

## 제주 밭토양에서 가축분 퇴비의 시용에 따른 양분의 이동양상

황기성\* · 호교순<sup>1)</sup> · 유봉식

원에 연구소, <sup>1)</sup>상지대학교 농과대학  
(2004년 7월 14일 접수, 2004년 8월 11일 수리)

**Aspects of Nutrient Transportation after Animal Manure Application in Jeju Field Soil**  
Ki-Sung Hwang\*, Qyo-Soon Ho<sup>1)</sup> and Bong-Sik Yoo (National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 440-706, Korea, <sup>1)</sup>College of Agriculture, Sangji University, Wonju 220-702, Korea)

**ABSTRACT** : Recently, saw dust manure has been widely used in horticultural crop production in Korea. Animal manure is produced by decaying of livestock manure mixed with saw dust, and contained higher nutrients and ion concentration than the traditional manure made from rice straw and grasses. Therefore, a continuous application of the animal manure disregarding to soil characteristics may be ruined the soil conditions. This study was conducted to investigate the transportation of the nitrogen, phosphate, potassium, and ion concentration of the animal manure applied to volcanic and non-volcanic soils in Jeju island. Soil chemical analysis were done before and 180 days after animal manure application. After animal manure application, NO<sub>3</sub>-N moved up to 90 cm in volcanic soil, while the movement was limited to 60 cm in non-volcanic soil. Phosphate concentration was high up to 30 cm, where crop roots are mainly distributed, in volcanic soil, however, the phosphate moved up to 60 cm in volcanic soil. Exchangeable potassium moved up to 90 cm in volcanic soil, but the movement was limited up to 60 cm in non-volcanic soil. For both soil types, no significant different in ion concentrations was observed up to 60 cm in soil depth, though the concentrations were higher in volcanic ash soils as compared to the non-volcanic ash soils.

**Key words**: compost livestock manure, volcanic ash soil, non-volcanic ash soil, availability rate, soil nutrient.

### 서 론

가축분 퇴비는 오래 전부터 퇴비로 활용되어온 전통적인 유기자원이다. 노지토양에서는 가축분 퇴비를 장기간 연용하면 토양 유기물 함량이 증가하여 토양의 이화학적 성질이 개선되고 투수성 및 투기성이 양호해지기 때문에 일반적으로 작물의 수량과 품질이 향상된다<sup>1)</sup>. 일반적으로 유기물 함량의 증가에 따라 토양미생물 밀도 및 활성이 증가하는데, 특히 유기물 분해에 관여하는 토양 미생물은 인산을 용해시키는 능력을 가지고 있어 토양 중 불용화 인산을 1~10% 가용화 할 수 있다<sup>2)</sup>. 또한 산성토양에서 유기물 분해시 생성되는 유기산에 의해 불용화된 인산을 가용화시켜 인산의 유효도를 향상시킨다<sup>3)</sup>.

한편, 시설재배 토양에 가축분 퇴비를 과다하게 시용하면 일반적으로 토양중 질산태 질소의 농도가 높아져 작물 뿌리

의 발육이 저해<sup>4)</sup>될 뿐만 아니라 일부는 지하로 침투되어 지하수의 오염원이 되기도 한다. 특히 미숙 유기물의 과다시용은 호기적 토양 미생물의 밀도를 급격히 상승 시켜 토양 산소의 고갈을 초래하고, 토양을 환원상태로 유도하여 오히려 작물생육을 저해하는 경우도 있다<sup>5)</sup>. 그리고 수분이 과다한 가축 분뇨를 시용한 후에 경운작업을 하게 되면 토양의 치밀화가 촉진되고 미세공극의 영속성이 차단되어 작물이 한발피해에 노출되기 쉽다<sup>6)</sup>. 또한 이러한 가축분뇨를 계속적으로 시용할 경우, 토양중의 인산·칼리·염류 등이 집적되어 작물이 연작장해를 일으키는 경우도 있다<sup>7)</sup>.

