

^{32}P 同位元素에 의한 火山灰土壤內 改良牧草의 磷酸肥料 利用效率에 關한 研究

鄭昌朝, 金文哲, 宋成俊

The Determination of Fused-P and Rock-P uptake by two
Pasture Species in Volcanic Ash Soils Using ^{32}P Tracer.

Chang-Cho Choung, Mun-Chul Kim, and Sung-Jun Song

Summary

The growth responses of *Dactylis glomerata* and *Trifolium repens* to Fused-P and Rock-P were compared on the brown and black volcanic grassland soil in the outdoor pot experiment (Experiment 1). The E-value (Exchangeable value) of two soil types and L-value (Labile phosphorus value) measurements, using ^{32}P tracer for P-uptake by two pasture species, were determined (Experiment 2).

1. Dry matter yield of orchardgrass and ladino clover on brown and black soil was increased according to level of fertilizer applied. There was marked increase in dry matter yield at the application rate of 200kg P_2O_5 per hectare. Influence of fertilizer on dry matter yield showed that Fused-P was more effective in all treatments with the exception of black soil with Rock-P.
2. The phosphorus content in the plant increased significantly according to the level of fertilizer applied on black soil. A similar tendency was observed in clover when sown singly or mixed on brown soil. Clover contained more Na than orchardgrass and the K content in the plant was higher in plant grown in brown soil than in black soil. No significant changes in content of Ca and Mg in the plant occurred even different levels of fertilizer were used.
3. Exchangeable value (E-value) at 192 hours after ^{32}P treatment was descending order, black soil: 5552mg/l, non-volcanic soil; 1125mg/l and brown soil; 801mg/l. Rapid P-binding kinetic in the soil solution was detected in the black soil (100% absorptive P within 4 days) and slow P-binding was observed in brown and non-volcanic soil with 70% and 80% absorptive P within 8 days of treatment respectively. L-value of pasture species was greater in orchardgrass than in clover on all soil types. It appears that Fused-P was more effective in the improvement of L-value of grass and Rock-P was more effective in the improvement of L-value of grass and Rock-P was influenced more by the L-value of clover.

序 論

海拔 200~600m에 位置하고 있는 漢拏山 中山間

地帶 自然草地는 濟州道 畜産開發을 爲해 利用될 수 있는 重要한 潛在資源이 되고 있다. 濟州道の 年平均氣溫은 15~16℃로 陸地部에 比해 4~5℃ 높고 降雨量도 年 1200~1600mm로 牧草 生育에 適合한 氣

*이 논문은 1983년도 산학협동기금에 의해서 연구되었음.

候條件을 지니고 있다. 草地地帶의 傾斜度는 極히 平坦하여 15° 未滿의 草地가 大部分으로 草地造成과 利用에 適合하다.

中山間 自然草地의 生産性 增大를 위하여 1960年代부터 草地造成事業이 推進되어 1983年度末 現在 18,000ha의 自然草地를 集約草地로서 造成시켰으며 2,000年代에 이르러 60,000ha의 自然草地를 集約草地로 造成시킬 計劃下에 있다. 草地造成事業의 擴大에 따라 이에 所要되는 年間 肥料量은 新規造成草地 1ha(1000ha)에만 窒素質肥料 300%, 加里質 肥料 200%, 磷酸質肥料 300%에 達하고 있으며 火山灰土壤의 物理, 化學의 特性을 지닌 草地土壤의 磷酸肥料의 投下量은 他地域에 比해 월등히 높아지고 있다.

草地地帶의 大部分은 火山灰土壤으로 pH 5.5, 鹽基置換容量 20.7me/100g로 有效態磷酸은 19ppm에 不過하여 (農技研, 1971) 牧草生育에 不利한 條件을 지니고 있다. 이에 따라 磷酸質肥料의 施肥效果는 低下되고 있으며 磷酸成分이 土壤中の Al, Fe 등의 이온과 結着되어 磷酸의 植物利用率을 低下시켜 (愼等, 1975) 牧草의 低位生産性의 原因을 가져오고 있다.

本 研究은 物理, 化學의 特性을 달리하고 있는 草地地帶의 黑色, 濃暗褐色 火山灰土壤에서 磷酸質肥料(熔成磷酸과 磷酸鑛石)의 施肥水準에 따른 牧草의 生産性을 比較하고 土壤內 有效態 磷酸의 變化 및 牧草別에 따른 磷酸吸收作用을 調査하여 草地造成과 施肥量 決定에 基礎資料를 마련코저 實施하였다.

研究史

1. 草地土壤 條件

濟州道 中山間 草地地帶의 土壤의 大部分은 火山灰土壤으로 形成되었으므로 粘土鑛物이 Allophane으로 $Al(OH)_3$ 와 $Si(OH)_4$ 의 結合物로 알려져 있다. 珪礬比는 0.3~2.0, 鹽基置換用量은 20~200me/100g로 넓은 幅을 가지고 있다. Allophane은 靜電吸着에서 NH_4^+ 보다 Cl^- 를 더 많이 吸着시키며 pH에 따라

吸着變化가 커 中性에서 NH_4^+ 의 呼吸이 높아지고 있음을 山根(1960)은 報告한 바 있다. 또한 物理的인 吸着은 陽 ion이 모두 많아 이와같은 特性으로 因하여 NH_4^+ 를 洗脫시키고 磷酸을 固定시키는 原因을 가져오는 것이 指摘되고 있다. 아울러 火山灰土의 珪礬土의 活性도가 커 陰 ion 特히 磷酸의 固定力이 強하여 磷酸의 缺乏이 초래된다는 것이 알려져 있다.

火山灰土壤의 表層은 多量의 腐植含量과 鹽基置換容量이 높으나 置換基가 부식 또는 Allophane에 의하여 鹽基吸着力은 弱한 反面 排水가 良好하여 Ca, Mg, K 등의 鹽基와 Si의 溶脫이 이루어지며 그중에 NH_4 와 K의 溶脫이 심히 일어남이 報告되었다. (豊田 등 1970, 原田 1965, 小原 1966)

2. 磷酸施用

草地造成에 있어 磷酸은 土壤改良劑와 牧草의 生育에 必要한 肥料成分으로 쓰여져 왔다(金, 1978). 磷酸施用量의 增加에 따라 土壤의 pH에는 큰 영향을 주지 않으나 施用量의 增加에 따라 作物의 磷酸回收率은 떨어지는 反面 CaO의 施用에 依하여 回收率을 增加시킨다는 報告도 있다 (鄭, 1976). 草地의 磷酸施用은 根瘤菌의 形成增進과 뿌리와 줄기의 粗蛋白質 含量을 增加(Osman, 1977)시키며 發芽와 定着에 좋은 영향을 준다는 것이 報告되어 있다 (金, 1978). 愼等(1964)은 磷酸의 施用은 作物의 增收를 가져오지만 殘餘磷酸은 土壤에 固定되어 不溶化된다는 것을 提示하였으며 渡邊(1956)은 火山灰土壤에 磷酸을 施用할 때에는 土壤과 磷酸의 接觸을 적게 하고 作物의 容易하게 吸收할 수 있는 施肥位置와 時期가 重要함을 報告한 바 있다.

