이 湛水에 依해 減少되기 때문에 그 害가 없고 水稻生育이 不振한 主된 理由는 鐵의 害毒 때문이라고 하여 多量의 石灰와 磷酸 施用으로 이 被害를 減少시킬 수 있다고 하였다.

馬場等^(9,4)은 多量의 2 價鐵은 水稻의 根 生育을 沮害하거나 根腐의 原因이 되며 早期出穗, 分蘖 減少等에 依한 收量減收를 갖어옴과 同時에 P_2O_5 , $MnO_2 > K_2O, SiO_2 > NH_4-N$, CaO의 順으로 그 吸收를 沮害하며 根의 Cytochrome-oxidase의 活性을 沮害하고 葉의 蛋白態 窒素, 全糖 및 澱粉 含量을 減少시킨다고 하였다. 水稻에 被害를 주는 鐵의 濃度는 研究者에 따라서 一定치 않으나 Lockard⁽⁴¹⁾는 品種에 따라 被害程度가 다르지만, 一般的으로 20ppm 이면 生育이 減少된다고 하였으며 但野⁽¹⁶⁾는 鐵의 被害는 水稻의 無機營養 狀態의 影響을 크게 받는 것으로서 特히 加里, 石灰, 苦土 및 망간이 缺乏된 때에 나타나기 쉽다고 하였다. 村上⁽⁴⁸⁾은 水稻苗의 根伸長은 黃酸鐵 152ppm에서 50% 沮害된다고 하였다. 또 Tanaka 等⁽⁸⁴⁾은 水稻葉이 300ppm 以上の 鐵을 含有하면 처음은 적은 褐色 斑點이 나타나다가 全體가 褐色化 해서 Bronzing과 같은 鐵의 害毒症狀를 나타낸다고 하였고 이러한 被害 限界는 品種이나 其他 여러 要因에 따라 다르다고 하였으며 高濃度에서는 鐵이 根表面과 根冠에 酸化 集積되는데 濃도가 더 높아지면 節間이나 下葉에 移動 集積된다고 하였고 培養液에서의 限界濃度는 여러 要因에 따라 影響을 받는데 最低의 鐵 濃度는 pH 3.7에서 100ppm 이나 때로는 500ppm 以上이 되고 幼植物에서는 이 보다 더 낮은 濃度에서도 沮害를 받는다고 報告하였다.

Rorison⁽⁶⁰⁾은 알루미늄은 細胞分裂에 直接 影響을 미치고 多量 存在時에는 根의 伸長을 抑制하며 蛋白質과 磷酸에 關係하는 酵素의 活性을 低下시키고 磷酸, 石灰 및 加里 등의 吸收를 沮害하며 過剩의 鐵이 存在할 때에는 根表皮에 酸化鐵로 沈澱되어 酸素를 排出하고 蒸散速度를 減少시키는데 土壤의 pH가 3.5 以下이면 3 價鐵과 水素 ion이, pH 5.0까지는 알루미늄과 암모니아가, pH 5.0 以上이면 2 價鐵의 被害가 크다고 하였다. Cate等⁽¹⁰⁾은 營養分이 供給되지 않았을 境遇에는 알루미늄 1~2ppm에서도 水稻根의 生育은 顯著히 沮害되고 알루미늄의 濃도가 높으면 根生育이 障害를 받아 葉端과 葉週邊에 褐色 斑點이 생기는데 이런

現象은 알루미늄 25ppm 에서 처음 3週以內에 일어난다고 하였으며 Tanaka 等⁽⁶²⁾은 水稻가 正常的인 養分을 供給받았을때 알루미늄의 限界濃度는 25ppm 이고 300ppm 以上 일때는 過剩의 被害가 나타나는데 이 限界濃度는 培養液의 pH, 鐵의 濃度 및 磷酸含量에 따라 다르다고 하였다. 또 水稻體의 알루미늄 含量은 根에서 가장 높고 多量의 알루미늄이 根內部에 또는 根表面에 磷酸 알루미늄의 形態로 集積되고 麥로는 줄기에도 集積된다고 하였으며 高濃度의 鐵에 依하여는 알루미늄의 吸收가 減少된다고 報告하였다. 그러나 Lockard⁽⁴¹⁾은 알루미늄 400ppm 까지에서도 水稻生育에 별다른 被害가 없다고 하였다. 永田⁽⁶⁴⁾은 알루미늄은 $CaO > MgO > NO_3-N > K_2O > P_2O_5$ 의 順으로 그 吸收를 阻害한다고 하였다.

그러나 特異酸性畚 土壤에서 石灰施用과 結付시켜 澆水 및 乾燥過程에서 土壤의 化學成分 變化 및 磷酸의 形態變化에 對한 研究과 이 土壤에서 水稻苗 生育에 미치는 磷酸의 效果, 鐵 및 알루미늄의 影響等에 關하여는 아직 研究되어 있지않아 究明되어야 할 問題로 남아 있다.

II. 材料 및 方法

1. 供試土壤 處理前後의 化學的 性質調查

特異酸性畚 중에서 代表的인 金海統(慶尙南道 金海郡 篤洛面 鳳林里)의 表土와 心土(地表 20cm 下에서 採取) 및 比較의 目的으로 普通畚 表土(京畿道 水原市 九雲洞)等 3種의 土壤을 採取 風乾

하여 2mm 체를 通過한 細土 30gr 씩을 100ml Beaker 에 秤取하여 하나는 標準으로 하고 다른 하나는 石灰 中和量區로 하여 2 反覆으로 實驗하였다.

石灰量의 決定은 緩衝曲線法에 依하였다. 即 土壤 50gr 에 水 50ml 와 各己 다른 量의 化學用 消石灰를 加하고 잘 混合한 後 30±2°C 에 48時間 定置시킨 後 pH 를 測定하여 pH 7.0 까지 올리는 데 所要되는 石灰量을 中和量으로 하고 10a 當 特異酸性畚 表土는 612kg, 心土는 1,050kg, 普通畚 表土는 350kg 에 該當되는 石灰를 處理하였다.

石灰를 處理한 土壤에 蒸溜水(土壤:水=1:1) 를 부어 30±2°C 恒溫器에 25日間 놓아 두었다. 恒溫 期間中 蒸發하는 물은 蒸溜水로 補充하면서 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 및 25日間 澆水하고 25日 以後에는 蒸溜水를 加하지 않고 土壤을 乾燥시키면서 土壤의 pH, Eh 를 測定한 後 全 土壤을 蒸溜水 60ml 로 浸出하여 水溶性 2價鐵, 알루미늄 및 黃酸을 分析하였고 같은 土壤을 다시 Morgan 浸出溶液(pH 4.7) 60ml 를 加하여 잘 混合하고 1夜間 放置한 後 濾過하여 濾液中の 2價鐵, 알루미늄 및 黃酸等을 分析하였다. 乾燥過程中的 水分含量 變化는 恒溫 39, 42, 46日에 各各 44, 19 및 0.2% 이었다.

土壤의 pH 및 Eh 는 Beckman pH meter(Model G)를 使用하여 Calomel 電極을 標準으로 各各 硝子電極 및 白金電極으로 測定하였다. 供試土壤의 化學的 性質은 表1 과 같다.

石灰의 施用이 土壤의 水溶性 黃酸含量 變化에 미치는 效果를 보기 爲하여 40 mesh 체를 通過한 土壤 10gr 씩에 各己 다른 量의 消石灰 飽和溶液을 加하여 全液量을 50ml로 하였다. 이를 2時間 振

Table 1. Chemical properties of soils

Soil	pH (H ₂ O 1:5)	Organic matter (%)	Avail- able P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable cation (m.e./100gr)				C.E.C (m.e./ 100gr)	Availa- ble SiO ₂ (ppm)	Active Fe (%)	Easily red. Mn (ppm)	Avail- able SO ₄ (ppm)	Exch- angea- ble Al (me/ 100gr)	Phospho- rus absorp- tion coeffi- cient (P ₂ O ₅ mg/ 100gr)
				Ca	Mg	K	Na							
				Acid sulphate topsoil	5.0	4.7	27							
subsoil	3.9	3.3	19	1.62	2.50	0.47	0.22	10.6	177	1.58	1.2	1,725	3.10	968
Normal topsoil	5.5	3.0	81	3.13	2.44	0.42	0.07	10.8	61	1.15	18.2	175	0.62	635

濕하고 1 週間 恒溫(30±2°C) 處理한 後 溶液의 pH 를 測定하고 黃酸과 石灰를 分析하였다.

施用한 磷酸의 蓄積形態를 보기 爲하여 40mesh 체를 通過한 土壤 各 5 gr 씩을 50ml Polyethylene 遠心分離管에 秤取하고 中和에 所要되는 2 倍量의 石灰를 加하여 蒸溜水 25ml(土壤:水=1:5)를 부어 2 時間 振盪한 後 1 週日間 恒溫(30±2°C)에 둔다음 磷酸吸收係數 5%에 該當되는 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 를 水에 溶解하여 土壤에 添加한 後 1 時間 振盪機에서 振盪시킨 다음 1 夜間 恒溫(30±2°C)에서 15 時間) 下에 두었다가 遠心分離(2,200 rpm에서 15 分間)하여 溶液의 pH 를 測定하고 水溶性 石灰, 鐵 및 알루미늄을 分析하였으며 그 土壤과 實驗前 土壤에 對한 磷酸를 分別定量하였다. 磷酸分別定量은 Jackson法⁽²⁸⁾에 準하였으나 Occluded Fe-P 의 定量에 있어서는 事前處理로서 Na-citrate 및 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 를 30% H_2O_2 로 酸化處理하는 代身 0.25M KMnO_4 2 滴으로 處理하였다⁽⁷⁴⁾.

2. 特異酸性畚 土壤 改良條件에서 水稻의 生育 및 成分調查

特異酸性畚 土壤에 石灰를 施用하고 磷酸이 水稻 苗 生育에 미치는 效果를 調查하기 爲하여 2mm 체를 通過한 特異酸性畚 心土를 350gr들이 Polyethylene 小型 Pot 에 250 gr 씩 充填하고 所要石灰量(土壤 250gr 當 1,450mg 의 消石灰)을 加하여 土壤과 잘 混合한 後 水를 加하고 다시 잘 지어서 1 週日間 湛水하여 2 mm 程度로 催芽시킨 水稻(品種 振興)를 Pot 當 50粒씩 播種하고 溫室內에서 37日間 栽培하였다.

施肥는 窒素와 加里를 尿素와 鹽化加里로 成分量으로 各 30kg/10a 에 該當되는 量을 窒素는 50%, 加里는 全量 基肥로 播種 16日後에 表面施肥하고 窒素의 남어지 50%는 基肥施用 11日後에 1 回 追肥하였다. 磷酸은 吸收係數의 2.5, 5.0, 10.0%에 該當되는 27, 54, 108 kg/10a 相當量을 窒素, 加里 施用時에 全量 주었다.

處理는 主區로 無石灰와 石灰施用, 細區로 磷酸 無施用 및 磷酸施用(吸收係數의 2.5, 5.0, 10.0% 등) 4 水準을 分割區 配置法 3 反覆으로 하였다.

播種後 37日된 苗를 收穫하여 Pot 當 20本에 對하여 草長을 調查하였으며 地上部 全體를 80°C에서 24時間 乾燥시켜 乾物重을 調查하고 粉碎(40 mesh)하여 磷酸, 珪酸, 石灰, 鐵 및 알루미늄을 分析하였으며 苗 採取後 土壤의 pH 와 Morgan 浸

出液 可溶의 磷酸, 石灰, 알루미늄 및 珪酸을 分析하였다.

土壤의 水溶性 및 Morgan 浸出液 可溶 土壤成分은 Jackson⁽²⁸⁾과 農業技術研究所 土壤化學 分析法⁽⁵⁶⁾에 準하여 磷酸은 Ammonium molybdate 靑色法, 硫黃은 重量法과 比色法, 알루미늄은 Aluminon 法으로 Klett-Summerson photoelectric colorimeter (Model 900-3)로 分析하였고 石灰, 苦土, 加里, 2 價鐵 및 망간은 Atomic absorption spectrophotometer (Hitachi 303)로 定量하였다.

特異酸性畚 土壤에 石灰를 施用하고 鐵 및 알루미늄이 水稻 苗 生育에 미치는 影響을 보기 爲하여 本 試驗에 使用되는 苗는 磷酸施用 效果 試驗과 同一한 方法으로 栽培하였으며 磷酸단은 成分量으로 10a 當 30kg 을 重過石으로 全量 基肥로 表層施肥하였다. 鐵은 土壤重量의 100, 200, 400ppm 에 該當되는 量을 枸橼酸鐵로, 알루미늄은 50, 100, 200ppm 에 該當되는 量을 $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 로 水에 溶解하여 3 要素와 함께 播種 16日後에 施用하였다.