특히 최근에 시판되고 있는 가축분 퇴비는 전통적인 유기질비료는(퇴비·구비)에 비해 질소·인산·칼리의 함량이 현저히 높을 뿐만 아니라, 질소 함량에 비하여 인산의 함량이 상대적으로 높은 특징을 가지고 있다<sup>8)</sup>. 따라서 이러한 특징을 가지고 있는 가축분 퇴비의 연용은 토양중 특정 성분을 과잉으로 집적시켜 작물의 양분이용 수지에 불균형을 초래할 것으로 우려되고 있다. 그러므로 본 연구는 화산회 및 비화산회 밭토양을 대상으로 가축분 퇴비의 종류별 사용량에 따른 토

\*연락처:

Tel: +82-31-240-3686 Fax: +82-31-240-3683

E-mail: hwangks@rda.go.kr

양 중 양분의 이동양상을 파악하여 합리적인 유기물 시비체계의 확립에 필요한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

### 재료 및 방법

#### 공시토양

본시험에서는 우리나라 제주도에 주로 분포하고 있는 화산회 및 비화산회 밭 토양 (제주시 지역에서) 채취하여 2 mm 체로 거른후 조제된 토양시료를 PVC포트(지름 30 cm, 길이 100 cm)에 토양을 충전하였다. 우분, 돈분, 계분부숙퇴비를 각각 0, 5, 10, 15 ton/ha 상당량을 토심 20 cm 토양과 혼합하였다. 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하여 토양시료+퇴비 혼합처리 180일 경과후 처리 토양층의 각종 양분의 이동 양상을 조사하였다.

#### 공시 토양의 화학적 특성

화산회 토양의 화학성은 Table 1에서 보는 바와 같이 pH는 5.0으로 강산성 토양 이었고 염류농도는 0.62 ds/m, 유효인산 함량은 10 mg/kg으로 작물재배에 부적합 한 토양이었다. 또한 치환성 칼리, 석회 및 마그네슘의 함량은 각각 0.16, 1.4, 0.6 cmol<sup>+</sup>/kg 범위로 일반작물을 재배하기에 부족한 수준이었으나 토양 유기물 함량은 186 g/kg으로 매우 높은 토양이었다.

비화산회 토양의 화학성은 pH는 6.2이고, 염류농도는 0.88 ds/m로 일반작물 재배에 적합하였으나 유효인산 함량은 47 mg/kg, 질산태 질소의 함량은 1 mg/kg으로 작물재배에 부족한 수준이었다. 유기물 함량은 16 g/kg, 치환성 칼리함량은 0.15 cmol<sup>+</sup>/kg 으로 밭 토양 개량 목표를 상회하고 있는 토양을 사용하였다.

토양의 수분함량은 작물 생육에 문제가 발생되지 않을 정도의 수분을 공급하여 토양의 수분은 pF 2~3 정도를 유지하고 있었다.

이와 같이 토양 중 양분함량이 일반작물 재배하기에는 다소 부족하였으나 화학비료 및 가축분 퇴비의 사용 시험을 하기에는 적합한 토양을 사용하였다.

유기질비료의 화학성은 우분 유기질비료는 EC 9.2 dS/m 질소 2.4 인산 1.8, 칼리 4.0%, 돈분 유기질비료는 EC 4.3 dS/m, 질소 1.6, 인산 3.0, 칼리 1.5% 그리고 계분 유기질비료는 EC 6.4 dS/m, 질소 3.0, 인산 5.1, 칼리 3.1%를 나타내는 유기질비료를 사용하였다.

Table 1. Chemical properties of soil used for the study

Soil	pH (1:5)	EC (dS/m)	NO <sub>3</sub> -N (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	OM (g/kg)	K (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ca (cmol <sup>+</sup> /kg)	Mg (cmol <sup>+</sup> /kg)
Volcanic ash soil	5.0	0.62	4	10	186	0.16	1.4	0.6
Non volcanic ash soil	6.2	0.88	1	47	16	0.15	8.5	5.5

#### 분석방법

토양화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학 분석법<sup>6)</sup>에 준하여 pH는 Orion 811로, EC는 TOA, CM-11P로 측정하였으며, 질산태 질소는 질소 자동분석기(ALKEN-3550)로 정량 하였으며 토양 유기물은 Tyurin 법으로 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 양이온은 1 N-Ammonium acetate로 추출하여 여액을 ICP(Inductively coupled plasma, labtam-844)로 분석하였다.

