

## 밭토양에 처리된 규산질 비료의 유효화와 토양반응 교정효과

조현종 · 최희열 · 이용우 · 이윤정 · 정종배\*

대구대학교 생명환경학부

(2004년 5월 7일 접수, 2004년 6월 1일 수리)

### Availability of Silicate Fertilizer and its Effect on Soil pH in Upland Soils

Hyun-Jong Cho, Hee-Youl Choi, Yong-Woo Lee, Yoon-Jung Lee and Jong-Bae Chung\* (Division of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 712-714, Korea)

**ABSTRACT :** Although silicon (Si) has been known to be an essential element for rice growth, the optimum soil level of Si for upland crops remains unestablished. This study was conducted to estimate the availability of Si fertilizer in upland soils, and also effect of the Si fertilizer on soil pH was examined. Different application rates of Si fertilizer were tested using four soils of different available Si levels and pHs in a series of laboratory incubation study. The treatments included Si fertilizer levels of 100, 200, and 300 kg/10a. Also to examine the effects of compost and lime on the availability of Si fertilizer in upland soil, treatment of silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1,000 kg/10a and lime alone treatment were included. Changes of Si availability in the soils during the incubation period were measured by 1 N NaOAc extraction procedure. Availability of Si fertilizer was different among the tested soils, and about 9.1~19.2% of the applied Si fertilizer was extracted after 60 days laboratory incubation. Application rate could not influence the availability of Si fertilizer. Application of compost with Si fertilizer could not increase Si availability in upland soils, but lime treatment could increase Si availability. Soil pH increased by application of Si fertilizer, but the effect of Si fertilizer on soil pH was minimal. When Si fertilizer is applied on the purpose of Si nutrition in acid upland soils, lime treatment should be coupled with the Si fertilizer for remediation of soil acidity.

**Key words:** available Si, silicate fertilizer, upland soil, silicon.

## 서 론

규소는 기초광물을 형성하는 원소로서 지각 구성 성분중 산소에 이어 두 번째로 그 함량이 높다. 식물이 주로 흡수하는 형태인  $H_4SiO_4$ 는 토양의 화학특성을 조절하며, polysilicic acid는 토양 물리성을 조절한다. 그리고 이들 양자의 상호작용으로 토양 pH 6에서는 분자상 규산인  $H_4SiO_4$  형태로, pH 7~10에서는  $H_3SiO_4^-$ , pH 10~11이상에서는  $H_2SiO_4^{2-}$ 로, pH 11 이상에서는  $SiO_4^{4-}$ 로 주로 존재하게 된다<sup>1)</sup>. 이러한 특성으로 인해 규산은 토양용액 중에서 특정 원소의 양이 지나치게 높아지는 것을 막아 주며, 반대로 그 양이 낮아지면 해리를 통해 공급함으로써 일종의 양이온 완충기능을 하기도 한다.

토양 중에 기본적으로 다량 함유되어 있는 원소이나 용해도가 낮으므로 다량으로 규소를 요구하는 식물의 경우에는 가용성의 규산질 비료의 사용이 필요하다. 특히 벼와 같은 수

생 화본과 식물의 경우 규소가 필수원소로 인정되고 있으며, 벼에 규산질 비료를 사용하면 엽각 직립 유지, 질소 이용률 증진, 엽신 노화 억제 등의 효과로 수량 증가에 기여한다<sup>2,3)</sup>. 또한 규산질 비료 공급은 벼 엽신의 기공 크기와 수를 조절하여 수분 이용 효율을 증진시키고, 등숙을 양호하게 하여 품질을 향상시키며<sup>4,6)</sup>, 질소의 현미 생산효율을 증가시킴에 따라 벼 곡실 중 단백질 함량을 감소시켜 미질을 향상시키는 것으로 알려져 있다<sup>7)</sup>.

특히 질소 사용량이 많은 경우 작물의 도복현상이나 균의 감염이 심해지는데, 이 때 규소를 사용하면 크게 효과를 볼 수 있다<sup>8)</sup>. 규산질 비료는 벼에서 도열병, 깨씨무늬병, 뿌리썩음병과 바이러스성, 세균성 병해 및 이화명충 등의 충해를 줄여 줄 수 있는 것으로 잘 알려져 있다<sup>9,12)</sup>. 규질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아줄 뿐만 아니라 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 성장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병 발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다<sup>13)</sup>.

규산질 비료는 논토양에 대해 토양 pH를 증가시킴으로서 토양 중금속의 불용화 및 토양 양이온 증가에 큰 효과가 있다.

\*연락처:

Tel: +82-53-850-6755 Fax: 82-53-850-6759

E-mail: jbchung@daegu.ac.kr

석회질 비료보다는 빠른 효과를 보기에는 어려우나 지속적으로 용해되므로 산성토양 개량제 측면에서도 크게 요구된다(14-16).