3. 磷酸과 草地와의 關係

磷酸의 施用 效果는 草種에 따라 달라지며 低水準의 磷酸施用에서도 white clover는 Italian ryegrass보다 뿌리의 發育이 양호하였고(Brock 등, 1974), 磷酸의 施用은 clover의 活力과 殘存效果를

높일 수 있음이 Cullen(1966)과 金 및 姜(1971)에 의해 報告되었다. 또한 Reid등(1970)은 여러가지 北方型 禾本科 草種中 orchardgrass가 磷酸含量이 가장 높았으나 alfalfa의 磷酸含量보다는 낮았다는 研究結果도 있다.

아울러 Blaser(1950), Barrow(1975)등이 報告한 orchardgrass가 척박한 土壤에서 磷酸吸收率이 荳科 牧草보다 우수하다고 하였으며 이런 結果는 禾本科 牧草의 根系가 荳科 牧草에 비해 發達이 잘되고 있다는 Jackman(1972)의 報告가 뒷받침하고 있다.

4. 磷酸質肥料의 種類와 作物의 生育

磷酸質 肥料의 效果에 關하여 李등(1975)은 濟州 火山灰土壤에서의 牧草栽培를 위해 過磷酸石灰와 重過磷酸石灰 보다는 熔成磷肥가 苦土의 含量이 높아 優秀한 비료라고 한 바 있으며 Fried(1953)은 磷鑛石의 效果에 關하여 buck wheat에 잘 利用되며 禾本科인 ryegrass, millet, 燕麥보다는 荳科인 alfalfa, crotalaria, ladino clover에서 肥效를 認定하였고 Vanray등(1979)도 磷鑛石이 草種에 따라 다른 效果가 있음을 報告하였다. Ensminger(1967)는 磷鑛石肥料가 牧草의 耐酸性 測定의 指針이 될 만큼 瘠薄土壤에 강한 作物에 效果가 있다고 하였으며 Werner(1968)는 磷鑛石의 溶解는 長期間 계속되어 牧草의 生産性이 1年次 보다 3年次에서 重過石 效果와 同等해 짐을 報告하였다.

材料 및 方法

本 試驗은 火山灰土壤에서 熔成磷肥와 磷鑛石의 施用에 의한 牧草 生産性을 調査하기 위하여 野外 pot試驗(試驗1)과 ^{32}P 同位元素 追跡子를 利用한 土壤의 E-value, L-value 試驗(試驗2)을 分離 遂行하였다. 試驗1은 1983年 3月부터 11月까지 9個月間을, 試驗2는 1983年 9月부터 12月까지 3個月間 濟州大學校 放射能利用研究所에서 施行하였다.

試驗1. 濟州火山灰土壤 種類別 牧草의 磷酸肥料 利用效率에 關한 研究(野外試驗).

가. 供試土壤

2개 火山灰土壤이 供試되었다. 黑色火山灰土壤은 北濟州郡 朝天面 산골부리 近處의 肥料施用이 없었던 鹿山統 土壤이고 濃暗褐色火山灰土壤은 濟州市 我羅洞 濟大附屬牧場內 濟州統 土壤을 채취 利用하였다. 供試土壤은 陰乾시켜 粉砕後 2mm mesh 체로 쳐서 土壤種類에 따라 plastic pot(직경 28cm)에 4.4kg씩을 充塡시켰다.

나. 種子播種

Orchardgrass(*Dactylis glomerata* L.)와 ladino clover(*Trifolium repens* L.) 草種을 利用하였으며 pot面積으로 換算, 單播와 混播 共히 ha當 30kg을 撒播하였다. 混播의 境遇는 orchardgrass ha當 25kg, ladino clover 5kg을 混合 播種하였다.

다. 施肥 및 收穫

窒素와 加里는 ha當 150kg, 100kg을 播種後 3, 收穫後 3를 均等히 分施하였으며 磷酸의 施用量은 試驗處理 水準에 따라 播種時 全量을 施用하였다.

牧草播種은 4月 20日이었으며 7月 19日, 9月 5日 및 10月 20日 3회에 걸쳐 各各 刈取하였고 刈取높이는 地上 7cm以上 되도록 하였다.

라. 實驗設計

(1) 黑色土壤

1) 主區: 3草種

Orchardgrass(*Dactylis glomerata*) 單播

Ladino clover(*Trifolium repens*) 單播

Orchardgrass와 ladino clover 混播

2) 細區: 2肥料種類

磷酸石(Rock phosphate, P_2O_5 10.25%)

熔成磷肥(Fused phosphate, P_2O_5 22.96%)

3) 細細區: 3磷酸肥料水準

0, 200, 400kg P_2O_5 /ha

(2) 濃暗褐色土壤
黑色土壤 處理와 同一함

마. 調査項目

(1) 乾物收量

收穫된 試料은 80~90°C oven에서 48時間 乾燥시켜 秤量 調査하였다.

(2) 植物體分析

試料은 ammonium molybdate法에 의하여 uv/visible spectrophotometer로 470nm領域에서 植物體의 磷酸含量을 分析하고 磷酸分析을 爲해 分解시킨 용액을 使用하여 Ca, Na, Mg 및 K를 Atomic Absorption Spectrophotometer (Perkin elmer 2380Md)로 分析하였다.

試驗2. ^{32}P 同位元素 追跡子를 利用한 火山灰 土壤內 置換態磷酸(Exchangeable value, E-value), 可變磷酸(Labile value, L-value) 및 磷酸의 動態測定試驗.

가. 供試土壤

試驗1에서 利用하였던 濃暗褐色 및 黑色 火山灰土壤을 供試하였으며 對照區로 非火山灰土壤(東貴統)을 使用하였다.

나. 試驗區의 配置

3個土壤을 主區로 하고 肥料의 種類(熔成磷肥 : 400kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, 磷鑛石 ; 400kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, 對照區)를 細區로 carrier水準(high, low)을 細細區로 配置하였다. Carrier는 肥料水準에 準하여 KH_2PO_4 를 0.5m mole, 高水準은 5m mole로 調製 添加하였다.

다. 試驗方法

(1) E-value, 磷酸動態測定

供試土壤 各 5g을 200ml 三角 flask에 採取 試驗處理에 따라 肥料와 carrier를 混合하고 ^{32}P $\mu\text{Ci}/\text{ml}$

1ml을 400ml(圃場用水量)의 증류수와 함께 混合土壤에 處理, 3日間 ^{32}P 의 土壤內 平衡을 期하였다.

牧草의 播種은 同位元素處理 4日째에 orchardgrass 및 ladino clover를 混播하였으며 肥料의 種類 및 施肥量은 시험처리에 準하였다. 牧草의 栽培는 5週間은 室外에서 5週後부터는 氣溫의 下降으로 growth chamber에서 20°C 溫度에 2주간 栽培하였다.

6週間 栽培하였던 牧草는 全量을 刈取 80°C oven에서 乾燥시켜 秤量하고 試料을 20ml 酸混合物($\text{NH}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4 = 5 : 1 : 2$)로 濕式灰化하여 蒸留水로 稀釋, 15ml을 取하여 ^{32}P 및 磷酸含量을 測定하였다.