### 결과 및 고찰

#### 질산태질소

작물의 생육에 필요한 영양분을 많이 함유하고 있는 가축분 퇴비를 토양에 사용하면 토양 미생물의 활발한 활동에 의하여 질산태 질소가 생성되는데 생성된 질산태 질소는 토양의 물리적 특성에 따라 이동하게 된다. 토양중 질소의 이동은 토양수분 이동에 따른 확산작용, 무기화 및 질산화과정 등의 물리·화학적 반응의 영향으로 유실량이 많고 토양교질에 흡착력이 상대적으로 낮아 지하수 및 토양의 오염원이 되고 있기 때문에 토양 관리적인 면에서 질소 성분의 이동은 관심의 대상이 되고 있다.

질산태 질소의 토양 깊이별 분포 양상을 구명하고자 계분 부숙퇴비 15 ton/ha 상당량을 사용한 후 180일 이후에 토양의 깊이별 질산태 질소의 함량을 조사한 결과는(정식 180일 이후) Fig. 1과 같다.

질산태 질소의 분포 양상을 토양 특성별로 살펴보면 화산회 밭 토양은 작물의 뿌리가 가장 많이 분포하는 0~30 cm까지는 16 mg/kg 이었으나 31~60 cm 범위까지는 18 mg/kg 이었고 61~90 cm 범위도 18 mg/kg으로 90 cm 범위까지 이동함을 알 수 있었다.

그러나 비 화산회 밭 토양은 0~30 cm 범위는 10 mg/kg 이었으나 31~60 cm 범위는 7 mg/kg 이었고 61~90 cm 에

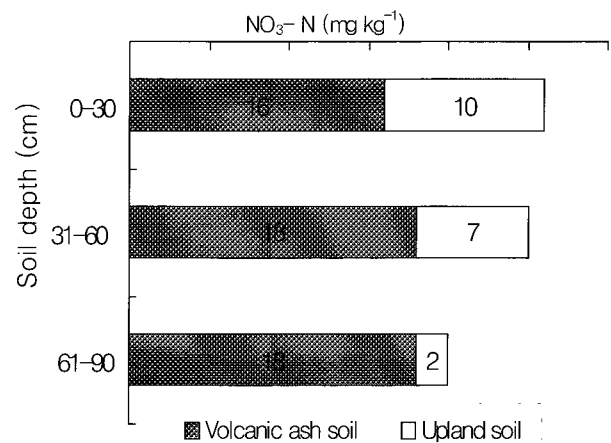


Fig. 1. Vertical distribution of nitrate nitrogen in the volcanic ash and non volcanic ash soils treated with livestock manures.

는 2 mg/kg으로 작물의 생육시에 뿌리의 분포가 가장 많은 표토에 분포하고 있어 지하로 내려갈수록 질산태 질소의 함량이 경감하여 점토의 함량이 많은 토양에서는 질산태 질소가 지하로 이동하기 어려운 것으로 판단된다.

여러 학자들이 실험을 통하여 얻은 계분 부숙퇴비 사용후의 토양 깊이별 질산태 질소의 이동에 관한 결과와 관계를 살펴보면 토양에 사용된 유기물은 단백질, 글루코스아민, 핵산 등의 구성물질이 아미노화에 의한 아미노산으로 되어 암모니아가 생성되어 C/N 율이 낮아지므로 산화상태 토양에서 질산화작용에 의한 질산이 생성되어 작물에 흡수 이용되는 것을 알 수 있었다.

Kim 등<sup>11)</sup>은 가축분 퇴비의 사용량이 증가하면 토양의 무기태 질소의 함량이 증가하였는데 부산물 비료의 종류별로는 계분 부숙퇴비 > 우분 부숙퇴비 > 식품오니 퇴비의 순으로 컸으며, 토양별로는 양토보다 사양토에서 더 컸다고 보고하여 본 시험결과와 일치하는 경향을 나타내었다.

이와 같이 토양에 따른 질산태 질소의 이동성이 차이는 나는 것은 화산회토양은 통기성이 좋아 작물생육에 필요한 수분을 공급하면 물의 이동성에 따라 질산태 질소의 이동이 많이 일어나는데 비하여 비화산회 밭 토양은 점토의 함량이 많아 통기성이 떨어지고 미생물의 활동이 원활하게 이루어지지 않아 질산태 질소로 전환되는 비율이 적어 양분의 이동성이 떨어지는 것으로 판단된다.