處理는 主區로 無石灰와 石灰施用, 細區로는 鐵은 0, 100, 200, 400 ppm 그리고 알루미늄은 0, 50, 100, 200ppm 등의 4 水準을 分割區 配置法 3 反覆으로 하였다.

播種後 37日된 苗를 採取하여 苗의 磷酸 施用 效果에 미치는 影響 試驗에서와 같이 草長과 乾物重을 調查하고 苗中의 鐵, 알루미늄, 珪酸, 石灰 및 磷酸을 分析하였으며 苗 採取後 土壤의 pH 와 Morgan 浸出液 可溶의 鐵, 알루미늄, 磷酸 및 石灰 등을 分析하였다.

植物體 分析^(57,57)은 粉碎한 試料를 濃 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ (9:2:4.5)로 濕式分解하여 珪酸은 重量法, 磷酸은 Ammonium vanadate 法, 알루미늄은 Aluminon 法으로 定量하였고 石灰와 鐵은 土壤에서와 같이 Atomic absorption spectrophotometer 로 分析하였다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

1. 石灰施用이 特異酸性畚 土壤의 化學的 特性變化에 미치는 效果

(1) 土壤의 pH, Eh, Fe[#] 및 Al[#]의 變化

特異酸性畚 表土와 心土 그리고 普通畚 表土에

石灰를 施用하지 않았을때 湛水狀態에서 그의 pH 變化를 보면 그림 1 에서와 같이 特異酸性畚 表土와 普通畚 表土는 湛水初期 pH가 若干 上昇하다가 降下되는 傾向을 보인다. 特異酸性畚 心土에서는 湛水初期부터 pH의 變動이 크지않고 거의 一定한 程度를 繼續 維持하였다. 特異酸性畚 土壤은 原土壤의 pH가 낮고 有效磷酸도 적으며 鐵이나 알루미늄 및 黃酸이 많아서 微生物의 活動이 制限되기 때문에 還元이 되지 않은 것으로 생각된다. 그러나 石灰를 中和量 施用한 데서는 3個土壤 다 같이 無石灰인 때 보다 pH가 크게 上昇되었고 (24,66,69) 湛水初에 높고 下降하다가 다시 徐徐히 上昇되고 있다. 이것은 石灰施用으로 炭酸이

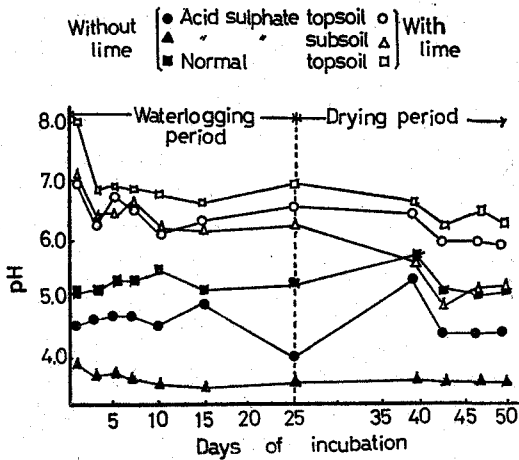


Fig. 1. Change of pH in the soils.

나 有機物 分解에 依한 有機酸에 原因되었을 것이다 (48,72,90,95).

土壤이 乾燥되는 過程에서도 石灰를 施用하지 않았을 때는 湛水時와 別 差異가 없으나 石灰를 施用한 때는 pH가 약간 降下되고 있는데 水分 44%인 39日 제는 多少 높아졌다가 水分이 19%以下로 乾燥되었을 때에는 거의 一定한 値를 보인다. 그러나 石灰를 施用한 때에 原土의 pH가 낮은 特異酸性畚 心土에서는 乾燥에 依해서 土壤의 pH가 크게 降下되고 있는데 이것은 湛水 期間中 還元狀態에서 生成된 黃化物이 黃酸鹽으로 變化되기 때문에 影響받은 것으로 생각된다 (6,18,48,50,91,95).

土壤의 Eh 變化를 보면 그림 2 에서와 같이 3個土壤 共히 湛水 5日 頃에 下降되고 그 以後 上昇하다가 15日 頃에 다시 떨어져서 徐徐히 上昇되고 있으며 乾燥에 依해서는 39日 以後 부터 Eh가 上

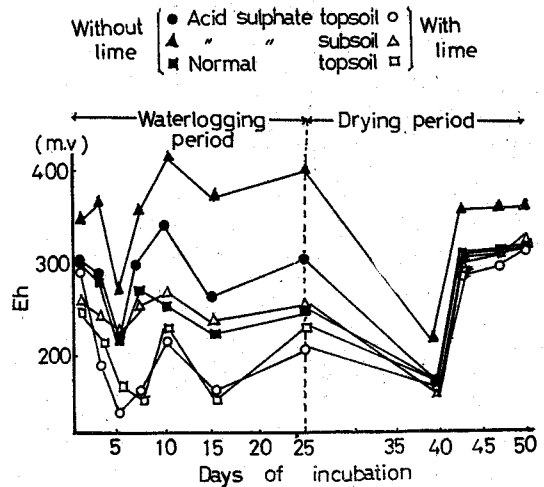


Fig. 2. Change of redox potential in the soils.

昇하여 一定하게 維持되는데 pH가 上昇할 때 Eh는 下降하는 傾向을 보인다. 이러한 傾向은 有機物의 分解나 土壤의 酸化還元 物質에 支配되는 것으로 보여지는데 本實驗에서는 이들의 種類나 濃度面에서 檢討하지 않았다.

土壤別로 보면 特異酸性畚 心土에서 Eh가 가장 높았으며 다음이 表土, 普通畚 表土의 順으로 떨어진다.

石灰施用으로는 無石灰區에 比하여 各土壤 共히 Eh 値가 크게 떨어지고 있는데 特異酸性畚 心土에서는 그 떨어지는 程度가 다른 土壤에 比하여 더 크다. 이 土壤은 有機物 含量은 比較的 높으나 土壤의 pH가 甚히 낮기 때문에 微生物의 活動이 制約을 받아서 還元이 잘 되지 못하였을 것으로 解釋된다 (24).

湛水土壤의 pH와 Eh는 서로 負相關의 關係가 있다고 여러 사람에 依해서 報告된바 있으나 (69,71) 本實驗에서는 乾燥過程의 土壤에서만 有意的인 負相關($r = -0.416^{**}$)의 關係가 있었고 湛水된 土壤에서는 負相關의인 傾向만을 보이고 있다.

特異酸性畚 表土와 心土 그리고 普通畚 表土에서 水溶性 및 Morgan 溶液可溶 2價鐵의 生成量을 보면 그림 3 에서와 같이 湛水期間이 길어짐에 따라 다같이 湛水 15日 까지는 어느 境遇에나 繼續 增加되고 있으며 (18,50,70,72,76,77) 水溶性에서는 特異酸性畚 表土에서 제일 많았고 다음이 心土이며 普通畚 表土에서는 가장 적었다. 石灰를 施用했을 때는 3個土壤 다같이 2價鐵의 生成量이 減少 되어서 普通畚 表土에서는 10ppm 以下로 떨어졌다. 乾燥

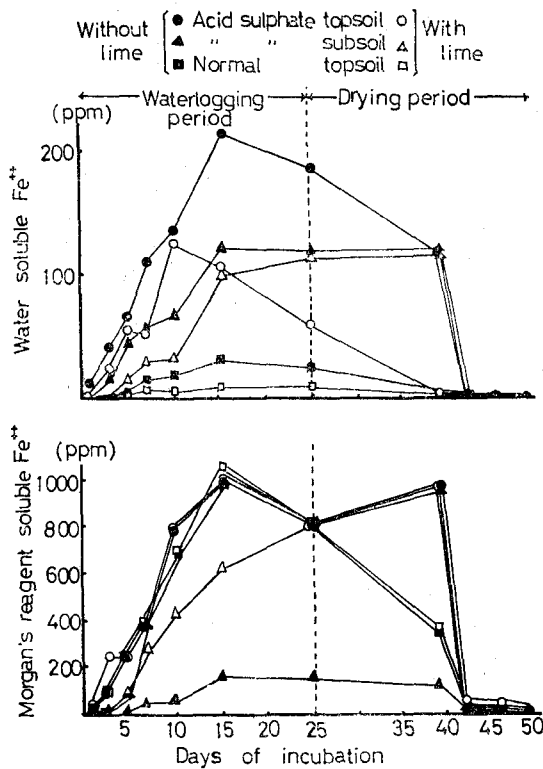


Fig. 3. Change of water- and Morgan's reagent soluble ferrous iron content during incubation.

過程에서는 土壤의 種類와 石灰施用에 關係없이 水溶性 및 Morgan 溶液 可溶 2價鐵이 어느 境遇에나 다 같이 減少되어 水分含量이 44%인 때는 125ppm 程度 含有되나 水分含量이 19% 以下로 되면 거의 없어지는데 이는 土壤의 乾燥에 따른 酸化인 것으로 생각된다.

Morgan 溶液에 可溶인 2價鐵은 湛水期間中에 特異酸性畚心土를 除外한 다른 境遇에는 湛水 15 日後 까지 繼續 上昇되고 그 以後에는 減少되고 있다. 特異酸性畚心土에서는 石灰施用에 依해서 2價鐵이 오히려 增加되고 있는데 그 原因은 分明치 않으며 이와같은 事實은 朴等^(66,69)도 既히 報告한바 있다. 乾燥過程中에서는 2價鐵은 繼續 減少하고 있어서 水溶性에서와 같이 水分含量이 44%에서는 1,000ppm 程度 含有하나 水分含量이 19% 以下가 되면 거의 없어진다. 土壤의 Eh와 2價鐵의 含量과의 關係를 보면 湛水 土壤에서는 아무런 關係가 없었으나 乾燥土壤에서는 有意性 있는 負의 相關($r = -0.645^{**}$)을 보인다.

特異酸性畚表土와 心土 그리고 普通畚表土에서 水溶性 알루미늄의 含量은 그림 4에서와 같이

特異酸性畚心土에 石灰를 施用하지 않은 區를 除外하고는 各土壤 다같이 石灰施用이나 湛水 또는 乾燥過程에 依하여 거의 一定한 狀態를 維持하였다. 그러나 石灰를 施用하지 않은 特異酸性畚心土에서는 湛水初에는 그 含量이 많다가 湛水期間이 길어짐에 따라 減少되는데 이 土壤은 湛水가 되어도 還元이 되지않아 pH는 繼續 3.5程度를 維持하고 있었다.

乾燥過程에 있어서도 水分含量이 44%까지는 湛水時와 같았으나 水分含量이 19% 以下로 乾燥되면 水溶性 알루미늄의 含量은 增加되었다가 다시 減少된다.

Morgan 溶液에 浸出되는 알루미늄의 含量은 湛水初부터 5日頃까지는 繼續 低下되고 그以後 2~3日間에는 上昇되었다가 다시 減少되고 있으며 石灰施用으로 줄어드는 傾向이다. 그러나 水溶性 알루미늄에서와 같이 特異酸性畚心土는 石灰가 施用되지 않았을때 그 含量은 200ppm 程度로 가장 높았다.

乾燥過程에서는 土壤의 水分含量이 적어질수록 알루미늄은 漸次 增加되고 있는 傾向이다. Morgan 溶液에 浸出되는 알루미늄은 이와같이 湛水에 依하여 土壤이 還元되거나 石灰를 施用하면 알

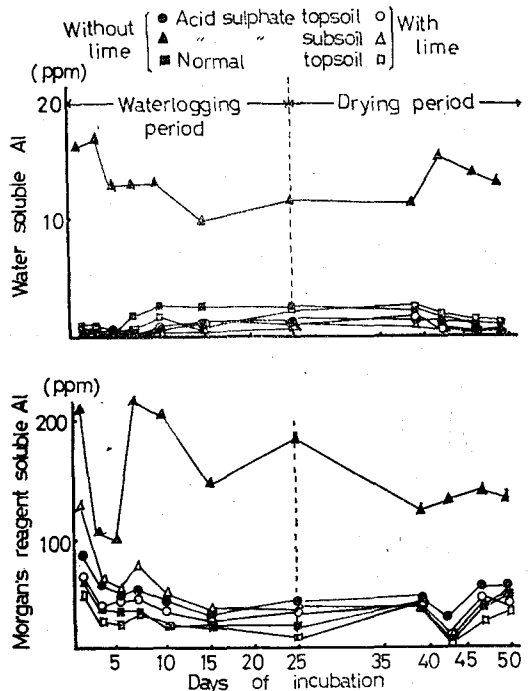


Fig. 4. Change of water- and Morgan's reagent soluble aluminium content during incubation.