(3) 水耕液 pH에 따른 牧草의 ^{32}P 吸收率(水耕栽培)

水耕液(비양액肥 50倍稀釋, P_2O_5 400kg/ha水準)의 pH變化에 따른 牧草의 ^{32}P 吸收率을 測定키 爲해 供試草種(orchardgrass, ladino clover)을 4週間 水耕栽培後 pH4, 5, 6, 7, 8, 9, 10으로 調整된 水耕液에 移植, 90分間 ^{32}P 를 吸收시켜 牧草의 地上部와 뿌리를 分離시켜 乾燥後 各部位의 ^{32}P 吸收率을 測定하였다.

(4) 放射能 計測 및 E, L-value計算

各 試驗에서 얻어진 土壤上澄液, 牧草試料의 計測은 Cerenkov法에 依해 liquid scintillation counter (BF-810, Berthold)를 使用, E-value는 2分間, L-value는 4分間, 水耕牧草는 10分間 測定하였다.

E-value 및 L-value의 計算은 McAuliff등(1948)의 公式에 依해 求하였다.

$$E \text{ or } L = b \left(\frac{\text{Sa}^*}{\text{Se}^*} - 1 \right)$$

b = 土壤內 添加된 磷酸의 量 (=g/g)

Sa* = 실험된 土壤에 첨가된 比放射能(Specific activity) $\mu\text{Ci}/\text{g}$

Se* = 실험후 溶液 또는 植物體에 吸收된 比放射能(Specific activity) $\mu\text{Ci}/\text{g}$

結果 및 考察

〈實驗1〉

1. 乾物收量

中山間地帶 草地의 代表的인 두가지 土壤에 대한 牧草의 磷酸肥料 利用效率를 究明하기 위해 現在 施行되고 있는 熔成磷酸肥와 磷酸肥料 原料인 磷鑛石을 利用하여 比較試驗했던 結果는 表1 및 그림1에 提示 되었다.

牧草의 平均乾物收量은 黑色土壤(6.5g/pot)보다 는 濃暗褐色土壤(9.65g/pot)이 높았으며 orchardgrass 나 混播牧草는 두가지 土壤間에 비슷한 收量을 보인 反面 ladino clover의 收量은 黑色土壤(2.62g/pot)에 比해 3倍 以上の 增收를 가져왔다.

土壤에 따른 牧草의 乾物收量의 變化는 黑色土壤 (松堂)의 分析에서(農技研, 1971) 有效態 磷酸이 11ppm에 比해 濃暗褐色土壤은 37ppm으로서 土壤에 따른 有效態磷酸이 牧草의 收量에 影響을 준 것으로 思料되며 一般飼料作物 栽培 試驗에서 李等(1981)이 提示한 濃暗褐色土壤에서 수수交雜種이 優秀한 反面 黑色土壤에서는 苜, 옥수수 등이 높은 收量을 보이고 있다는 結果와 聯關을 보이고 있었다. 아울러 禾本 科 牧草의 收量이 黑色 및 濃暗褐色土壤間에 差를 나타내지 않은 것은 Barrow(1975), Blaser 등(1950)이 報告한 orchardgrass가 척박한 土壤에서 磷酸吸收率 이 荳科牧草에 比해 優秀하다는 結果와 禾本科 牧草의 根系가 荳科牧草에 比해 發達이 잘 되고 있다는 Jackman(1972)의 報告가 뒷받침되고 있다.

肥料種類와 草種間에 相互關係를 比較할 때 orchardgrass가 肥料種類에 의해 收量 差異가 나타나지 않았던 反面 ladino clover는 黑色土壤에서나 濃暗褐色土壤에서 熔成磷酸肥 效果가 磷鑛石에 比해 2倍以上 좋았으며 混播牧草는 두가지 土壤 모두 熔成 磷酸肥가 높은 收量을 나타내고 있다.

李等(1975)은 濟州火山灰土壤에서 熔成磷酸施用 을 勸奨한 바 있으며 磷鑛石과 比較한 本 設驗에서

도 그 優秀性이 認定되었다. 磷鑛石施用이 耐酸性物 物에 適合하다는 Ensminger(1967)의 報告와 같이 本 實驗에서도 orchardgrass의 收量은 磷鑛石施用區 와 熔成磷酸肥施用區間에 有意的 收量差異를 보이지 않은 反面, ladino clover는 黑色土壤의 磷鑛石 施用 區에서 顯著한 收量의 低下가 있었다. 따라서 瘠薄 土壤에서는 磷鑛石의 施用이 磷酸供給 效果가 있는 것으로 推定된다.

또한 植物의 磷鑛石利用은 他 磷酸質肥料에 比해 느리다는 Werner(1968)의 報告를 토대로 할 때 磷鑛石施用效果는 3~4年後 作物의 增收를 期待할 수 있을 것으로 推定되며 多年生 牧草의 경우는 長期的인 調査가 遂行되어야 할 것으로 思料된다.

供試土壤內에서 乾物收量과 두가지 肥料의 施肥水 準에 대한 回歸曲線은 그림1과 같았으며 黑色土壤에 서는 肥料의 種類가 orchardgrass의 收量에 影響을 주지 않았으나 clover와 混播에 있어서 熔成磷酸가 磷鑛石에 比해 優秀하였다 (熔成磷酸: $\hat{Y}=0.30X^2 + 0.05X + 1.02$, 磷鑛石: $\hat{Y}=0.36X + 0.07$). 한편 濃暗 褐色土壤에서는 熔成磷酸의 施用水準이 各 草種에서 顯著한 收量增加를 나타내었으며 clover의 境遇 200 ~400kgP₂O₅/ha 水準에서 뚜렷한 差異를 보였다.

李等(1976)은 濟州火山灰土壤 野草地에서 磷酸과 加里의 施用效果를 얻지 못하였으나 秦等(1980)은 걸부림草地造成에서 2年次 부터는 磷酸增施에 따른 收量增加가 이루어졌다고 報告하였다. Long, F. C. (1973), Ozanne 등(1976)과 Zunino 등(1973)도 磷酸 增施에 따라 收量增加를 報告하였으며 Zunino (1973)는 600kgP₂O₅/ha 施用에서 鄭(1976)은 新開 墾地土壤에서 240kg/ha 施用으로 最高收量을 얻었 다고 하였다.