**인산함량**

계분 부숙퇴비의 사용에 따른 인산함량의 이동양상은 Fig. 2와 같이 화산회 토양에서는 0~30 cm 범위까지는 165 mg/kg의 인산을, 31~60 cm 토층에는 135 mg/kg의 인산을 61~90 cm 깊이의 토층에는 불과 15 mg/kg의 인산을 함유하고 있었다. 이러한 결과는 화산회 토양에 있어서 인산의 이동은 주로 0~60 cm 정동의 토층에서 일어난다는 것을 시사한다.

일반적으로 화산회 토양에서 인산의 함량은 토양 비옥도의 척도라고 할 만큼 지력과 관계가 크다. 특히 화산회 토양은 인산의 흡수 고정력이 커서 인산을 다량 사용 하도록 강

조되고 있는데 화산회 토양은 식물의 양분공급원 뿐만이 아니라 알루미늄의 활성을 억제 또는 둔화시켜 작물의 생육에 필요한 양분의 유효도를 증대시키고 있다.

비화산회 밭토양의 인산은 토층별 (0~30 cm 및 61~90 cm)로 각각 991, 428 및 33 mg/kg 분포하여 전체의 약 65% 정도가 작물생육에 필요한 양분을 공급하는 30 cm범위에 축적되어 있음을 알 수 있었다.

토양의 인산은 일반적으로 이동성이 적은 원소로서 시비 위치에서 멀리 이동되지 않고 흙과 함께 유실되는 것 이외에는 용탈 되는 양이 적어 인산질비료의 사용 효과는 영년적으로 계속된다. 그러나 표토에 사용된 인산은 심토로 이동되지 않아 심토의 인산함량 증가가 어렵고 작물뿌리를 통한 흡수가 불가능해진다.

이와 같이 비화산회 토양에서는 인산의 이동이 매우 적어 강우의 유입이 차단된 시설재배지의 경우 화학비료 및 가축분 퇴비의 과다 사용에 의한 인산의 축적이 가장 먼저 이루어지고 있으므로 토양의 특성과 사용되는 유기물의 종류별로 함유한 양분함량을 고려한 과학적인 시비법이 요구된다.

**칼리함량**

계분 부숙퇴비의 사용에 따른 화산회 및 비화산회 토양중의 칼리의 이동양상은 Fig. 3과 같다. 화산회 토양의 칼리는 토층 0~30 cm 범위에 가장 많이(3.69 cmol<sup>+</sup>/kg) 분포 하였으며 31~60 및 61~90 cm 의 토층에도 각각 3.82 및 2.61 cmol<sup>+</sup>/kg 분포하여 토양 깊이에 따른 칼리함량의 차이가 적었다.

비화산회 토양중의 칼리는 토층 0~30 cm 범위에 주로 분포(3.35 cmol<sup>+</sup>/kg) 하였고 토층이 깊어지면서 감소하여, 깊이에 따른 칼리함량의 차이가 화산회 토양에 비하여 현저히 커지는 경향 이었다.

제주도의 화산회 밭 토양은 표토의 높은 유기물 함량으로 염기치환용량이 매우 높으나 치환성염기의 함량은 부식 또는 알로판과 결합하여 존재하므로 염기의 흡착력이 약하고 배수상태가 양호하여 K, Ca, Mg 등의 염기가 심하게 용탈되는데

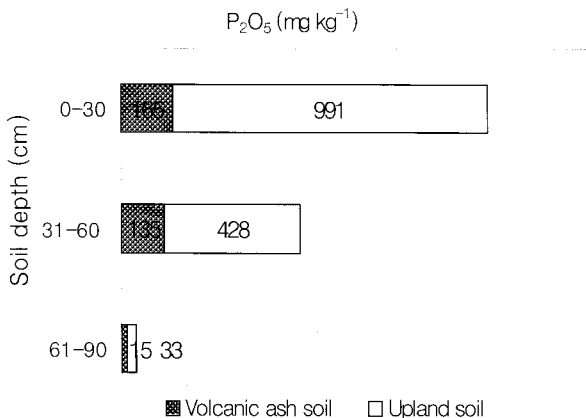


Fig. 2. Vertical distribution of phosphate in volcanic ash and non volcanic ash soils treated with animal manure.