루미늄의 함량이 減少되는데 이러한 結果는 많은 사람들의 研究 結果와 一致된다(66,69,70).

特異酸性畚 表土와 心土 그리고 普通畚 表土에서 湛水土壤의 黃酸含量을 보면 그림 5에서와 같이 湛水 7日째 까지 增加되고 그 以後 큰 變動은 없었는데 이러한 結果는 Ponnampereuma(77)의 報告와 一致한다. 土壤別로 보면 普通畚 表土에서 가장 낮고 다음이 特異酸性畚 表土이며 가장 많은 土壤이 特異酸性畚 心土이었다.

石灰施用으로는 普通畚 表土에서 湛水 1週日까지는 黃酸이 增加되는 傾向이나 그 以後에는 石灰施用으로 減少되며 特異酸性畚 表土는 15日以前에는 普通畚 表土와 같은 傾向으로 石灰施用에 依하여 增加되다가 그 以後에 오히려 石灰無施用區보다도 그 含量이 낮았다. 特異酸性畚 心土에서는 石灰施用區가 無施用區에 比하여 湛水初부터 繼續하다가 湛水 25日頃에 가서 無石灰區와 같아진다. 以後 乾燥過程中에는 湛水期間中 還元된 黃化物이 黃酸鹽으로 變化되기 때문에(2,47,48)

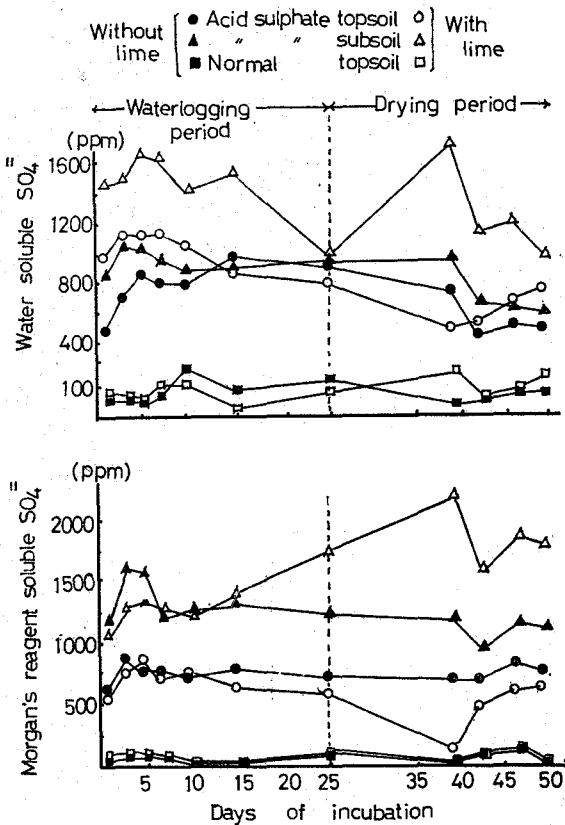


Fig. 5. Change of water and Morgan's reagent soluble sulphate content during incubation.

黃酸含量이 높아질 것으로 期待하였으나 오히려 低下되었다.

Morgan 浸出液에 溶解되는 黃酸은 水溶性의 것과 같은 傾向을 보인다. 黃酸含量이 175 ppm인 普通畚 表土에서는 石灰施用에 關係없이 그 量이 거의 같고 特異酸性畚 表土에서는 石灰施用으로 黃酸이 繼續 減少되는 傾向이나 心土에서는 湛水 10日까지는 石灰施用으로 減少되다가 그 以後는 오히려 增加되고 있다. 乾燥過程에서는 一般적으로 土壤의 水分 含量이 적어질수록 增加되는 傾向을 보여준다.

以上の 成績으로 미루어 보면 石灰가 黃酸을 沈澱시키기 爲하여는 1週日 程度의 期間이 必要한 것 같으며 還元の 造成이 잘 안되고 黃酸含量이 많은 土壤은 石灰中和量 만으로는 黃酸의 含量을 減少시키지 못함을 알 수 있는데 이것은 van Breen(68)이 報告한 바와같이 溶解되는 HCO_3^- 의 當量 增加가 이루어지지 못하는 때문인 듯 하다.

(2) 土壤의 黃酸含量 變化

特異酸性畚 土壤(金海統)에 石灰를 施用하고 1週日間 湛水한 後의 pH는 그림 6에서와 같이 土壤溶液中의 石灰含量이 많을수록 上昇되고 있다. 特히 pH가 낮았던 心土에서는 表土에 比하여 pH 7.0까지 石灰含量의 增加에 따라 繼續 上昇되고 있다. 그러나 表土에서는 石灰 1.71 me/l까지는 pH가 上昇되나 그 以上에서는 石灰의 量이 增加되어도 pH는 變動되지 않았다. 石灰의 施用이 土壤의 pH를 上昇시킨다는 것은 여러사람들에 依하여 報告(55,61,66,69)된바 있으나 表土에서 石灰施用에 依하여 pH가 크게 變化되지 않은 것은 土壤中の 有機物, 石灰 및 苦土가 많은데 原因된 것으로 생각된다.

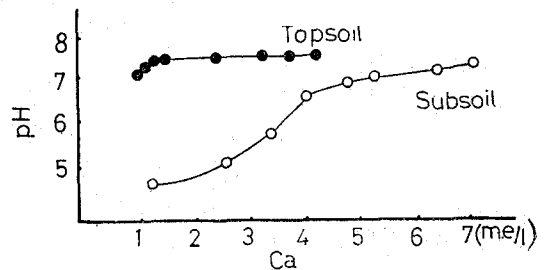


Fig. 6. Relation between contents of calcium and pH in the soil solution.

黃酸含量은 그림 7에서와 같이 一般적으로 pH가 올라감에 따라 減少되는 傾向을 보인다. 表土

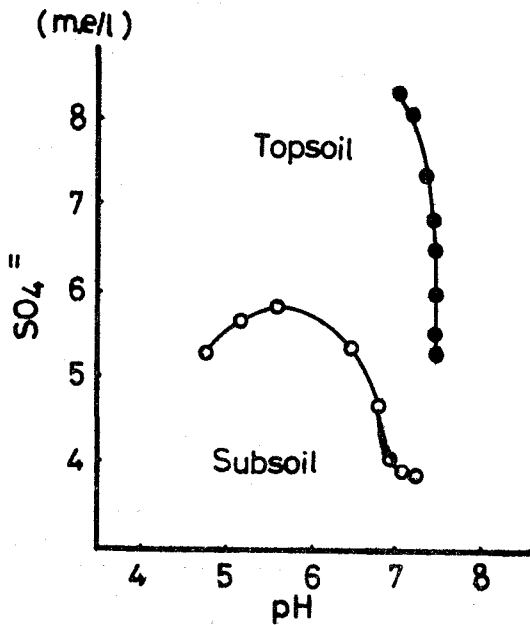


Fig. 7. Relation between contents of soluble sulphate and pH in the soil solution.

에서는 石灰와 pH 關係에서와 같이 黃酸의 減少程度가 大端히 完滿하나 心土에서는 pH 5.5 까지는 黃酸含量이 增加되고 그 以上에서는 pH 上昇

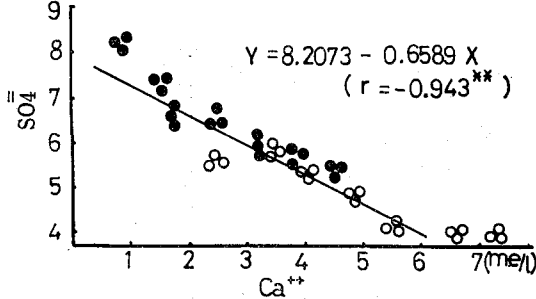


Fig. 8. Correlation between contents of soluble sulphate and calcium in the soil solution.

에 따라 오히려 減少되고 있어 石灰含量과의 關係에서와는 다른 傾向을 보이고 있다. 土壤의 pH가 原來 낮은 心土에서 pH 가 5.5 以下인 境遇 黃酸含量이 減少되지 않은 것은 Brinkman⁽⁸⁾이 報告한 바와 같이 施用된 石灰量이 黃酸과 結合하여 石膏로서 沈澱되기 爲한 充分한 量이 되지 못하고 石灰의 施用이 오히려 硫黃이 黃酸으로 酸化되거나 Pyrite의 酸化를 促進시켰기 때문이 아닌가 생각된다.

土壤溶液中의 水溶性 石灰含量과 黃酸含量과의 關係를 보면 그림 8에서와 같이 黃酸含量은 石灰含量이 增加됨에 따라 減少하고 있으며 이들 兩者間에는 高度의 有意性있는 負相關關係가 있었다.

이 結果는 石灰施用이 土壤의 黃酸과 結合하여 石膏로서 沈澱되기 때문에 그의 含量을 減少시킨 것으로 생각되는데 van Holst等⁽⁸⁰⁾은 排水管 시멘트 加水化物에서 遊離된 消石灰는 地下水中の 黃酸과 結合을 하는데 이때 黃酸이 充分하면 콘크리트 위에 石膏가 沈澱된다고 報告한 바 있다. 그러나 Brinkman⁽⁸⁾은 土壤에 石灰를 施用하는 것은 土壤의 pH가 7.0 以上 또는 그 以下에서 硫黃이 黃酸으로 酸化되는 것을 促進한다고 하여 石膏의 生成論과는 다른 過程을 推定한 바 있다.

(3) 土壤 磷酸形態의 變化

土壤別로 磷酸의 形態別 含量을 보면 表 2에서와 같다.

全磷의 含量은 普通畚 表土에서 612.5ppm 으로 가장 많고 特異酸性畚 表土나 心土에서는 이보다 적으며 表土에서 보다는 心土에서 더 적었다. 이 全磷의 含量은 分別方法에 따른 差異도 있지만은 吳等⁽⁶⁰⁾이 報告한 우리나라 平均 含量 332ppm 보다 많은 量이다. 有機磷도 全磷에서와 같은 傾向으로 가장 적은 土壤이 特異酸性畚 心土이고 普

Table 2. Content of phosphorus fractions in the soils.

Soil	P (ppm)							
	W-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occ. Fe-P	Occ. Al-P	Org.-P	Total-P
Acid sulphate topsoil	0.07	2.7	141.0	22.4	45.0	11.4	273.7	496.3
subsoil	0.08	1.0	101.5	15.9	26.9	6.9	235.2	387.5
Normal topsoil	0.09	16.5	177.3	32.0	53.5	15.5	317.7	612.5

W-P=Water soluble P

Occ. Fe-P=Occluded Fe-P

Org.-P=Total P-Inorganic P

Occ. Al-P=Occluded Al-P

通番 表土에서는 가장 많았으며 有機磷은 全磷의 51~61%를 차지하고 있다.

無機磷中 水溶性의 것은 土壤間에 큰 차이가 없었고 Al-P, Fe-P, Ca-P, Occ. Fe-P 및 Occ. Al-P 도 全磷이나 有機磷에서와 같이 普通番 表土에서 가장 많았으며 特異酸性番 心土에서 가장 적었다. 無機磷中에서 가장 많은 것이 3個土壤 다같이 Fe-P 이며 그 含量은 101.5ppm에서 177.3ppm이었다. 한편 Occ. Fe-P는 3個土壤 모두 Fe-P보다 적었으나 Occ. Al-P는 오히려 Al-P보다도 많았다. Ca-P는 Fe-P나 Occ. Fe-P보다도 적었으며 普通番 表土에서도 그다지 많지 않았다.

全磷에 對한 各形態의 無機磷酸 配分을 보면 그림 9에서와 같이 Fe-P가 가장 많아서 60.1~66.6%를 占有하며 다음이 Occ. Fe-P가 17.7~20.2%, Ca-P가 10.4~10.8%, Occ. Al-P가 4.5~5.3%, Al-P가 0.71~5.6%의 順으로 含有된다.