그러나 本 試驗에서는 磷酸의 施用水準이 20kgP₂O₅/ha까지는 各 土壤에서 收量增加가 認定되 었으나 400kgP₂O₅/ha 水準에서 현저한 差異가 나타 나지 않은 것은 磷酸의 土壤內 固定(愼 등, 1975) 또 는 土壤 pH 草種間의 磷酸吸收能力의 차이의 原因 인지에 對하여서는 明白한 解釋을 얻지 못하였다. 다만 沓解度가 느린 磷鑛石의 效果는 1年次보다 2~ 3年次에서 얻을 수 있다는 Werner(1968)의 報告와 같이 이의 究明을 위해서는 長期間의 調査가 必要한

Table 1. Dry matter yield of pasture species in two soil types depending on phosphate application level

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type						Mean	
		Black soil			Dark brown soil				
		P-0	P-200	P-400	Mean	P-0	P-200		P-400
Orchardgrass	Fused-P	0.12	10.23	12.89	7.75	0.91	12.72	14.30	9.31
	Rock-P	0.60	12.02	12.05	8.22	0.49	11.38	12.01	7.96
	Mean	0.36	11.13	12.47	—	0.70	12.05	13.16	—
Ladino clover	Fused-P	0	3.85	6.60	3.48	1.69	8.38	30.58	13.21
	Rock-P	0.04	2.11	3.11	1.75	1.31	8.17	13.06	7.51
	Mean	0.02	2.98	4.86	—	1.00	8.28	21.82	—
Mixture	Fused-P	0.14	16.60	17.61	11.46	0.75	15.48	17.51	11.25
	Rock-P	0.27	7.56	12.68	6.84	2.39	10.71	12.86	8.66
	Mean	0.21	12.08	15.15	—	1.57	13.10	15.19	—

* Difference: P application level in dark brown soil: $p < 0.01$
 Correlation between pasture species and P application level in dark brown soil: $p < 0.05$
 Pasture species in black soil: $p < 0.05$
 Phosphorus fertilizer in black soil: $p < 0.01$
 P application level in black soil: $p < 0.01$
 Correlation between pasture species and P application level in black soil: $p < 0.01$
 Correlation between P fertilizer and P application level in black soil: $p < 0.01$
 Correlation among pasture species, P fertilizer and P application level in black soil: $p < 0.05$

- 1) $\hat{Y} = -0.015x^2 + 2.15x + 0.71$ (Fused-P)
- 2) $\hat{Y} = -0.94x^2 + 4.1x + 0.36$ (Rock-P)
- 3) $\hat{Y} = -1.64x^2 + 4.98x + 1.49$ (Fused-P)
- 4) $\hat{Y} = -1.48x^2 + 4.92x + 0.23$ (Rock-P)
- 5) $\hat{Y} = 0.33x^2 + 0.05x + 1.02$ (Fused-P)
- 6) $\hat{Y} = 0.62x^2 + 0.36x + 0.07$ (Rock-P)
- 7) $\hat{Y} = 1.86x^2 + 0.58x + 0.42$ (Fused-P)
- 8) $\hat{Y} = -0.22x^2 + 2.2x + 0.65$ (Rock-P)
- 9) $\hat{Y} = -1.92x^2 + 6.79x + 0.14$ (Fused-P)
- 10) $\hat{Y} = -0.3x^2 + 2.53x + 0.16$ (Rock-P)
- 11) $\hat{Y} = -1.86x^2 + 6.54x + 0.57$ (Fused-P)
- 12) $\hat{Y} = -0.8x^2 + 3.21x + 1.10$ (Rock-P)

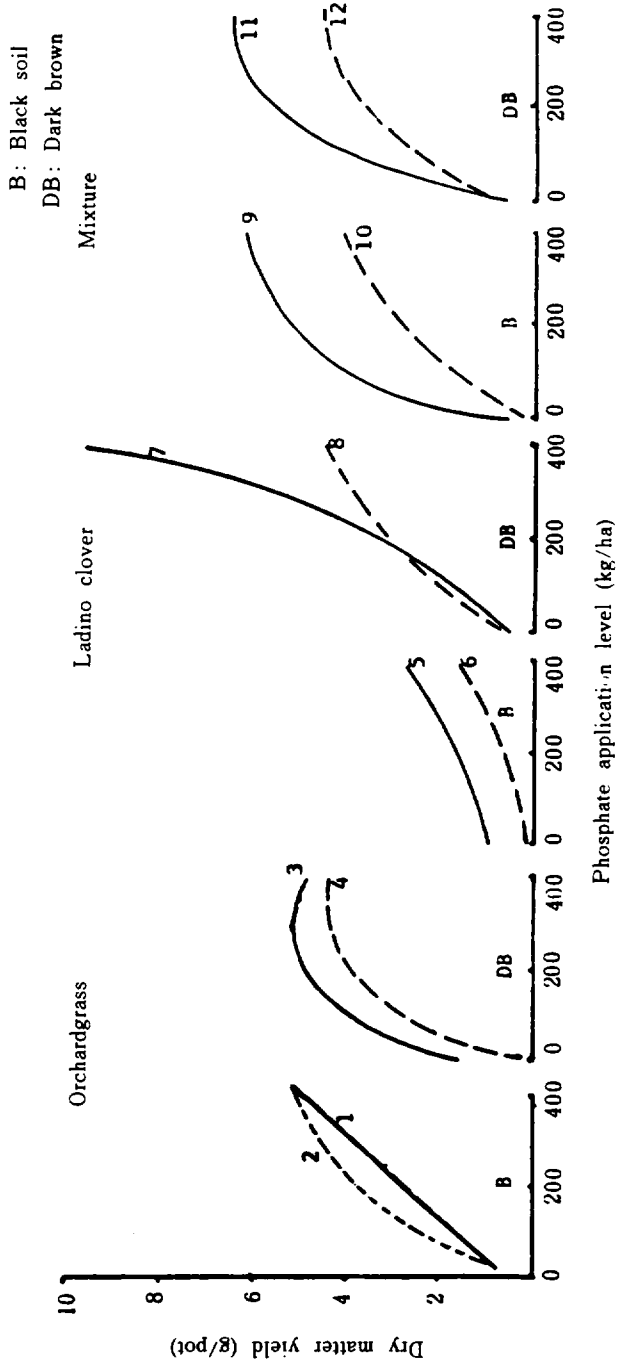


Fig 1. Correlation between dry matter yield and phosphate application

Table 2. Phosphate concentration in pasture species on two different soil types according to cutting times (ppm)

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type								
		Black soil			Dark brown soil					
		1st cut	2nd cut	3rd cut	Mean	1st cut	2nd cut	3rd cut	Mean	Mean
Single Orchardgrass	Fused-P	6706	1235	1886	3276	3540	932	1803	2092	
	Rock-P	7743	1042	1344	3376	3637	1004	1609	2150	
	Mean	7225	1138	1615	—	3688	968	1706	—	
Single Ladino clover	Fused-P	6103	2150	1968	3407	5425	1680	2494	3199	
	Rock-P	6094	1629	2121	3282	4754	1505	2136	2798	
	Mean	6099	1890	2045	—	5098	1592	2315	—	
Mixture Orchardgrass	Fused-P	5560	1354	1800	2905	3853	1144	2003	2333	
	Rock-P	4393	1116	1376	2295	3882	1174	1711	2256	
	Mean	4977	1235	1588	—	3867	1159	1857	—	
Mixture Ladino clover	Fused-P	5326	1384	2066	2925	4834	1619	2043	2832	
	Rock-P	4864	878	2026	2589	4047	1378	2147	2524	
	Mean	5095	1311	2046	—	4441	1498	2095	—	

것으로 생각된다.

2. 牧草의 磷酸含量

黑色土壤에서 牧草의 時期別 磷酸含量은 表2와 같았으며 收穫時期別 平均은 1回 5,095ppm, 2回 1,131ppm, 3回 2,046ppm으로서 2회의 磷酸含量이 가장 減少하였다. 磷酸含量은 單播草種과 混播間에 多少 差異가 있어 混播에서 그 含量이 낮았다.

肥料種類間에서는 磷鑛石 施用區의 磷酸含量은 熔成磷肥 보다 多少 적었지만 큰 差가 없었으나 同一草種間에서 肥料效果를 比較할 때 混播牧草에서 熔成磷肥 效果가 顯著히 높게 나타났다.