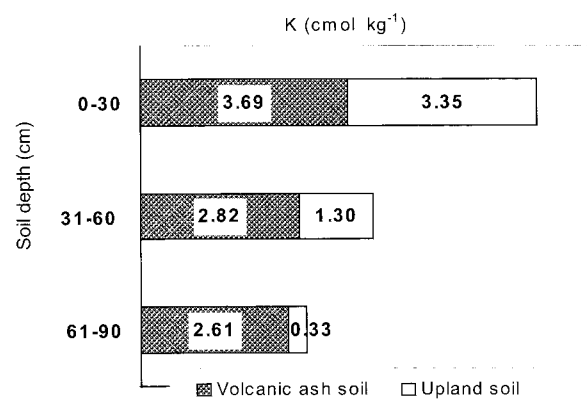


Fig. 3. Vertical distribution of potassium in volcanic ash and non-volcanic ash soils treated with animal manure.

특히 칼리성분의 용탈이 심하게 일어난다고 보고되어있다<sup>15)</sup>. 이와 같은 이유로 인하여 화산회 밭 토양은 염기치환용량이 큼에도 불구하고 양이온의 용탈이 비화산회 밭 토양에 비하여 큰 것으로 판단된다.

Kim 등<sup>11)</sup>은 비화산회 밭 토양에 유기질비료를 사용 한 후 양이온의 유실량을 조사하였는데 표면 유실량은  $K > Ca > Na > Mg > NH_4$  의 순으로 컸는데 퇴비의 사용량이 증가할 수록 유실량이 증가된다고 보고하였으며, 柳井 등<sup>16)</sup>은 부산물 비료의 종류별 칼리함량의 유실량을 살펴보았을 때 우분 부숙퇴비를 사용한 처리에서 칼리성분의 용출량이 가장 많았다고 보고하였다. 또한 Menzel<sup>12)</sup>은 무기성분의 이동성은 Ca가 가장 높고 Na가 적은 편이라는 보고하여 본시험의 결과와 같은 경향을 나타내었는데, 우분 부숙퇴비와 계분 부숙 퇴비를 연속적으로 사용 하면 칼리이온의 집적량이 증가하기 때문에 양분의 불균형에 의한 연작장해가 발생할 가능성을 나타내고 있다.

#### 염류농도

계분 부숙퇴비 사용에 따른 토양의 염류농도의 변화는 Fig. 4와 같다. 화산회 토양의 염류농도는 토층별(0~30, 31~60 및 61~90 cm)로 각각 1.1, 1.4 및 0.4 dS/m로, 최하위 층에서 가장 낮은 경향을 나타내었다. 한편 비화산회 토양의 염류농도는 토층간에 현저한 차이없이 0.3~0.6 dS/m의 범위에 있었다.

양분함량이 많은 부산물 비료를 작물 재배의 적정량 이상으로 사용하면 토양에 염류가 집적되어 작물의 생육과 품질에 영향을 주는 연작장해 현상이 발생할 수 있다<sup>17)</sup>. 특히 시설원예작물 재배지에서는 매 작기마다 다량의 화학비료 및 부산물 비료를 사용 하여 많은 양의 양분을 공급하고 있지만 작물이 흡수 이용하는 양분의 양은 적고 강우의 차단에 의한 양분의 유실이 적어 2~3년간 하우스재배를 하면 연작장해가 발생하고 있다<sup>9)</sup>.

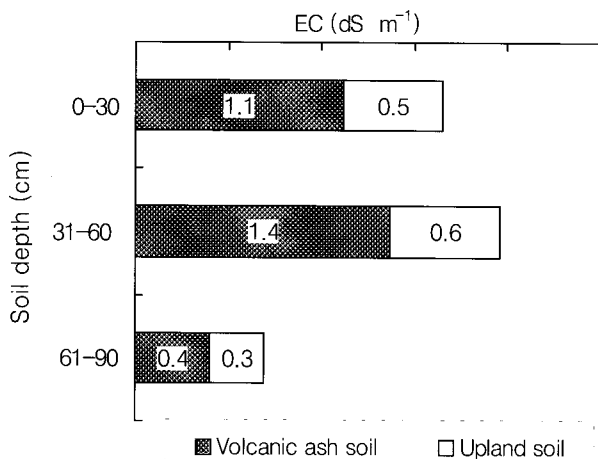


Fig. 4. Vertical distribution of EC in volcanic ash and non-volcanic ash soils treated with animal manure.