土壤別 無機磷 含有順位는 特異酸性番 表土 및 心土에서 다같이 Fe-P>Occ.Fe-P>Ca-P>Occ.Al-P>Al-P의 順이고 普通番 表土에서는 Fe-P>Occ. Fe-P>Ca-P>Al-P≥Occ.Al-P의 順으로 Al-P와 Occ. Al-P의 含量이 거의 같았다. 이와같은 事實은 pH가 낮고 活性 알루미늄의 含量이 많은 特異酸性番 土壤에서는 磷酸이 Al-P보다는 Occ. Al-P

로 더 많이 固定되어 있음을 말해준다. 吳等⁽⁶⁰⁾은 우리나라 番土壤 磷配分은 Fe-P>Org.-P>Red. Fe-P>Ca-P≥Al-P의 順이라고 하였는데 本實驗에서도 그와같은 結果를 얻었다. 勿論 各磷의 形態別 含量은 地域이나 土壤의 種類 또는 分別方法 등에 따라 相異할 것이나 番土壤의 磷形態가 主로 Fe-P>Al-P>Ca-P라고 한 Park⁽⁶⁴⁾, Hong⁽²⁷⁾, 江⁽¹⁸⁾, 東海⁽²⁰⁾, 金野⁽²¹⁾, Basak等⁽⁶⁾의 報告와는 一致되지 않는다.

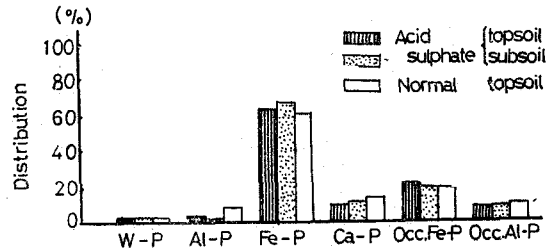


Fig. 9. Distribution of various inorganic phosphorus fractions in the soils.

이들 3個土壤에 石灰를 施用하여 1週日間 湛水한後 磷酸을 施用하고 無機磷을 分別定量한 結果는 그림 10에서와 같이 石灰가 施用되지 않았을 때에 特異酸性番 表土와 心土에서는 Fe-P>Occ. Fe-P>Ca-P>Al-P>Occ.Al-P의 順으로 原土에서 보다 湛水와 磷酸施用으로 Al-P가 더 많이 增加

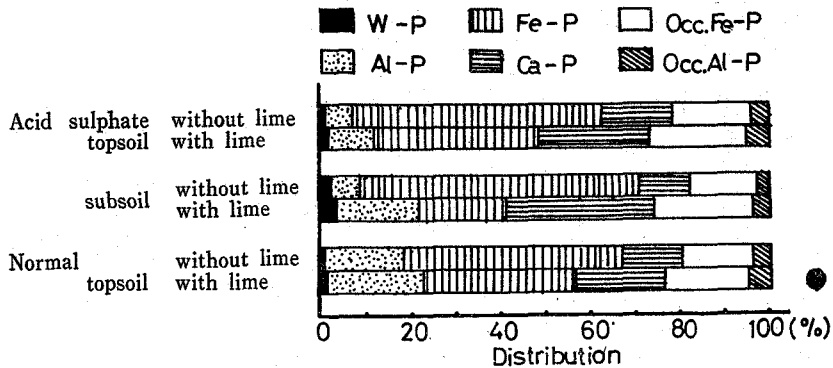


Fig. 10. Change of soil inorganic phosphorus fractions after lime application.

되었다. 普通番에서도 Fe-P>Al-P>Occ.Fe-P>Ca-P>Occ. Al-P의 順으로 原土에서 보다 Al-P가 크게 增加되었다.

Mandal⁽⁴⁴⁾은 土壤에 石灰를 施用함으로써 Fe-P나 Al-P는 減少하고 Ca-P는 增加한다고 하였으나 本實驗에서는 이와는 달리 Al-P가 오히려 增加되었다. 이것은 金等⁽³⁷⁾이 磷酸의 固定은 pH 4.75~7.10사이에서는 pH上昇에 따라 漸減한다고 한 報告나

Magistad⁽⁴²⁾ 및 Pierre⁽⁷⁵⁾ 등이 알루미늄의 溶解度는 pH 5.0~7.0에서 가장 적고 그 以下이거나 以上에서는 크다고 한바와 같이 湛水와 石灰施用으로 土壤의 pH가 크게 上昇되어 溶解度가 큰 알루미늄이 磷酸과 가장 많이 結合되는 것으로 推定된다.

石灰를 施用하고 湛水한後 磷酸을 施用하였을 때에는 Fe-P를 除外하고는 各形態의 磷이 다같이 增加되며 特異酸性番 表土에서는 Fe-P>Occ.

Fe-P > Ca-P > Al-P > Occ. Al-P의 順이었고, 心土에서는 Ca-P > Occ. Fe-P > Fe-P > Al-P > Occ. Al-P의 順이었는데 普通畚 表土에서도 特異酸性畚 表土에서와 같은 傾向을 보인다. 石灰를 施用하므로서 各 土壤 모두 Fe-P만 減少되고 다른 無機磷은 增加되는데 特히 Ca-P와 Al-P가 많이 增加되었다.

石灰와 磷酸을 施用할때 pH가 낮은 特異酸性畚 心土에서 Fe-P가 減少되는것과 增加되는 Ca-P 및 Al-P는 다른 土壤에 比하여 2倍以上이나 된다. 鐵이나 알루미늄은 어느 程度까지는 pH上昇으로 그 溶解度가 低下되지만 알루미늄은 pH가 上昇되면 그 溶解度가 다시 增加되기 때문에 磷酸과 結合된분이 많아졌을 것이다 (7, 37, 39, 42, 43, 75, 76).

한편 土壤溶液中의 化學成分과 各形態의 磷酸含量과의 相關關係를 보면 表3에서와 같이 土壤溶液의 pH는 Fe-P와는 負相關을, Al-P, Ca-P 및

Table 3. Linear correlation coefficient for relationships between some chemical factors of soil solution and the various forms of phosphorus.

	W-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occ. Fe-P	Occ. Al-P
pH	0.293	0.790**	-0.804**	0.833**	0.670*	0.412*
Ca	0.620*	0.413	-0.926**	0.971**	0.579*	0.053
Fe	-0.767**	0.433	0.404	-0.133	0.298	0.075
Al	-0.139	0.346	0.085	-0.231	-0.271	-0.032

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

Occ. Fe-P와는 正相關을 보이며 石灰도亦是 Fe-P

와는 負, W-P와 Ca-P, Occ. Fe-P와는 正相關을 보이고 鐵은 다만 W-P와 負 相關을 보여서 石灰含量이 많고 pH가 높을수록 Fe-P는 減少되고 Al-P, Ca-P 및 Occ. Fe-P는 增加됨을 보여준다.

2. 特異酸性畚 土壤에서 石灰施用이 水稻苗 生育에 미치는 影響

(1) 磷酸施用 效果에 미치는 影響

特異酸性畚 土壤에서 磷酸을 그 吸收係數의 2.5, 5.0 및 10.0%에 該當하는 量을 施用하였을 때 水稻苗 生育에 미치는 效果를 보면 表4에서와 같이 草長은 石灰施用으로 有意性은 없으나 若干 增加되었으며 磷酸施用으로는 磷酸 無施用區에 比하여 어느 水準에서나 顯著한 增加를 가져왔다.

乾物重은 金⁽³⁵⁾, 河⁽²³⁾, 村上^(51,52), Tanaka⁽⁶³⁾ 등의 報告와 같이 石灰施用으로 크게 增加되었으며 磷酸施用으로도 크게 增加되어 無石灰인 境遇에는 磷酸 5.0%와 10.0% 施用時에는 各各 1% 및 5% 水準에서 有意性있는 增收를 가져왔으나 磷酸 2.5% 施用時에는 有意性이 없었다. 그러나 石灰를 施用하였을 때에는 磷酸 施用量이 많을수록 增加되었다.

磷酸施用에 따른 乾物重 增加를 보면 그림 11에서와 같이 石灰를 施用하지 않았을 때에는 無磷酸區에 比하여 磷酸 2.5, 5.0, 10.0%施用으로 各各 4.42, 9.29, 7.08%가 增收되어서 磷酸 多量施用으로 오히려 減收되었다. 그러나 石灰施用時에는 無石灰, 無磷酸區에 比하여 磷酸 0, 2.5, 5.0 및 10.0% 區에서 各各 4.40, 18.14, 20.35 및 37.60%로 磷酸 10.0% 施用時까지 繼續 增收되었다.

Table 4. Plant height and dry matter yield of rice seedlings at different amounts of lime and phosphorus applications.

Treatment	P ₂ O ₅ , without lime					P ₂ O ₅ , with lime					L.S.D		C.V (%)
	(%) 0	2.5	5.0	10.0	Mean	(%) 0	2.5	5.0	10.0	Mean	5%	1%	
Plant height (cm)	35.1	39.7**	40.7**	40.9**	39.1	37.9	39.9**	41.9**	40.6**	40.1	Lime 2.418	5.578	2.787
											P ₂ O ₅ 1.402	1.979	
Dry matter (gr/pot)	2.26	2.36	2.47**	2.42*	2.38	2.36	2.67**	2.72**	3.11**	2.72**	Lime 0.127	0.294	4.563
											P ₂ O ₅ 0.148	0.208	

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

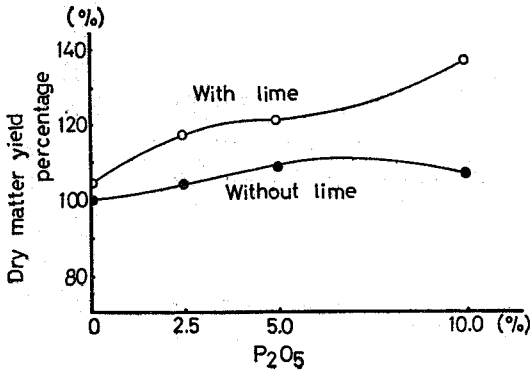


Fig. 11. Relationship between dry matter percentage and the amount of phosphorus applied with or without liming. The amounts are equivalent to 2.5, 5.0, and 10.0% of the phosphorus absorption coefficient respectively.

Tanaka等⁽⁸⁵⁾은 特異酸性土에서 土壤의 pH가 矯正 되었을때 磷酸이 作物의 生育 制限要因이라고 報告

한바 있다.

沈等⁽⁸¹⁾은 低位生産畝에 對한 磷酸效果試驗에서 磷酸 施用量の 增加는 水稻의 生育을 促進하고 千粒重, 稔實率, 登熟比率等을 增加시킨다고 하였고 水稻苗에 磷酸肥料를 施用하면 苗의 乾物重이 늘고 生育이 良好하다고 한 報告^(86,40,51,55)와 같은 結果를 얻었다.

水稻苗가 吸收한 營養分의 含量을 보면 表 5에서와 같이 磷酸施用으로 磷酸含量이 크게 增加 되었으며⁽⁸⁵⁾ 鐵을 除外한 各成分은 一定한 傾向을 보이지 않았다. 鐵은 磷酸 吸收量이 많을수록 減少되었는데 이것은 Tanaka等⁽⁸⁶⁾의 報告와 같이 磷酸에 依하여 그 吸收가 制限되었을 것이다.

石灰施用으로는 石灰 및 珪酸含量은 增加되고 鐵 및 알루미늄은 減少되는데 이것은 石灰施用이 이들의 有効度를 減少시킨 때문이라 생각된다^(9,42,75). 또 石灰施用區에서 磷酸含量이 적은것은 乾物重增加에 基因된 것으로 본다.

草長도 乾物重을 增加시킨 큰 要因($r=0.498^*$)

Table 5. Contents of mineral nutrients in dry matter of rice seedlings at different amounts of lime and phosphorus.

Treatment	P ₂ O ₅ (%)	CaO(%)	Fe(ppm)	Al(ppm)	SiO ₂ (%)	
Without lime	P ₂ O ₅ 0	0.37	0.33	360.0	276.7	5.8
	2.5	1.22	0.43	307.0	201.7	4.9
	5.0	1.46	0.40	280.0	220.0	5.0
	10.0	1.94	0.46	270.0	222.5	7.3
	Mean	1.25	0.41	304.3	230.2	5.8
With lime	P ₂ O ₅ 0	0.46	0.64	300.0	177.5	9.1
	2.5	0.94	0.67	306.5	188.3	8.9
	5.0	1.18	0.70	253.3	178.3	7.9
	10.0	1.29	0.63	233.3	183.3	7.7
	Mean	0.97	0.66	273.3	181.9	8.4

이었으며 草長 및 乾物重과 營養分 吸收量과의 關係를 보면 表 6에서와 같이 乾物重은 磷酸, 石灰 및 珪酸 吸收量과, 草長은 磷酸 및 石灰吸收量과 高度의 有意性있는 相關을 보여서 이들 成分의 吸收가 乾物重이나 草長을 增加시킨 要因이 되었을 것이다.