Orchardgrass와 alfalfa에 對한 磷鑛石과 過磷酸石灰의 比較 試驗(Lutz, 1979)에서도 역시 磷鑛石 施用으로 牧草의 磷酸含量이 低下되었음은 本 分析結果와 一致하였다.

黑色土壤이나 濃暗褐色土壤 모두에서 磷酸施用水準이 增加할수록 牧草의 磷酸含量이 높았으며 黑色土壤에서는 高度의 統計的 有意差가 認定($P < 0.01$)되었다. 이런 結果는 Jackman등(1972), Cassman등(1981), Duell(1960), Lamond등(1983) 및 鄭(1976)의 報告와도 一致하였다.

濃暗褐色土壤에서 磷酸施用水準間에는 統計的인 有意差를 얻지 못하였으나($P < 0.05$) 草種間에는 高度의 有意差($P < 0.01$)가 認定되어 orchardgrass보다 ladino clover의 磷酸含量이 많았다고 있었다. 이와 같은 傾向은 Caradus(1980) 및 Donald(1963)가 報告한 禾本科牧草가 荳科에 比해 磷酸결핍토양에서 強하다는 것과는 相反된 結果이지만 供試된 草種과 土壤의 差異에 依한 것으로 思料된다.

3. 無機物

가. 칼륨

牧草의 K함량은 黑色土壤(332ppm)보다 濃暗褐色土壤(439ppm)에서 높았고 黑色土壤에서 草種에 關係 없이 熔成磷肥보다 磷鑛石을 施用할 때 K함량이 增

加하였으며 磷酸施用量에 比例하여 K含量도 많아졌다. (表4참조)

濃暗褐色土壤에서 草種間에 K含量은 비슷하였으나 混播 clover에서는 他草種보다 多少 낮았으며 磷酸施用水準에 따른 K의 特別한 變化는 찾아볼 수 없었다. Lutz(1973)는 過磷酸 보다 磷鑛石 施用에서 K含量이 높았으나 草種間 인산시용수준별 차이가 없었던 것은 本 試驗 結果와 類似하였다.

나. 나트륨

濃暗褐色土壤에서 나트륨함량은 荳科인 clover가 禾本科 牧草보다 높았으며 orchardgrass混播區를 除外하고서는 모든 牧草가 磷鑛石 施用區에서 Na함량이 增加하였고 單播보다 混播時에 약간 增加하는 傾向을 나타내고 있었다. (表5참조)

黑色土壤에서는 濃暗褐色土壤에서와 같은 큰 차이를 보이지 않았으나 clover區가 多少 높은 Na含量을 보였다. 草種別로는 clover單播區를 除外하고 熔成磷肥 施用으로 Na含量이 植物體 中에 增加하였다.

다. 칼슘

植物體의 Ca含量(表6)은 單播보다 混播에서 높았으며 單播에서 orchardgrass나 clover 모두 磷鑛石보다 熔成磷肥 施用구에서 높게 나타났다.

黑色土壤의 境遇는 熔成磷肥에서 Ca含量이 높았고 草種間에는 뚜렷한 差異를 보이지 않았다. 이와 같은 現象은 熔成磷肥內 높은 苦土의 含量(李等, 1975)으로 磷酸施用水準 增加에 따라 牧草의 Ca含量이 높아진 것으로 思料된다.

라. 마그네슘

牧草內 마그네슘 含量은 表7과 같다.

牧草 單播의 境遇 P施用量이 增加할수록 植物體의 Mg含量이 增加하고 있었으며 禾本科 牧草보다 荳科牧草에서 다소 높은 傾向을 보였다. 이와같은 Mg含量의 變化는 P施用水準의 增加에 따라 增加 傾向을 나타낸다는 Reneau(1983)의 報告와 一致되고 있었다.

Table 3. Phosphate concentration of pasture species depending on phosphorus application level (ppm)

Soil type	Phosphorus Level (kg/ha)		Single		Mixture		Mean
	P-0	P-200	Orchardgrass	Ladino clover	Orchardgrass	Ladino clover	
Black soil	P-0		810	1526	852	1158	1087
	P-200		4453	4160	4311	3610	3908
	P-400		4715	4348	3537	3503	4026
	Mean		3326	3344	2600	2757	-
Dark brown soil	P-0		917	1711	1224	1686	1385
	P-200		2458	3695	2657	3173	2966
	P-400		2987	3590	3003	3175	3189
	Mean		2121	2999	2295	2678	-

*Difference: P application level in black soil: $p < 0.01$
 Pasture species in dark brown soil: $p < 0.01$

Table 4. Potassium concentration in pasture species on two different soil types depending upon phosphate application level (ppm)

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type						Mean	
		Black soil			Dark brown soil				
		P-0	P-200	P-400	Mean	P-0	P-200	P-400	Mean
Orchardgrass	Fused-P	336	183	222	247	404	493	463	453
	Rock-P	481	308	305	365	485	506	498	496
	Mean	409	246	264	-	445	500	480	-
Ladino clover	Fused-P	0	220	237	228	504	420	432	452
	Rock-P	0	371	298	335	574	318	365	419
	Mean	-	295	267	-	539	369	398	-
Mixture	Fused-P	628	373	368	557	462	465	512	480
	Rock-P	418	345	266	343	433	478	488	466
	Mean	523	359	317	-	448	471	500	-
Ladino clover	Fused-P	-	318	270	249	387	364	440	397
	Rock-P	-	323	340	332	404	318	328	350
	Mean	-	321	305	-	396	341	384	-

Table 5. Sodium concentration in pasture species on two different soil types depending upon phosphate application level (ppm)

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type									
		Black soil					Dark brown soil				
		P-0	P-200	P-400	Mean	P-0	P-200	P-400	Mean		
Orchardgrass	Fused-P	525	452	612	530	175	220	221	205		
	Rock-P	189	572	467	473	225	264	208	232		
	Mean	357	512	539	-	200	242	214	-		
Ladino clover	Fused-P	0	680	602	641	990	594	698	761		
	Rock-P	0	857	889	873	1140	625	729	831		
	Mean	-	769	745	-	1065	609	714	-		
Mixture	Fused-P	880	706	723	770	238	364	233	279		
	Rock-P	520	714	548	594	225	224	211	220		
	Mean	700	710	636	-	232	294	222	-		
Mixture	Fused-P	0	1416	639	1027	785	728	1063	859		
	Rock-P	0	498	1035	767	824	786	1143	918		
	Mean	-	957	837	-	805	757	1103	-		

Table 6. Calcium concentration in pasture species on two different soil types depending on phosphate application level (ppm)