이와 같이 가축분 퇴비의 과다 사용은 토양중 염류농도의 상승을 초래하여 토양환경을 악화시키므로 토양환경을 보존하고 작물의 생육을 증대와 품질을 향상시키기 위하여 부산물비료의 종류별 적정량을 사용 할 수 있는 방법의 개발과 토양중에 축적된 염류를 효과적으로 제거할 수 있는 방법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

#### 요 약

가축분 퇴비의 연속적인 과다사용은 토양중의 각종 양분과 염류의 집적을 유도하여 토양의 악화를 초래 할 수 있다. 이러한 현상은 특히, 시설원에 재배지에서 발생하기 쉬운 것으로 알려져 있으나 퇴비 사용 후 퇴비유래 양분의 토양중 거동에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 제주도에서 주로 분포하고 있는 화산회토양(구좌동) 및 비화산회토양(애월동)에 사용한 가축분 퇴비(계분, 우분 및 돈분)의 질소, 인산, 칼리 및 염류의 토양중 거동을 파악하기 위하여, 토양사용 180일 후에 토층별(0~30, 31~60 및 61~90 cm)로 토양을 채취하여 토양화학성을 조사 하였다.

가축분(계분) 퇴비 사용 후 질산태질소의 토양중 거동을 검토한 결과 화산회토양의 경우, 질산태질소는 90 cm 범위의 토층까지 이동하였으나, 비화산회토양의 경우에는 0~60 cm 범위의 토층에 주로 분포하고 있었다. 인산의 경우, 화산회토양에서는 작물의 뿌리가 주로 분포하는 작토층 (0~30 cm)에서 다량 검출되었으며, 화산회토양에서는 90 cm 범위의 토층에 까지 이동하였으나, 비화산회토양에서는 60 cm 범위의 토층까지 이동하는데 그쳤다. 토양의 염류농도의 경우 화산회토양에서는 주로 0~60 cm 범위에서 높은 농도로 검출된 반면, 비화산회토양에서는 토층에 따른 큰 차이를 인정할 수 없었을 뿐만 아니라, 화산회토양에 비하여 현저히 낮은 수준 이었다.

#### 참고문헌

1. 유인수 (1987) 다수확 재배를 위한 밭토양 관리와 시비, 가리연구회, p.22-75.
2. Ryu, I. S. (1975) Comparison between phosphorus absorption coefficient and Langmuir adsorption maximum, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 8(1), 1-7.
3. Ryu, I. S. and Lim, S. J. (1999) Effects of animal manure application on crops yield and reducing the application rate of fertilizer, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 32(3), 232-238.
4. 嶋田永生 (1993) 하우스 토양의 특성과 개량, p.114-150
5. Yun, S. G., Jung, K. Y. and Yoo, S. H (1993) Transformation of nitrogen derived from solid piggery manure in soil under aerobic or anaerobic incubation condition, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26(2), 121-126.

6. 이춘수 (1999) 흙살리기와 시비기술, 농협자재부, p.245-341.
7. 김이열 (2000) 실용토양학, 삼부문화, p.130-140.
8. Haider, K., Frederick, L. R. and Flaig, W. (1965) Plant and soil 21, 49-64.
9. Kenworthy, A. L. (1950) Interpreting the balance of nutrient element in leave of fruit tees, I. Plant analysis and fertilized problems, *Amer. Institute of Biological Science* : 28-43.
10. Kim, J. G. and Jung, K. Y. (2000) Amount of maximum compost application on the long-term application with different organic material sources in upland soil, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 33(3), 182-192.
11. Kim, H. O. (1974) A study on the fixed forms and adsorption of phosphorus in citrus orchard soil derived from volcanic ash, *Agri. Chem. Biotechnol.* 17(3), 48-55.
12. Menzel. (1991) The environmental challenge, *Soil Science* 151(1), 24-29.
13. 농촌진흥청 농업기술 연구소 (1988) 토양화학분석법, p.15-204.
14. Oh, W. K., Ryu, I. S. and An, Y. W. (1973) Soil Conservation and Maintenance of Fertility on Upland Soils, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 6(1) 53-60.
15. Shin, Y. H. and Kim, H. O. (1975) Characteristics of volcanic ash soils, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 8(3), 113-119.
16. 柳井利夫 (1992) 農業技術大系, 土壤管理の實際 (農文協), p.15-172.
17. 萩原種雄, 野田與太郎 (1942) 上場火田土壤の改良に關する研究, *日本土壤肥料學會誌* 16(3), 146-158.