한편 試驗後 土壤에서 Morgan 浸出液에 溶出되는 化學成分과 乾物重과의 關係를 보면 表 7에서와 같이 pH의 上昇이나 磷酸 및 石灰含量과는 高度의 有意性있는 正相關 關係가 있었고 鐵이나 알루미늄 含量과는 1%에서 有意性있는 負相關을 보

Table 6. Linear correlation coefficients for relationships between plant height and dry matter yield separately and amount of nutrient uptake.

	P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂
Plant height	0.723**	0.542**	-0.389	-0.250	0.108
Dry matter yield	0.538**	0.794**	0.145	0.102	0.626**

** Significant at 1% level

여서 土壤에 이들 成分이 많은것은 乾物重을 減少시키는 要因이 되었을 것으로 본다.

Table 7. Linear correlation coefficients for relationships between dry matter yield and chemical properties in the soil after harvest.

	pH	P ₂ O ₅	Ca	Fe	Al	SiO ₂
Dry matter yield	0.651**	0.539**	0.617**	-0.642**	-0.668**	0.375

** Significant at 1% level

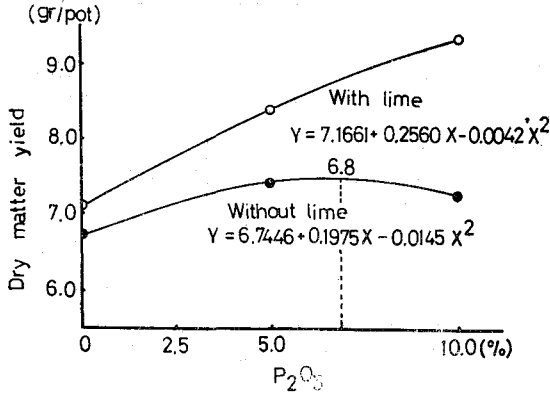


Fig. 12. Maximum dry matter yield of rice seedlings as different levels of phosphorus. The levels are equivalent to 2.5, 5.0 and 10.0% of the phosphorus absorption coefficient respectively.

本實驗에서 水稻苗에 對한 適正 磷酸施用量은 그림 12에서와 같이 石灰를 施用하지 않았을 때에는 吸收係數의 6.8%에 該當되는 量을 施用함으로써 最高의 乾物重을 生産할 수 있었으나 石灰가 施用되었을 때에는 吸收係數의 10.0%에 該當되는 磷酸量까지 乾物重이 增加되었다.

(2) 鐵 및 알루미늄의 効果에 미치는 影響

特異酸性畝에 石灰를 施用하였을 때에 鐵 및 알루미늄이 水稻苗 生育에 미치는 影響을 調査한 結果는 表 8 과 같다.

鐵은 石灰施用과 相關없이 草長을 크게하는 傾向이 있었으며 乾物重은 오히려 減少되었으나 石灰施用으로 多少 增加되는 效果를 보였다.

알루미늄에 의하여 草長은 鐵에서와 같이 石灰施用의 影響을 크게 받지 않았으며 石灰를 施用한 區에서는 알루미늄의 施用量이 增加될수록 오히려 커지는 傾向이었다. 이것은 鐵에서와 같이 石灰施用으로 土壤 有機物의 分解나 다른 營養分의 有効度가 커진데 原因된 것으로 생각한다.

乾物重은 石灰가 施用되지 않았을 때에는 알루미늄의 施用量이 늘수록 크게 減少되었으며 石

Table 8. Plant height and dry matter yield of rice seedlings as affected by different amount of lime, iron and aluminium.

Treatment		Plant height (cm)	Dry matter (gr/pot)	Treatment		Plant height (cm)	Dry matter (gr/pot)		
Without lime	Fe (ppm)			Without lime	Al (ppm)				
	0	35.8	2.64		0	35.8	2.64		
	100	37.1	2.40*		50	36.0	2.35**		
	200	37.8*	2.29**		100	34.4	2.25**		
	400	36.8	2.18**		200	34.8	2.21**		
	Mean	36.90	2.38		Mean	35.28	2.36		
With lime	Fe			With lime	Al				
	0	34.0	2.84		0	34.0	2.93		
	100	36.7**	2.82		50	35.9	2.95		
	200	35.9*	2.70		100	37.8**	2.97		
	400	37.7**	2.67*		200	38.1**	3.08		
	Mean	36.10	2.76		Mean	36.44	2.98**		
L.S.D				L.S.D					
Lime	5%	4.310	0.602	Lime	5%	4.940	0.155		
	1%	9.942	1.388		1%	11.394	0.358		
Fe	5%	1.573	0.164	Al	5%	2.494	0.213		
	1%	2.220	0.231		1%	3.519	0.303		
C.V.		(%)	3.390	5.020	C.V.		(%)	5.473	5.960

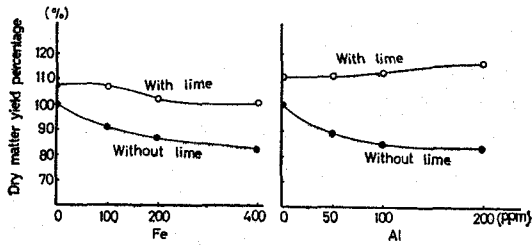


Fig. 13. Yield percentage of dry matter in rice seedlings as affected by different amounts of lime, iron and aluminium.

灰를 施用하므로써 增加되었으나 有意性은 없었다. 鐵 및 알루미늄의 施用量 增加에 따른 乾物重의 減少率을 그림 13에 나타 내었으며 石灰가 施用되지 않았을때는 鐵이나 알루미늄 施用量이 增加됨에 따라 다같이 減少되어서 鐵에 있어서는 9.09 ~ 17.42%, 알루미늄에 있어서는 10.08 ~ 16.29%가 減少 되었다.

Table 9. Contents of mineral nutrients in the dry matter of rice seedlings as affected by different amount of lime, iron and aluminium.

Treatment	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (%)	Treatment	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	Fe (ppm)	Al (ppm)	SiO ₂ (%)
Without lime (ppm)						Without lime (ppm)					
Fe 0	1.19	0.32	273	136	5.59	Al 0	1.19	0.32	273	136	5.59
100	1.01	0.35	367	150	5.45	lime 50	1.08	0.38	367	214	5.65
200	0.95	0.36	520	157	5.67	100	1.04	0.36	340	321	5.64
400	0.94	0.38	533	174	6.38	200	0.98	0.37	380	421	4.97
Mean	1.02	0.35	423	154	5.77	Mean	1.07	0.36	340	273	5.46
With lime (ppm)						With lime (ppm)					
Fe 0	1.12	0.67	200	161	7.33	Al 0	1.12	0.67	267	114	7.33
100	0.98	0.63	267	135	7.49	50	0.92	0.70	260	123	7.57
200	0.88	0.61	400	120	8.67	100	0.81	0.71	280	132	7.63
400	0.81	0.62	420	118	7.99	200	0.75	0.79	260	143	7.13
Mean	0.95	0.63	322	134	7.87	Mean	0.90	0.72	267	128	7.42

나타난바와 같이 鐵이나 알루미늄의 施用으로 그들의 含量이 크게 增加되었으며 石灰나 珪酸 및 鐵 施用時의 알루미늄 含量이나, 알루미늄 施用時의 鐵 含量은 一定한 傾向을 보이지 않는다. 그러나 磷酸含量은 鐵이나 알루미늄 施用量이 增加됨에 따라 減少되고 있는데 이것은 馬場等⁽⁴⁾, 永田⁽⁵⁴⁾, 吉田⁽⁵⁸⁾가 報告한바와 같이 鐵이나 알루미늄에 依해서 磷酸吸收가 抑制되었거나 Rorison⁽⁶⁰⁾과 Tanaka⁽⁶²⁾ 등이 指摘한 바와 같이 磷酸이 根部에서 알루미늄이나 鐵에 依하여 結合, 根에 集積되므로 그 吸收를 阻害하였기 때문이라 생각된다. 石灰施用으로 石灰와 珪酸의 含量이 增加된 反面 磷酸은 그 含量이 增加되지 않았고 鐵이나 알루미늄의 含量은 石

灰나 石灰가 施用되었을 때에는 鐵에 있어서는 無石灰때보다 그 被害가 적어서 0.70~5.09%가 減少되었으나 알루미늄에 依하여는 鐵에서와 달리 알루미늄의 施用量이 많을수록 오히려 增加되는 傾向이었다. 그 原因은 石灰施用에 依해서 알루미늄의 溶解도가 減少되고 따라서 土壤에서 不足되는 磷酸과 其他 成分의 有効度を 增加시킨 것으로 推定된다.

特異酸性畚 土壤에는 鐵이나 알루미늄이 過剩으로 存在하여 水稻에 被害를 주고^(47,51,52,87,92,95) 이들이 他營養分의 吸收를 阻害하기 때문에 水稻의 生育이 不良하여지고 減收를 가져온다고 알려져 있다^(1,4,16,54).

草長의 늘어남은 乾物重을 增加시키지는 못하며 鐵의 境遇에는 이들間에 $r = -0.416^*$ 의 負相關을 보이고 있으나 알루미늄의 境遇에는 相關關係가 없었다. 水稻苗가 吸收한 營養分의 含量은 表9에

灰가 施用됨에 따라 다같이 減少되고 그 吸收된 量이 아주 적었다. 이것은 石灰施用으로 鐵이나 알루미늄의 溶解도가 減少된때 基因되는 것으로 안다^(9,42,75).

草長 및 乾物重과 營養分 吸收量과의 關係를 보면 表10에서와 같이 草長은 鐵이 施用되었을 때에는 알루미늄의 吸收量과 負의 相關을 보일뿐 其他 成分은 草長에 큰 影響을 미치지 못하였다. 그러나 乾物重에 있어서는 石灰나 珪酸含量과는 正의 相關, 鐵含量과는 負의 相關을 보여서 鐵분이 많을수록 乾物重이 減少됨을 보여준다.

알루미늄이 施用되었을 때에는 草長은 알루미늄의 含量 및 吸收量과 負의 相關을 보이고 乾物重

Table 10. Linear correlation coefficients for various relationships between plant height, dry matter yield, nutrient contents and nutrient uptake.

		Fe added					Al added				
		P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂
Plant height	Nutrient content	-0.216	-0.290	0.276	-0.337	-0.326	-0.152	0.256	-0.360	-0.524*	0.274
	Amount of nutrient uptake	-0.404	-0.333	0.171	-0.707**	0.035	0.116	0.334	-0.087	-0.621**	0.394
Dry matter yield	Nutrient content	0.020	0.652**	-0.675*	-0.310	0.447*	-0.522	0.783*	-0.417	-0.619**	0.703**
	Amount of nutrient uptake	0.621**	0.788**	-0.391	0.180	0.564**	0.260	0.891**	0.293	-0.487*	0.906**

* Significant at 5% level

** Significant at 1% level

에 있어서는 그의 흡수량이나 吸收量이 모두 石灰와 珪酸과는 正相關, 알루미늄과는 負相關을 보인다. 따라서 本試驗에서 乾物重의 生産에 寄與하는 것은 石灰와 珪酸인데 珪酸은 石灰施用으로 그 有効度가 增加된 때문이라 보며 吸收된 鐵이나 알루미늄은 草長을 작게 하고 同時에 乾物重을 減少시킨 原因이 되었다.

한편 Morgan 浸出液에 溶出되는 試驗後 土壤의 化學成分과 水稻苗의 乾物重과의 關係를 보면 表

Table 11. Linear correlation coefficients for relationships between dry matter yield and chemical properties in the soil after harvest.

	pH	Ca	Fe	Al	SiO ₂
Fe added	0.737**	0.714**	-0.693**	-0.786**	0.666**
Al added	0.824**	0.819**	-0.802**	-0.839**	0.749**

** Significant at 1% level

11에서와 같이 pH, 石灰 및 珪酸含量과 乾物重과는 高度의 有意性있는 正相關을 보이고 있는데 이들 성분은 石灰施用으로 그 有効度가 增加되고 pH가 上昇된 때문이라 생각되며 鐵이나 알루미늄 등은 有意性있는 負相關을 보여서 이들 成分이 土壤에 많이 含有될수록 乾物重을 減少시키는 要因이 됨을 알 수 있다.

IV. 綜合考察

特異酸性土壤에서 作物의 生育이 不良하다는 것은 여러가지 面에서 생각할 수 있으며 또 많은 報告가 있다. 本實驗에서는 中 우리나라에 分布된

特異酸性畚 土壤에서 代表的이라고 알려진 金海統의 表土와 心土를 가지고 石灰를 施用한 灌水 또는 乾燥過程 土壤에서 pH, Eh, Fe²⁺, Al³⁺ 및 SO₄²⁻의 變化, 土壤磷酸의 形態變化, 磷酸, 鐵 및 알루미늄이 水稻苗 生育에 미치는 影響 등에 關하여 研究한바 그 結果를 다음과 같이 綜合考察코져 한다.