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type									
		Black soil					Dark brown soil				
		P-0	P-200	P-400	Mean	P-0	P-200	P-400	Mean		
Orchardgrass	Fused-P	10071	2822	7142	6678	8860	2755	2664	4760		
	Rock-P	9118	3142	2193	4818	6737	3253	3572	4521		
	Mean	9595	2982	4668	-	7798	3004	3118	-		
Ladino clover	Fused-P	-	6348	5569	5959	5966	4622	3666	7183		
	Rock-P	-	6629	9719	8174	6466	3757	3558	13568		
	Mean	-	6489	7644	-	6216	4190	3612	-		
Mixture	Fused-P	27732	4011	2420	11388	3780	8046	9721	7183		
	Rock-P	10541	2961	2235	5246	25176	6838	8690	13568		
	Mean	19136	3486	2327	-	14478	7442	9206	-		
Mixture	Fused-P	-	12709	3619	8164	14937	9135	15066	13046		
	Rock-P	-	4753	6695	5724	20828	8848	13564	14413		
	Mean	-	8731	5157	-	17883	8991	14315	-		

Table 7. Magnesium concentration in pasture species on two different soil types depending on phosphate application level (ppm)

Species	Phosphorus fertilizer	Soil type							
		Black soil				Dark brown soil			
		P-0	P-200	P-400	Mean	P-0	P-200	P-400	Mean
Orchardgrass	Fused-P	1789	1473	1830	1087	2397	2289	2819	2501
	Rock-P	1419	1872	1856	1716	2487	1743	1922	2051
	Mean	1604	1672	1843	-	2442	2016	2375	-
Ladino clover	Fused-P	-	2380	3083	2732	2732	2843	2625	2537
	Rock-P	-	2240	2404	2322	6141	1743	2168	3351
	Mean	-	2310	2744	-	4141	2293	2397	-
Mixture	Fused-P	810	2534	2301	4313	2245	2225	2387	2285
	Rock-P	2556	1656	1517	1910	2192	1900	2132	2075
Orchardgrass	Mean	5329	2095	1909	-	2219	2062	2259	-
	Fused-P	-	2550	1551	2051	2472	2593	2656	2574
Ladino clover	Rock-P	-	3053	2558	2805	2299	1820	2140	2084
	Mean	-	2802	2054	-	2386	2207	2398	-

〈實驗2〉

1. 置換態 磷酸(Exchangeable value)

供試土壤에 ^{32}P 處理後 時間에 따른 置換態 磷酸의 含量을 土壤別, 肥料水準別 및 carrier水準別로 比較한 結果는 表8과 같다.

192時間까지의 E-value의 合計는 黑色土壤(5,552), 非火山灰土壤(1,125), 濃暗褐色土壤(801)의 順이였으며 土壤의 種類에 따라 顯著한 差異를 나타내었다. E-value는 carrier水準에 따라 달라지고 있었으며 모든 土壤에서 高水準이 低水準에 比하여 높아지고 있었다. 이와같은 carrier水準에 따른 E-value의 차이는 肥料의 種類에 따라서 달라지고 있어 高水準 carrier에서 熔成磷肥, 磷鑛石 및 對照區의 順에 따라 높아지는 反面 低水準 carrier에서는 磷鑛石, 對照區, 熔成磷肥의 順이였다. 土壤에 ^{32}P ,

肥料 및 carrier를 處理後 時間에 따른 E-value의 變化는 3時間에서 모든 處理區가 가장 낮았으며 120時間과 192時間에서 현저히 높아졌다. 時間에 따른 E-value의 增加는 黑色土壤이 他 供試土壤에 比해 越等히 높았으며 熔成磷肥 施用과 高 carrier水準이 E-value를 높인 것으로 여겨진다. 3時間때 E-value는 黑色土壤에서 가장 낮았으며 非火山灰土壤에서 높은 數值를 보이고 있어 土壤의 種類에 따른 磷酸의 結着力의 차이로 간주된다.

施用磷酸의 土壤內 動態를 ^{32}P 追跡子를 利用 調査한 結果(圖2)는 黑色土壤에서 磷酸의 吸着率은 4日에 10%로 肥料의 種類나 carrier水準에 關係없이 急速히 이루어졌으나 高水準의 경우 多少 늦어졌으며 熔成磷肥와 磷鑛石 肥料는 5~6日에 P의 約 90%가 吸着되었다. 다만 高carrier水準에서의 磷의 土壤內 結着은 이 두 土壤에서 모두 늦어 非火山灰土壤에서는 8日에 P의 70%가, 濃暗褐色土壤에서는 約80%가

Table 8. E-value in 3 different soil types with high and low carrier levels using 2 kinds of fertilizers at different time (ppm)

Soil	Fertilizer	Carrier level	E _{3 Hr}	E _{120 Hr}	E _{192 Hr}
Non-volcanic soil	Control	Low	6.4	41	65
		High	41.7	72	59
	Fused-P	Low	26	58	63
		High	74	114	128
	Rock-P	Low	16	64	80
		High	54	90	74
Dark brown soil	Control	Low	6.5	117	N.D
		High	26	58	41
	Fused-P	Low	14	40	16
		High	N,D	111	121
	Rock-P	Low	3.7	52	46
		High	82	38	30
Black soil	Control	Low	19	403	231
		High	N,D	265	582
	Fused-P	Low	25	N,D	N,D
		High	39	633	867
	Rock-P	Low	23	439	414
		High	10	607	697

N. D: Not detectable

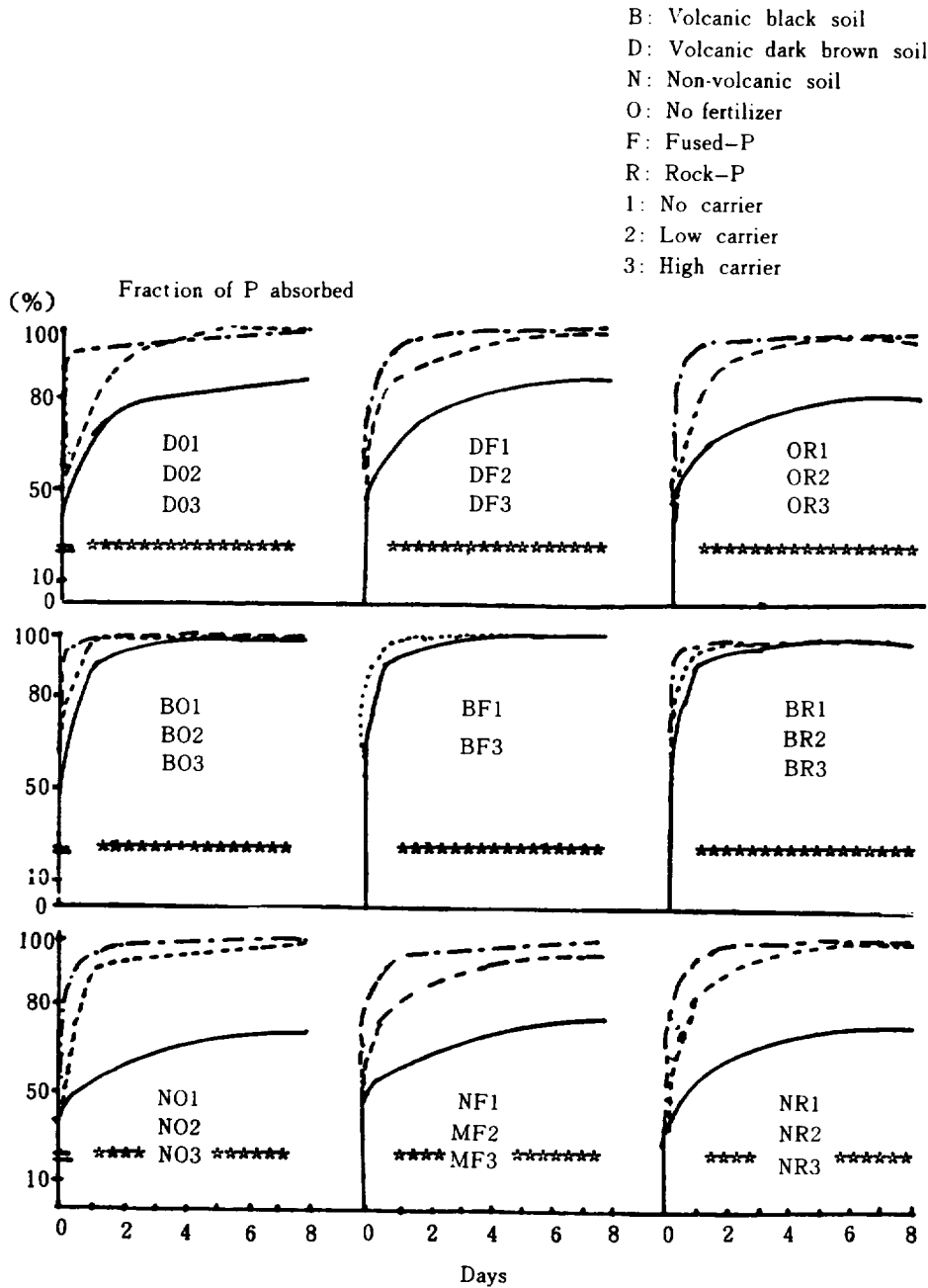


Fig 2. P-binding kinetics in three different soil types with low and high carrier level using two kinds of fertilizers.

吸着되었다.

³²P 同位元素의 牧草吸收試驗結果는 表9와 같다.

水耕에 依한 orchardgrass와 ladino clover의 ³²P吸收는 草種, 植物體의 部位에 따라 달라지고 있었으며 水耕液의 酸도에 의하여 制限을 받았다. 禾本科 및 荳科牧草는 供히 줄기보다 뿌리의 ³²P含量이 높았으며 이와같은 傾向은 orchardgrass보다 clover에서 현저하였다. ³²P의 吸收는 水耕液의 pH 5~6에서 最高에 達하고 있었으나 orchardgrass는 pH 6에서, clover는 pH5를 基點으로 吸收力이 떨어져졌다. ³²P吸收力의 減少는 줄기에서 보다 뿌리에서 比較的 完滿히 이루어졌다.

2. 可變態磷酸(labile phosphorus, L-value)

牧草의 pot栽培結果 얻어진 L-value는 表10, 11, 12와 같다.

土壤別 草種에 따른 L-value는 低carrier水準으로서 orchardgrass의 경우 濃暗褐色土壤이 높은 反面 그밖의 土壤에서는 낮았으나 clover는 黑色土壤에서 顯

著히 增加되었다. 草種間에는 모든 土壤에서 clover의 L-value가 높았으며 orchardgrass는 clover와 같은 뚜렷한 차이를 나타내지 않고 있었다. 高carrier水準에서 clover의 生育은 停止되었으나 orchardgrass가 濃暗褐色土壤에서 높은 L-value를 나타낸 反面 clover는 黑色土壤에서 低carrier水準보다 낮은 數値를 나타내었다.

熔成磷肥 施用에 대한 各 土壤內에서의 L-value (表12참조)는 orchardgrass에서 非火山灰土壤, 濃暗褐色土壤, 黑色土壤의 順으로 높았으나 clover에 있어서는 黑色土壤, 濃暗褐色土壤의 順으로 L-value는 달라졌었다. 熔成磷肥는 低carrier水準과 高水準에서 orchardgrass보다는 clover의 L-value를 높여 주었다. 그러나 L-value의 施用(表11참조)은 濃褐色土壤과 非火山灰土壤에서 熔成磷肥보다 clover의 L-value를 높일 수 있었다. 以上の 두가지 肥料의 施用效果를 牧草의 L-value로 比較할 때 熔成磷肥는 禾本科牧草를 磷鑛石은 clover의 L-value를 增加시킬 수 있는 것으로 推定된다.

Table 9. ³²P uptake depending on pH levels (cpm/g)

Plants	Part	pH						
		4	5	6	7	8	9	10
Orchardgrass	Shoot	2827	2572	2886	1587	1281	1123	779
	Root	9203	3949	8571	3344	5500	2676	3036
Ladino clover	Shoot	4608	4339	4089	2470	2000	1687	1641
	Root	19315	19462	16773	13217	12435	4500	5154

Table 10. L-values in 3 different soils depending on carrier level in 2 pasture species

Soil	Pasture species	Carrier level (μg/g)	
		Low(180 μg/g)	High(1800 μg/g)
Non-volcanic soil	Orchardgrass	245	230
	Clover	882	-
Dark brown soil	Orchardgrass	663	967
	Clover	866	-
Black soil	Orchardgrass	378	416
	Clover	2051	285

Table 11. L-values in different soils when rock phosphate was applied

Soils	Pasture species	Carrier level ($\mu\text{g/g}$)	
		Low(180 $\mu\text{g/g}$)	High(1800 $\mu\text{g/g}$)
Non-volcanic soil	Orchardgrass	336	678
	Clover	970	952
Dark brown soil	Orchardgrass	854	513
	Clover	2460	—
Black soil	Orchardgrass	571	309
	Clover	942	—

Table 12. L-values in different soils when fused phosphate was applied

Soils	Pasture species	Carrier level ($\mu\text{g/g}$)	
		Low(180 $\mu\text{g/g}$)	High(1800 $\mu\text{g/g}$)
Non-volcanic soil	Orchardgrass	794	1089
	Clover	833	502
Dark brown soil	Orchardgrass	902	642
	Clover	1122	637
Black soil	Orchardgrass	679	242
	Clover	2584	605

摘 要

火山灰土壤에서 orchardgrass와 ladino clover의 熔成磷肥와 磷鑛石의 利用效率을 究明하기 爲하여 野外 pot試驗(試驗1)과 土壤內 置換性 磷酸(E-value), 可變態 磷酸(L-value) 測定을 爲해 ^{32}P 同位元素를 利用하여 實驗室內 實驗(試驗2)을 施行하였다.

1. 牧草의 乾物收量은 濃暗褐色土壤과 黑色土壤에서 磷酸의 施用水準 增加함에 따라 增加되었으며 200kgP₂O₅/ha 水準에서 顯著한 增加率을 나타내었다. 肥料의 種類에 따른 乾物增收 效果는 熔成磷肥가 모든 處理에서 優秀하였으나 黑色土壤에서 clover는 磷鑛石에 依해 增加效果를 나타냈다.

2. 牧草內 磷酸含量은 黑色土壤에서 施肥水準이

높아짐에 따라 有意的인 增加를 가져왔으며 濃暗褐色土壤에서는 clover의 單播 또는 混播에서 含量이 높아지고 있었다. 牧草內의 無機物 中 Na의 含量은 禾本科에 比해 荳科가 높았으며 K의 含量은 濃暗褐色土壤이 黑色土壤에 比해 높았다. 그러나 Ca와 Mg의 含量은 肥料水準이나 草種間에 큰 影響을 받지 않았다.