土壤이 灌水됨으로써 pH는 上昇되다 떨어지고 Eh는 下降되다 上昇되는데 (24, 29, 58, 62, 70, 77) 이 程度는 普通畚 表土에서 가장 크고 다음이 特異酸性畚 表土 그리고 心土의 順이다. 石灰施用으로도 3個 土壤 다 같이 위의 順序로 pH가 크게 增加되고 Eh는 떨어지고 있다. 그러나 特異酸性畚 心土에서는 灌水로 인한 pH 變化가 크지 않고 繼續 原土壤의 pH를 維持하고 있으며 Eh도 가장 높았다. 이것은 土壤의 pH가 너무 낮고 微生物 活動에 好條件이 되지 못하여 土壤還元이 이루어지지 못한 때문이라 생각된다.

土壤이 乾燥되면 石灰施用에 關係없이 灌水初期 原土壤의 pH와 Eh로 돌아가는데 特異酸性畚 心土에서 만든 石灰施用에 依하여 灌水初期의 pH는 6.0以上으로 上昇 되었어도 乾燥되어 水分含量이 44%以下로 되면 다시 5.0程度로 떨어지고 있다. 이것은 土壤에 含有된 多量의 黃化物이 黃酸鹽으로 酸化되는데 基因되는 것으로 생각된다 (92, 93, 94, 95).

이와 같은 土壤에서 作物에 被害를 주는 한 要因이 過剩의 鐵이나 알루미늄으로 알려져 있고 (43, 47, 51, 87, 92, 95) 本實驗에서도 水溶性 2價鐵은 灌水를 하므로써 各 土壤 다같이 增加되어 15日頃에 最高에 達하는데 普通畚 表土에서는 32ppm, 特異酸性畚 表土에서는 216ppm, 心土에서는 169ppm이나 된다. 이 含量은 Lockard (41)가 水稻에서 被害를

준다고 하는 限界濃度 20ppm보다는 約 10배가 되는 量이며 村上⁽⁴⁸⁾가 報告한 限界濃度 152ppm과는 거의 같은 量이 되므로 이들 土壤은 2價鐵이 水稻에 被害를 주는 것이 確實하다고 생각한다.

그러나 石灰를 施用하던 2價鐵의 含量은 半以下로 떨어져서 2價鐵의 含量이 被害를 줄 수 있는 境遇라도 石灰施用으로 그 溶解도를 減少시켜 被害를 輕減시킬 수 있음을 알 수 있다. Morgan 溶液 可溶 2價鐵 含量은 特異酸性畚 表土와 普通畚 表土에서는 湛水 15日頃에 最高로 되어 1,035ppm 이나 되며 石灰의 施用으로 影響받지 않으나 特異酸性畚 心土는 石灰施用으로 繼續 增加되고 있다. 이것은 pH와 Eh에서 論한 바와 같이 石灰施用으로 微生物의 活動이 徐徐히 始作되고 土壤의 還元이 發達되기 때문이 아닌가 생각한다. 乾燥過程에서는 Morgan 溶液 可溶 2價鐵의 含量도 土壤이 乾燥되어 水分含量이 44%以下로 되면 거의 없어진다.

畚土壤의 水溶性 알루미늄 含量은 pH와 密接한 關係가 있어서 湛水에 依해서 pH가 5.0 以上으로 上昇되면 거의 없어진다고 알려져 있다^(66,69,70). 本實驗에서도 特異酸性畚 心土를 除外하고는 湛水나 石灰施用으로 알루미늄의 溶解도가 減少되어 그 含量은 最高 2.6ppm 程度되고 있으나 土壤의 pH가 낮았던 特異酸性畚 心土에서는 石灰施用으로는 減少되었으나 石灰가 施用되지 않았을 때는 湛水에 依하여 若干 減少되기는 하나 最高 16.7ppm 이나 되며 乾燥過程에서도 水分이 19%인 때는 15.3ppm 이나 되었다. 이것은 黃化物이 알루미늄의 黃酸鹽으로 變化되고 이의 溶解도가 增加되는 것으로 생각할 수 있다^(61,52).

Morgan 溶液 可溶 알루미늄도 湛水나 石灰施用으로 減少되며 乾燥에 依하여 增加되는데 그 含量은 水溶性의 10배나 되고 있다. 特異酸性畚 心土에서는 Eh 變化樣相과 똑 같이 變化되고 있어 土壤還元이나 微生物의 活動과 密接한 關係를 가지고 있음을 말해준다. 水稻에서 알루미늄의 被害 限界濃度は 村上⁽⁴⁸⁾는 34ppm 이라고 하였고 Tanaka⁽⁶²⁾는 25ppm 이라고 하였으며 Lockard⁽⁴¹⁾는 400ppm 에서도 아무런 被害가 없다고 하였는데 特異酸性畚 心土에서 水溶性 알루미늄 16.7ppm 이나 Morgan 溶液 可溶 알루미늄이 最高 210ppm 을 含有하는 것으로 보면 水稻에 被害를 줄 수 있을 것이라 생각한다.

土壤의 黃酸含量을 보면 Ponnamperuma⁽⁷⁷⁾의 報

告와 같이 湛水 初에는 적다가 湛水 1週日 後에 最高로 되어 水溶性 黃酸이 最高 1,656ppm 을 보이며 特異酸性畚 表土와 普通畚 表土에서는 石灰施用으로 湛水 10日頃까지는 黃酸이 增加되다가 그 以後에는 減少되고 있다. 그러나 特異酸性畚 心土에서는 湛水 25日頃에 가서 갈아진다. Morgan 溶液 可溶 黃酸도 이와같은 傾向을 보이고 있다. 이것은 施用되는 石灰가 黃酸과 作用하여 石膏로서 沈澱되기 爲하여는 一定한 反應期間이 必要하며 pH가 아주 낮은 心土에서는 中和量의 石灰만으로는 黃酸과 作用할 수 있는 充分한 量이 되지 못하고 오히려 土壤反應이나 還元에 影響하는 것이 더 큼을 말해 주는 것이 아닌가 생각한다. 乾燥過程에서는 黃酸은 若干 增加되는 傾向을 보이고 있는데 이것은 土壤이 乾燥됨에 따라 水分含量이 19% 以下인 때에 黃化物이 黃酸鐵이나 黃酸 알루미늄과 같은 黃酸鹽으로 變化됨에 따라 增加되는 것으로 생각할 수 있다^(2,92,93,95).

特異酸性畚 土壤의 各形態의 磷酸을 分別定量的 結果 吳等⁽⁶⁰⁾이 報告한 우리나라 畚土壤 各種 形態의 磷酸含量에서와 같이 Fe-P와 Org.-P가 제일 많았으며 無機磷에서는 Fe-P>Occ. Fe-P>Ca-P>Occ. Al-P>Al-P의 順으로 亦是 Fe-P가 제일 많았다. 그러나 特異酸性畚 土壤에는 鐵이나 알루미늄이 많기 때문에 Fe-P나 Al-P로 大部分 存在할 것이라고 期待하였으나 Occ. Al-P, Al-P 보다는 그 差는 크지 않지만 Ca-P가 더 많았으며 Occ. Fe-P도 相當히 많았고 Occ. Al-P는 Al-P 보다는 더 많았다. 特異酸性畚 土壤을 湛水하고 磷酸을 施用한 때는 原土에서 보다 Al-P가 더 많이 增加되었는데 이것은 湛水와 石灰施用으로 土壤의 pH가 上昇되면 알루미늄의 溶解도는 減少되지만 pH가 더 上昇되어 7.0 以上으로 되어도 그의 溶解도가 다시 增加되기 때문에^(42,75) 增加되는 것으로 생각되며 石灰를 施用하고 湛水한 後 磷酸을 施用한 때는 各 土壤 共히 無機磷이 增加되는데 Fe-P만은 減少되고 이 減少되는 程度는 pH가 낮았던 心土에서 가장 크고 Ca-P로 되는 量도 많다. 이와 같이 石灰施用은 土壤의 Fe-P를 크게 減少시키며 Ca-P와 Al-P를 크게 增加시킨다.

以上에서 特異酸性畚 土壤은 pH가 낮고 2價鐵 含量이 많으며 湛水된 土壤의 pH가 上昇되지 않으면 알루미늄 등의 要因과 鐵이나 알루미늄으로 인한 磷酸不足 때문에 水稻가 正常的으로 生育하기 困難하나 石灰를 주어 pH를 上昇시키면 磷酸

의 有効度를 增加시키고 이들의 被害를 減少시킬 수 있다고 結論지을 수 있을 것이다.

特異酸性畚 土壤은 鐵이나 알루미늄이 土壤磷酸과 結合하여 難溶性으로 되기 때문에 磷酸이 大端히 적다 (15, 20, 47, 51, 52, 63, 88). 著者⁽⁶⁷⁾의 研究結果에서도 水稻에서 磷酸效果가 나타나지 않았는데 이것은 施用되는 磷酸의 量이 너무 적어서 土壤에 多量으로 含有되는 鐵이나 알루미늄等과 結合되어 그 有効度가 減少되고 水稻가 利用하지 못한 것으로 보고 多量의 磷酸을 施用하여 水稻苗에 對하여 그 效果를 試驗한 結果 石灰施用으로 乾物重은 크게 增加되고 草長도 큰 傾向이 있으며 磷酸施用으로도 無石灰時는 吸水係數의 5%에 該當되는 量을 施用했을때 草長도 크고 乾物重도 많았으며 石灰施用時는 吸收係數의 10.0%에 이르기 까지 乾物重이 繼續 增加되었다.

乾物重의 增加는 石灰나 磷酸施用으로 土壤의 pH와 磷酸 및 石灰를 增加시키고 同時 鐵이나 알루미늄의 含量을 減少시켜서 苗가 磷酸이나 石灰 및 珪酸은 多量 吸收하고 鐵이나 알루미늄의 吸收를 抑制하기 때문이며 이 土壤에서 磷酸을 施用할 때는 磷酸 吸收係數를 考慮하여야 함을 알 수 있겠다.

鐵과 알루미늄이 水稻苗 乾物重에 미치는 影響은 大端히 커서 標準區에 比하여 크게 減少하였으나 石灰施用으로 이 被害는 크게 輕減되어 알루미늄에 있어서는 標準區보다도 오히려 增加되고 있는 傾向이다. 鐵이나 알루미늄은 馬場等^(3,4)이 報告한 바와 같이 磷酸의 吸收를 抑制하고 鐵이나 알루미늄의 吸收를 增加시켜 乾物重을 減少시키나 石灰를 施用하면 土壤의 pH를 上昇시키고 石灰, 磷酸 및 珪酸의 吸收를 增加시키며 鐵이나 알루미늄의 吸收는 減少시켜 乾物重을 增加케 한다^(49,77).

따라서 有効磷酸 含量이 적고 鐵이나 알루미늄 등의 含量이 많은 特異酸性畚 土壤에 石灰를 施用하고 適正量의 磷酸을 施用하므로써 土壤의 性質을 改良하고 水稻苗의 生育을 良好하게 하여 보다 많은 生産量을 거둘 수 있다고 結論 지을 수 있다.

以上에서 考察한 特異酸性畚 土壤에서의 낮은 pH, 過剩의 2價鐵, 알루미늄 및 黃酸 등의 여러 要因中 어느 因子가 더 크게 水稻苗 生育에 影響하는가 하는 問題에 對하여는 앞으로 더 究明되어야 할 것으로 생각한다.

V. 摘 要

本 研究은 酸度가 甚히 높고 水稻의 生育이 低調하며 收量이 낮은 特異酸性畚 土壤에 對한 特性調査와 그 改良의 目的으로 石灰를 施用하였을 때 土壤의 化學的 性質과 水稻苗의 生育에 미치는 影響을 檢討 研究하고자 하였다. 即 特異酸性畚 土壤에서 石灰의 施用이 그 土壤의 酸度, 酸化還元電位差, 2價鐵, 알루미늄 및 黃酸含量의 變化와 土壤磷의 化學的 形態에 미치는 影響을 湛水 및 乾燥와 같은 環境의 變化下에서 追究하였으며 한편 水稻의 苗 生育에 對하여 磷酸, 鐵 및 알루미늄의 改良의 또는 沮害의 效果를 石灰의 影響下에서 檢討한 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 特異酸性畚 心土는 石灰가 施用되어도 乾燥되면 다시 pH가 低下된다.