3. 供試土壤에 ^{32}P 處理後 192時間의 E-value는 黑色土壤(5,552mg/ℓ), 非火山灰土壤(1,125mg/ℓ), 濃暗褐色土壤(801mg/ℓ)의 順位였다. ^{32}P 의 土壤吸着率은 黑色土壤에서 處理後 4日에 100%로 가장 빨랐고 濃暗褐色土壤과 非火山灰土壤에서 서서히 이루어져 處理後 8日에 各各 70% 및 80%의 磷酸이 土壤에 吸着되었다. L-value는 모든 土壤에서 clover가 orchardgrass보다 높았으며 熔成磷肥의 施用은 禾本科에서, 磷鑛石은 clover의 L-value를 높여 주었다.

參 考 文 獻

1. Barrow, N. J. 1955. The response to phosphate of two annual pasture species. I. Effect of the soil's ability to absorb phosphate on comparative phosphate requirement. *Aust. J. Agric. Res.* 26: 137-43.
2. Claser, R. E. and N. C. Bray. 1975. Nutrient competition in plant association. *Agron. J.* 42: 128-35.
3. Brock, J. L., and J. H. Hogland. 1974. Growth of 'Grasslands Huia' and 'Grasslands 4700' white clovers.
II. Effects of nitrogen and phosphorus. *N. Z. J. of Agric. Res.* 17: 47-53.
4. Caradus, J. B. 1980. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. *N. Z. J. of Agric. Res.* 23: 75-81.
5. Cassman, K. G., a. S. Whitney, and R. C. Fox. 1981. Phosphorus requirements of soybean and cowpea as affected by mode of nutrition.
6. Cullen, N. A. 1966. Pasture establishment on unploughable hill country in New Zealand. *Proc. Xth Int. Grassl. Cong.* 851-55.
7. Donald, C. M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances in Agron.* 15: 1-118.
8. Duell, R. W. 1960. Utilization of fertilizer by six pasture grasses. *Agron. J.* 52: 277-79.
9. Ensminger, L. E., r. E. Pearson, and W. H. Arminger. 1967. Effectiveness of rock phosphate as a source of phosphate requirements of soil. *Soil Sci. Am. Proc.* 34: 903-907.
10. Fried, M. 1953. The feeding power of plants for phosphates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17: 357-359.
11. Jackman, R. H., M. C. H. Mount. 1972. Competition between grass and clover for phosphate. I. Effect of browntop (*Agrostis tenuis sibth*) on white clover (*Trifolium repens L.*) growth and nitrogen fixation. *N. Z. J. of Agric. Res.* 15: 653-66.
12. Lamond, R. E. and J. L. Moyer. 1983. Effect of knifed vs. broadcast fertilizer placement on yield and nutrient uptake by tall fescue. *Soil Sci. Am. J.* 47: 145-49.
13. Long, F. L., G. W. Long dale, and D. L. Myhre. 1973. Response of an Al-tolerant and an Al-sensitive genotype to lime, P and K on three Atlantic coast floatwoods soils. *Agron. J.* 65:30-34.
14. Lutz, J. A. 1973. Effect of partially acidulated rock phosphate and concentrated superphosphate on yield and chemical composition of alfalfa and orchardgrass. *Agrom. J.* 64: 286-89.
15. McAuliffe, C. D., Hall, N. S., Dean, L. A. and Hendricks, S. B. 1948. Exchange reactions between phosphates and soils hydrocyclic surfaces of soil minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12: 119-123.
16. Osman, A. C. A. Raguse, and P. C. Sumner. 1977. Growth of subterranean clover in a range soil as effected by microclimate and phosphorus availability. II Laboratory and phytotron studies. *Agron. J.* 69: 26-19.
17. Ozanne, P. g., K. M. Howes and Ann Petch. 1976. The comparative phosphate requirements. *Aust. J. Agric. Res.* 27: 479-88.
18. Reid, R. L., A. J. Post, and G. A. Jung. 1970. Mineral composition of forages. *West Virginia Agric. Exp. Stn. Bull.* 589T

19. Reneau, R. B. Jr., G. D. Jones, and James, B. friedericks. 1983. Effect of P and K on yield and chemical composition of forage sorghum. *Agron. J.* 75: 5-8.
20. Vanray and A. Van Diest. 1979. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil.* 51: 577-89.
21. Werner, J. C., E. B. Kalid, F. P. Gomes, J. U. S. Pedrira, G. L. da Rodha, and H. J. Sartini. 1968. The effect of several phosphate fertilizers on forage production. *Bol. Industrial Anim; Sap Pall. Brasil.* 25: 139-49.
22. Zunino, H., P. Peirano, M. Aguilera, and M. Caiozzi. 1973. P uptake by wheat and resin-extractable phosphate after incubation in soil derived from volcanic ash. *Agron. J.* 65: 744-48.
23. 鄭連圭. 1976. 新開墾地에서 石灰 및 磷酸施用 이 orchardgrass의 初期生育, 收量, 營養成分 및 土壤의 化學的 性質에 미치는 影響. 建大 碩士論文.
24. 秦信欽, 高瑞逢, 尹益錫, 李種烈, 金文哲. 1980. 걸루림草地에 대한 3要素 施肥水準이 草地生産性 및 植生에 미치는 影響. *韓畜誌.* 22: 161-244.
25. 金東岩. 1978. 地表追播法에 依한 牧野地 改良時 先占植生과 施肥의 影響. *韓草研報.* 1: 2-9.
26. 金東岩, 姜昌中. 1971. 잔디優占草地에 있어서 orchardgrass의 定着에 미치는 競合要因에 關한 研究. 1. 窒素, 磷酸, 石灰 및 잔디 被覆이 牧草의 定着과 殘存에 미치는 影響. *韓畜誌.* B: 341-51.
27. 李根常, 高瑞逢, 姜泰洪, 梁昇柱. 1976. 濟州火山灰土壤의 自然草地에 대한 N.P.K施用 效果. *韓畜誌.* 18(6): 512-7.
28. 李基鍾, 李根常. 1975. 濟州道 草地開發에서 土壤學的 問題點. *韓土肥誌.* 8: 152-160.
29. 李承協, 高瑞逢. 1981. 施肥水準別 飼料作物 生産性 比較試驗. *濟試研報.* 94-98.
30. 農業技術研究所. 1971. 土壤統 說明書.
31. 愼鏞華, 金澄玉. 1975. 火山灰土壤의 特性에 關하여. *韓土肥誌.* 8: 113-119.
32. 愼鏞華, 李炯兌, 金明華, 蔡庠錫. 1964. 濟州道 概略 土壤調查 報告. *農試研報.* 7: 49-62.
33. 山根 一郎. 1960. 肥料の管理, 土壤學の基礎と應用. *農文協.* 48.
34. 豐田 廣三等. 牧草の栽培と利用. 日本工業協會.
35. 原田 勇. 1965. 北海道に於ける牧草栽培の 問題. 加里研究會. 105.
36. 小原 道郎. 1966. 草地の新技術. 加里研究會. 10-16.
37. 渡邊 正夫. 1956. 火山灰土に P_2O_5 의 使 方. *農業及園藝.* 31: 1427.