2. Eh는 湛水 5日頃에 最低로 되고 石灰施用으로 크게 下降되나 乾燥되면 다시 上昇된다.

3. 水溶性 및 Morgan 溶液可溶 2價鐵의 含量은 湛水 15日頃에 最高로 되며 水溶性 2價鐵만이 石灰施用에 依하여 크게 減少된다.

4. 水溶性 및 Morgan 溶液可溶 알루미늄 含量은 湛水와 石灰施用으로 減少되며 乾燥에 依하여 약간 增加되는 傾向이다.

5. 石灰를 施用한 特異酸性畚 土壤에서 水溶性 石灰와 黃酸含量 間에는 高度의 有意性 있는 負相關 關係가 있으며 石灰施用은 土壤의 黃酸含量을 減少시킨다.

6. 全磷은 特異酸性畚 表土에서 496.3ppm, 心土에서 387.5ppm이었으며 無機磷의 含量은 $Fe-P > Occ.Fe-P > Ca-P > Occ.Al-P > Al-P$ 의 順으로 Fe-P가 가장 많았다.

7. 石灰施用은 土壤의 Ca-P나 Al-P 등을 크게 增加시키고 Occ. Fe-P와 Occ. Al-P도 增加시키나 Fe-P는 減少시키는데 그 程度는 土壤에 따라 다르다.

8. 水稻苗의 乾物重에 對한 磷酸效果는 顯著하며 石灰를 施用하지 않을때는 磷酸 吸收係數의 6.8%, 石灰를 施用할 때는 磷酸 吸收係數의 10.0% 該當量에서 가장 많은 乾物重을 生産하였다.

9. 石灰施用은 水稻苗中の 石灰 및 珪酸의 含量과 그 吸收量을 增加시키나 鐵 및 알루미늄含量과 그 吸收量을 減少시킨다. 苗中の 磷酸含量이나

吸收量은 磷酸施用으로 增加되나 鐵含量은 減少되며, 鐵이나 알루미늄의 施用은 이들의 含量과 吸收量을 增加시키나 磷酸含量과 吸收量은 減少시킨다.

10. 石灰의 施用은 過剩의 鐵과 알루미늄에 依한 被害를 크게 輕減시킨다.

11. 磷酸 施用時 苗의 乾物重은 苗中の 磷酸, 石灰 및 珪酸의 吸收量과 高度의 有意性있는 正相關關係가 있었고 鐵 및 알루미늄 施用時 乾物重은 石灰, 珪酸의 含量 및 그 吸收量과는 有意性 있는 正相關, 鐵 및 알루미늄의 含量과 이들의 吸收量과는 有意性있는 負相關 關係가 있었다.

12. 石灰와 磷酸을 施用하였을 때 苗의 乾物重은 試驗 後 土壤의 pH 및 Morgan 溶液 可溶 石灰 含量과 高度의 有意性있는 正相關 關係가 있었고 石灰와 鐵 및 알루미늄을 施用한 試驗 後 土壤의 pH 와 石灰 및 珪酸含量과도 有意性있는 正相關, 鐵 및 알루미늄의 含量과는 負의 相關關係가 있었다.

引用文獻

1. 相見靈三, 村山高. 日農技研報. D 11:331-336 (1964).
2. Andriess, J.P., N. van Breemen, and W.A. Blokhuis. Acid sulphate soils. 18 Vol. II. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 11-39 (1972).
3. 馬場尙, 高橋保夫, 岩田保夫. 日作紀. 22 (1-2): 41-42 (1953).
4. 馬場尙, 田島公一. 日作紀. 29 (1): 47-50 (1960).
5. Basak, M.N. and R. Bhattacharya. Soil Sci. 94 (4): 258-262 (1962).
6. Bloomfield, C. J. Soil Sci. 23(1):1-5 (1972).
7. Bohn, H.L. and M. Peech. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33(6):873-876 (1969).
8. Brinkman, R. and L.J. Pons. Acid sulphate soils. 18 Vol. I. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 169-203 (1972).
9. Buckman, H.O. and N.C. Brady. The nature and properties of soils. Sixth edition. The Macmillan Co. New York. 369-372, 437-442 (1965).
10. Cate, R.B. Jr. and A.P. Sukhai. Soil Sci. 98 (2):85-93 (1964).
11. Chang, S.C. Soils and fertilizers in Taiwan. Teipei, Taiwan. 1-15 (1965).
12. Chang, S.C. and W.K. Chu. J. Soil Sci. 12 (2):286-293 (1961).
13. 江景村. 日土肥誌. 34(1):18-22 (1963).
14. Cho, C.M. and A.C. Caldwell. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23(6):458-460 (1959).
15. Cole, C.V. and M.L. Jackson. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15:84-89 (1950).
16. 但野利秋. 日土肥誌. 41(12):498-501 (1970).
17. 高井康雄, 小山忠四郎, 加村崇雄. 日農化誌. 31:211-220 (1957).
18. 高井康雄, 加村崇雄, 足立勇. 日土肥誌. 29 (5): 216-220 (1958).
19. Fleming, J.F. and L.T. Alexander. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25(2):94-95(1961).
20. Gebhardt, W. Acid sulphate soils. 18 Vol. II. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 287-301 (1972).
21. 金野隆光, 弘法健三. 1970. 日土肥誌. 41(6): 223-229 (1970).
22. Gotoh, S. and K. Yamashita. Soil Sci. Pl. Nut. 12(6):24-32 (1966).
23. 河浩成. 韓土肥誌. 3(1):29-34 (1970).
24. 河浩成, 梁敏錫, 崔相道. 晋州農大附設 農業資源利用研究所 農業研究所報. 6:25-30 (1972).
25. 東海林覺, 樋口福男. 日土肥誌. 41(8): 319-322(1970).
26. 東海林覺, 樋口福男. 日土肥誌. 41(9):353-357 (1970).
27. Hong, C.K and I. Yamane. The reports of the institute for agricultural research, Tohoku university. 24:31-42(1973).
28. Jackson, M.L. Soil chemical analysis. Constable & CO. LTD. London. 82-415(1962).
29. Jeffery, J.W.O. J. Soil Sci. 11(1):140-148 (1960).
30. Jeffery, J.W.O. J. Soil Sci. 12(1):172-179 (1961).
31. Kanapathy, K. Soil survey and soil fertility research in Asia and the far east. World soil

- resources reports. 41. FAO/UNDP. 30-31 (1971).
32. Kanapathy, K. Acid sulphate soils. 18 Vol. II. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 383-390 (1972).
 33. Kar, A.K. and S.N. Chakravarti. Review of soil research in India edited by Kanwar, J.S. and S.P. Ray Chaudhuri. Indian Soc. Soil Sci., New Delhi 30(1971).
 34. 金浩植. 韓農學誌. 1:25-60(1954).
 35. 金正教. 晉州農大附設 農業資源利用研究所 農業研究所報 6:27-33(1971).
 36. 金文圭. 韓土肥誌. 3(1):17-21(1970).
 37. 金秉圭, 山口益郎, 高橋英一, 河崎利夫, 奧田東. 日土肥誌. 38(7):243-248(1967).
 38. Larsen, J.E., G.F. Warren, and R.Langston. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23(6):438-440 (1959).
 39. Lindsay, W.L. and H.F. Stephenson. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23:12-18(1959).
 40. 이진귀, 최대웅. 農試研報. 8(1): 119-123 (1965).
 41. Lockard, R.G. and A.R. Mcwalter. Soils and fertilizers. 20(6):358(1957).
 42. Magistad, O.C. Soil Sci. 20:181-226(1925).
 43. Mai- Thi My Nhung and F.N. Ponnampereuma. Soil Sci. 102(1):29-41(1966).
 44. Mandal, S.C. Review of soil research in India edited by Kanwar, J.S. and S.P. Ray Chaudhuri. Indian Soc. Soil Sci., New Delhi. 28-29(1971).
 45. Motomura, S. Soil Sci. Pl. Nut. 8(1):20-29 (1962).
 46. 本村悟, 秋山豊, 山中金次郎. 日土肥誌. 32(12):605-612(1961).
 47. Moormann, F.R. Soil Sci. 95(4):271-275 (1963).
 48. 村上英行. 酸性 硫酸鹽 土壤の特性と改良法に關する研究. 34-86(1965).
 49. 村上英行. 日土肥誌. 38(4):112-116(1967).
 50. 村上英行. 日土肥誌. 39(2):116-120(1967).
 51. 村上英行. 日土肥誌. 39(4):194-198(1968).
 52. 村上英行. 日土肥誌. 39(11):514-519 (1968).
 53. Murthy, R.S. Soil survey and soil fertility research in Asia and the far east. World soil resources reports. 41. FAO/UNDP. 24-29 (1971).
 54. 永田武雄. 日土肥誌. 24(5):259-262(1954).
 55. 日本 農林省 振興局 研究部. 土壤肥料全編. 養賢堂(東京) 359, 559-560(1961).
 56. 農業技術研究所 土壤化學分析法. 15-81(1974).
 57. 奧田東. 植物營養學實驗. 朝倉書店(東京) 57-90(1961).
 58. 吳旺根. 農試研報. 9(1):175-208(1966).
 59. 吳旺根, 朴英善, 鄭東熙. 韓土肥誌. 1(1):7-11(1968).
 60. 吳旺根, 辛相燮. 農試研報. 7(1):25-30(1964).
 61. Oh, W.K., Y.S. Park, and Y.S. Choi. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 4(2):149-154 (1971).
 62. 大杉繁, 西垣直久, 吉見光彌. 日農化誌. 11(8): 659-673(1935).
 63. Paho Hsu. Soil Sci. 99(6):398-402(1965).
 64. Park, H. A study on the availability of phosphates in paddy field soil by means of P^{32} . M.S. degree thesis, S.N.U. (1965).
 65. 朴來正, 朴天緒, 金泳燮, 趙伯顯, 李春寧. 農試研報. 10(3):9-21(1967).
 66. 박내경, 박영선, 이규하, 김영섭. 韓土肥誌. 5(1):25-32(1972).
 67. 박내경, 박영선, 이규하, 김영섭. 농지연보 (식물환경편). 15:49-58(1973).
 68. Park, N.J. and Y.S. Park. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 2(1):15-26(1969).
 69. Park, N.J. and Y.S. Park, and Y.S. Kim. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 4(2):167-175 (1971).
 70. Park, Y.D and Y.S. Kim. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 3(1):23-28(1970).
 71. 朴英善, 朴天緒, 朴來正, 尹錫權. 農試研報. 12(3):1-18(1969).
 72. 朴英善, 吳旺根, 朴來正. 韓土肥誌. 1(1):1-5 (1968).
 73. 朴英善, 尹錫權, 朴天緒, 清園 金泳燮 博士 回甲論文集. 25-39(1973).
 74. Petersen, G.W. and R.B. Corey. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:563-565(1966).
 75. Pierre, W.H., G. G. Pohlman, and T.C.

- McIlvaine. *Soil Sci.* 34:145-160(1932).
76. Ponnampereuma, F.N. The mineral nutrition of the rice plant. The international rice research institute, Philippines. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 295-328 (1964).
 77. Ponnampereuma, F.N., T. Attanandana, and G. Beye. Acid sulphate soils. 18 Vol. II. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 391-406(1972).
 78. Pons, L.J. Acid sulphate soils. 18 Vol. I. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 3-27 (1972).
 79. Rickard, D.T. Acid sulphate soils. 18 Vol. I. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 28-65 (1972).
 80. Rorison, I.H. Acid sulphate soils. 18 Vol. I. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 223-254 (1972).
 81. 沈相七, 宋基俊, 金貞子. 韓土肥誌. 4(1):21-26(1971).
 82. Tanaka, A. and S.A. Navasero. *Soil Sci. Pl. Nut.* 12(2):9-14(1966).
 83. Tanaka, A. and S.A. Navasero. *Soil Sci. Pl. Nut.* 12(3):23-30(1966).
 84. Tanaka, A., R. Loe, and S.A. Navasero. *Soil Sci. Pl. Nut.* 12(4):32-38(1966).
 85. Tanaka, A. and S. Yoshida. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. The international rice research institute, Philippines, technical bulletin 10:15-19 (1970).
 86. The international rice research institute. Annual report. IRRI, Philippines. 199-240(1964).
 87. The international rice research institute. The International rice research institute annual report for 1972. 190-193(1973).
 88. van Breemen, N. Acid sulphate soils. 18 Vol. I. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 66-130(1972).
 89. van Holst, A.F. and C.J.W. Westerveld. Acid sulphate soils. 18 Vol. II. International institute for land reclamation and improvement, the Netherlands. 373-382(1972).
 90. 山中金次郎, 本村悟. 日土肥誌. 29(3):104-108(1958).
 91. 米田茂男. 農業及園藝. 33(8):1177-1180(1958).
 92. 米田茂男. 農業及園藝. 36(10):1581-1584 (1961).
 93. 米田茂男, 川田登. 日土肥誌. 24(6):325-328 (1954).
 94. 米田茂男, 川田登. 日土肥誌. 25(1):36-40 (1954).
 95. 米田茂男, 川田登. 日土肥誌. 26(5):168-170 (1955).
 96. 柳順昊. 砂落畚土壤에 관한 研究. 土壤中の鐵과 망간을 中心으로. 碩士學位論文. 서울大學校大學院 農化學科 (1963).
 97. Yoshida, S., D.A. Forno, J.H. Cock, and K.A. Gomez. Laboratory manual for physiological studies of rice. The international rice research institute, Los Banos, Laguna, Philippines. 13-18(1972).
 98. 吉田昌一. 農業技術. 25(4):163-166(1970).

Appendix 1. Dynamic changes and physico-chemical properties of various soils during waterlogging and drying.

No. of days	Waterlogging period							Drying period					
	1	3	5	7	10	15	25	39	42	46	49		
								(44)	(19)	(0.2)	(—)		
() : water content													
pH													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	4.58	4.68	4.77	4.75	4.55	4.95	4.00	5.43	4.38	4.42	4.43
	with	lime	7.05	6.30	6.85	6.58	6.15	6.35	6.60	6.57	6.02	6.02	5.89
subsoil	without	lime	3.93	3.73	3.78	3.65	3.55	3.48	3.60	3.63	3.58	3.60	3.58
	with	lime	7.13	6.40	6.50	6.68	6.20	6.20	6.28	5.72	4.93	5.15	5.18
Normal													
topsoil	without	lime	5.15	5.18	5.34	5.33	5.55	5.15	5.28	5.80	5.10	5.08	5.13
	with	lime	8.05	6.84	6.95	6.90	6.80	6.65	7.00	6.62	6.27	6.53	6.33
Eh (mv)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	311	296	226	301	344	261	304	163	299	311	319
	with	lime	296	196	141	162	216	161	206	153	281	291	309
subsoil	without	lime	349	371	269	361	421	371	406	209	356	359	362
	with	lime	261	246	224	260	271	236	256	151	299	304	323
Normal													
topsoil	without	lime	304	286	211	271	256	221	251	174	309	309	317
	with	lime	251	216	166	154	229	151	231	174	306	306	313
Water soluble Fe⁺ (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	11	41	66	111	135	216	189	123	—	0.7	—
	with	lime	3	23	54	50	125	108	61	6	2.1	0.6	0.4
subsoil	without	lime	2	16	46	58	68	123	121	124	—	0.5	—
	with	lime	2	2	14	31	31	103	169	154	—	0.3	—
Normal													
topsoil	without	lime	2	3	5	15	21	32	15	2	—	0.1	1.4
	with	lime	2	2	3	7	5	11	8	6	2.2	1.2	2.1
Morgan's reagent soluble Fe⁺ (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	17	86	259	390	820	1,050	845	1,017	10	21	11
	with	lime	44	261	252	386	820	1,035	835	1,028	49	34	15
subsoil	without	lime	3	3	6	47	47	163	149	126	5	10	4
	with	lime	3	14	83	272	433	638	830	1,000	8	13	5
Normal													
topsoil	without	lime	3	6	80	390	693	1,013	833	344	13	13	6
	with	lime	3	75	250	390	715	1,069	838	381	16	10	4

No. of days	Waterlogging period								Drying period				
	1	3	5	7	10	15	25	39	42	46	49		
									(44)	(19)	(0.2)	(—)	
													() : water content
Water soluble													
Al (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	0.8	0.5	0.7	0.2	0.6	1.3	1.2	1.2	1.0	1.0	0.9
	with	lime	0.3	0.3	0.3	0.2	0.7	1.2	0.8	1.6	0.6	0.1	0.1
subsoil	without	lime	15.9	16.7	12.5	12.8	13.1	19.5	11.5	11.0	15.3	14.0	13.1
	with	lime	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.7	0.8	0.6	0.4	0.1	0.1
Normal													
topsoil	without	lime	1.0	0.9	0.4	1.7	2.6	2.2	2.2	1.8	0.9	0.5	0.7
	with	lime	0.6	0.4	0.3	0.4	1.5	0.9	2.1	2.8	1.5	1.0	1.0
Morgan's reagent soluble													
Al (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	88	61	51	56	44	29	40	40	22	51	50
	with	lime	68	43	47	40	38	27	35	34	11	38	35
subsoil	without	lime	210	103	101	214	205	142	181	115	125	133	127
	with	lime	127	66	55	75	50	34	37	36	5	36	41
Normal													
topsoil	without	lime	65	41	37	38	23	22	19	36	6	34	40
	with	lime	55	30	28	34	22	22	13	37	2	21	31
Water soluble													
SO ₄ ²⁻ (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	475	714	856	800	783	972	906	731	426	491	463
	with	lime	967	1,108	1,099	1,125	1,040	866	772	449	505	648	708
subsoil	without	lime	859	1,068	1,012	917	859	889	917	945	630	616	574
	with	lime	1,442	1,477	1,656	1,625	1,395	1,528	964	1,722	1,107	1,191	954
Normal													
topsoil	without	lime	67	55	53	79	167	91	116	28	42	61	65
	with	lime	92	83	65	121	116	24	80	148	61	83	139
Morgan's reagent soluble													
SO ₄ ²⁻ (ppm)													
Acid sulphate													
topsoil	without	lime	600	867	775	711	732	803	782	708	694	840	757
	with	lime	556	750	883	756	750	677	607	97	465	597	625
subsoil	without	lime	1,178	1,694	1,583	1,245	1,286	1,375	1,250	1,243	944	1,188	1,118
	with	lime	1,067	1,292	1,333	1,300	1,232	1,479	1,777	2,299	1,611	1,924	1,819
Normal													
topsoil	without	lime	22	83	83	44	18	21	71	21	76	97	21
	with	lime	44	83	92	67	18	21	71	21	56	105	21

Appendix 2. pH, calcium and sulphate in the soil solution at different amounts of calcium.

Calcium (m.e/l)	Acid sulphate topsoil			Acid sulphate subsoil		
	pH	Ca	SO ₄	pH	Ca	SO ₄
		(m.e/l)			(m.e/l)	
0	7.1	1.10	8.34	4.8	1.27	5.35
0.805	7.3	1.16	8.22	—	—	—
2.415	7.4	1.47	7.54	—	—	—
4.025	7.5	1.71	6.98	5.2	2.37	5.75
8.050	7.5	2.45	6.65	5.7	3.27	5.99
12.057	7.5	3.19	6.06	6.5	4.02	5.38
16.100	7.5	3.80	5.76	6.8	4.84	4.75
20.125	7.5	4.35	5.54	7.0	5.39	4.08
24.150	—	—	—	7.1	6.60	4.02
28.175	—	—	—	7.2	7.22	4.02

Appendix 3. Contents of various phosphorus fraction in different soils after 7 day incubation at 30±2°C.

Soil	Without lime (P. ppm)						With lime (P. ppm)							
	W-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occ. Fe-P	Occ. Al-P	Total Inorg.P	W-P	Al-P	Fe-P	Ca-P	Occ. Fe-P	Occ. Al-P	Total Inorg.-P
Acid sulphate														
topsoil	1.7	25.8	252.2	65.7	88.0	18.6	452.0	2.8	50.7	161.6	103.8	106.0	19.2	444.1
subsoil	6.4	22.8	211.8	37.2	52.0	9.0	339.2	10.8	64.2	71.7	120.6	83.0	11.7	362.0
Normal														
topsoil	1.1	73.8	206.4	55.8	71.0	16.2	243.3	4.8	96.6	152.3	87.6	88.0	19.8	449.1

Appendix 4. Chemical properties of the soil solution after 7 day incubation at 30±2°C.

Soil	Without lime				With lime			
	pH	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)	pH	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Al (ppm)
Acid sulphate								
topsoil	4.60	728.7	44.0	13.6	7.04	3,476.6	27.0	4.3
subsoil	3.60	274.1	5.7	468.4	7.61	5,035.8	13.9	3.6
Normal								
topsoil	5.83	788.6	55.2	93.3	7.46	2,471.7	41.3	7.9

Appendix 5. Amount of nutrients uptake in rice seedlings at different amount of lime and phosphorus application (mg/pot).

Treatment	Without lime					With lime				
	P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂
P ₂ O ₅ O(%)	8.4	7.5	0.82	0.62	129.2	10.8	15.0	0.71	0.68	214.4
2.5	28.8	10.0	0.73	0.48	114.5	28.4	18.1	0.81	0.94	237.9
5.0	36.0	9.9	0.69	0.55	138.4	32.3	19.1	0.69	0.48	214.8
10.0	46.4	11.2	0.65	0.55	175.4	40.3	19.7	0.73	0.58	240.1
Mean	29.9	9.7	0.72	0.55	139.4	28.0	18.0	0.74	0.56	226.8

Appendix 6. Contents of chemical components of the soil extracted with Morgan's reagent after harvest(ppm).

Treatment			pH	P ₂ O ₅	Ca	Fe	Al	SiO ₂
Without lime	P ₂ O ₅	0 (%)	3.78	3.34	3.75	214	285	46
		2.5	3.80	3.38	3.71	203	387	42
		5.0	3.82	7.16	4.36	185	271	52
		10.0	3.77	13.29	5.74	161	243	54
		Mean	3.79	7.10	4.39	191	274	49
With lime	P ₂ O ₅	0	5.36	4.58	25.35	77	114	80
		2.5	5.35	6.87	25.44	89	102	75
		5.0	5.60	7.19	25.21	60	100	67
		10.0	5.53	14.51	25.90	66	86	69
		Mean	5.46	8.04	25.48	73	101	73

Appendix 7. Amount of nutrients uptake in rice seedlings as affected by different lime, iron and aluminium(mg/pot).

Treatment						Treatment									
		P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂			P ₂ O ₅	CaO	Fe	Al	SiO ₂		
		(ppm)				(ppm)						(ppm)			
Without lime	Fe	0	31.2	8.6	0.72	0.36	148.1	Without lime	Al	0	31.2	8.6	0.72	0.36	148.0
		100	24.3	8.5	1.04	0.36	130.9			50	28.8	9.0	0.86	0.50	132.8
		200	21.8	8.2	1.19	0.36	129.7			100	23.4	8.2	0.76	0.72	126.7
		400	20.6	8.3	1.11	0.38	139.0			200	20.8	8.9	0.92	0.95	115.5
		Mean	24.5	8.4	1.02	0.37	136.9			Mean	26.1	8.7	0.82	0.63	130.3
With lime	Fe	0	30.7	19.9	0.90	0.54	205.6	With lime	Al	0	30.7	19.9	0.90	0.54	202.2
		100	27.6	17.9	0.88	0.38	298.7			50	27.2	20.7	1.07	0.41	223.6
		200	23.8	16.5	1.07	0.32	234.0			100	24.0	21.2	0.83	0.47	224.1
		400	21.4	16.6	1.16	0.31	212.6			200	23.0	24.3	0.97	0.45	219.9
		Mean	25.9	17.7	1.00	0.39	237.7			Mean	26.2	21.5	0.94	0.46	217.5

Appendix 8. Contents of chemical components of the soil extracted with Morgan's reagent after harvest(ppm).

Treatment			pH	P ₂ O ₅	Ca	Fe	Al	SiO ₂
Without lime	Fe	0 (ppm)	3.67	5.14	1.93	146	231	28
		100	3.70	5.63	1.91	149	236	23
		200	3.66	6.36	1.84	155	222	24
		400	3.70	6.63	1.99	169	214	23
		Mean	3.69	6.01	1.92	155	226	25
With lime	Fe	0	5.31	3.71	19.92	36	52	45
		100	5.38	3.44	19.33	39	44	56
		200	5.15	3.73	19.68	68	53	44
		400	4.83	3.73	19.59	114	53	41
		Mean	5.16	3.67	19.60	70	51	46
Without lime	Al	0 (ppm)	3.67	5.14	1.93	146	231	28
		50	3.64	4.88	1.93	149	241	25
		100	3.56	5.11	1.82	153	250	22
		200	3.46	6.36	1.88	175	295	19
		Mean	3.58	5.40	1.89	156	254	23
With lime	Al	0	5.31	3.71	19.92	45	52	45
		50	5.21	3.50	19.58	52	53	43
		100	5.18	3.27	19.64	45	55	45
		200	5.03	4.40	19.50	94	66	42
		Mean	5.17	3.66	19.64	48	57	44