이러한 규산 물질의 중요성에 기초하여 우리나라는 규산질 비료에 대한 연구가 많이 이루어 졌으며 1960년대 후반부터 1980년대 후반까지 벼에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 우리나라에서는 밭작물에 대한 규산질 비료의 연구는 거의 이루어진 적이 없다가 최근 친환경 지속농업의 필요성이 대두되면서 원예작물에 대한 규산 적용 시험이 많이 이루어지고 있으며, 생육과 병해발생 억제 등의 효과도 어느 정도 인정되고 있다<sup>17,22)</sup>. 그러나 규산은 아직까지 벼에 주로 사용되고 있으며 밭토양에서도 일부 사용은 하고 있으나 논토양에 비해 사용 효과 및 검토 내용은 여전히 부족한 실정이다.

밭작물의 규산 요구도나 작물별 적정 사용수준이 구명되어 있지 않은 상태이므로 우선 규산질 비료를 밭토양에 사용했을 때 규산의 동태와 함께 토양의 이화학적 특성 변화를 충분히 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 밭토양에 처리된 규산질 비료의 유효화 정도와 토양 pH에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 토양시료 및 규산질 비료의 처리

유효규산 함량, pH 및 유기물 함량 등이 규산질 비료의 유효화에 영향을 미칠 수 있는 주요 토양 특성을 고려하였으며, 이들 특성에서 차이를 보이는 밭토양 4 종류를 경북 성주군 대가면과 용암면의 참외재배 비닐하우스 그리고 대구대학교와 영남대학교 실험포장에서 공시토양을 채취하였다. 토양은 풍건 후 2 mm 체에 통과시켜 실험에 사용하였으며 이화학적 특성은 Table 1과 같았다. 규산질 비료는 100, 200, 300 kg/10a의 3 수준으로 처리하였고, 규산질 비료 200 kg/10a 수준에는 퇴비 1,000 kg/10a를 함께 처리한 시험구를 따로 두었으며 pH 7.0 조절량의 석회 처리구를 시험에 포함시켰다 (Table 2). 규산질 비료는 가용성규산 함량 25%의 입상

이였으며, 퇴비는 부숙퇴비 그리고 석회는 시약급 CaCO<sub>3</sub>를 각각 사용하였다. 토양시료 500 g에 대하여 각각의 처리를 하였으며 처리당 3 반복으로 시험을 수행하였다. 규산질 비료, 퇴비 및 석회 처리량은 표토 10 cm 깊이와 용적밀도 1.2 g/cm<sup>3</sup>를 기준으로 하여 계산하였다. 토양 pH를 7.0으로 조절하는데 소요되는 석회의 양은 완충곡선법으로 구하였으며, 토양 A, B, C, D 500 g 당 CaCO<sub>3</sub>를 5.97, 0.46, 10.18, 3.21 g씩 처리하였다. 처리된 각각의 토양은 polyethylene film bag에 담아 수분함량을 10% 내외로 조절하고, 실험 기간 동안 상온에서 암조건으로 60일 동안 보관하면서 시기별로 일정량씩 채취하여 pH와 유효규산 함량 변화를 조사하였다.

### 토양 이화학성 및 유효규산 함량 분석

토양 pH는 1 : 5 (토양 : H<sub>2</sub>O) 현탁액 상태로 pH meter (Mettler Delta 350, Mettler-Toledo, Urdorf, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Walkley-Black 법을 이용하여 측정하였으며<sup>23)</sup>, 유효인산 함량은 Bray No. 1 법으로 추출하여 ammonium paramolybdate법으로 발색시켜 파장 720 nm에서 spectrophotometer (HP 8452A, Hewlett Packard, Waldbronn, Germany)로 측정하였다<sup>24)</sup>. 유효규산 함량은 1 N NaOAc (pH 4.0) 가용규산법을 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다<sup>25)</sup>. 토성은 micropipette 방법으로 입경 분포를 조사하여 미국 농무성의 분류체계에 따라서 결정하였다<sup>26)</sup>.

## 결과 및 고찰

### 규산질 비료의 유효화

유효규산 함량 및 이화학적 특성이 다른 밭토양에서 규산질 비료를 수준별로 처리한 후 토양 중의 유효규산 함량 변화를 조사하여 Fig. 1에 나타내었다. Kim<sup>27)</sup>이 규산물질의 초기 가용화속도가 매우 빠르며 15일 이후에는 평형상태에 도

Table 2. Application rates of silicate fertilizer, compost and lime for the different treatments

Treatment	Application rate <sup>a)</sup>		
	Silicate fertilizer kg/10a	Compost kg/10a	Lime
Control	-	-	-
Silicate fertilizer I	100	-	-
Silicate fertilizer II	200	-	-
Silicate fertilizer III	300	-	-
Silicate fertilizer II + Compost	200	1,000	-
Lime	-	-	amount for pH 7

<sup>a)</sup>In the experiment, 500 g soil was used and the actual amounts applied in the soil were calculated on the base of 10 cm soil depth and bulk density of 1.2 g/cm<sup>3</sup>.

Table 1. Physicochemical properties of soils used for the experiment

Soil <sup>a)</sup>	pH (1:5)	Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	Available SiO <sub>2</sub> mg/kg	Organic matter g/kg	Texture
A	5.9	617.8	281.8	18.9	Sandy loam
B	6.1	5.9	93.8	12.0	Sandy loam
C	5.8	409.9	40.2	26.3	Silt loam
D	5.8	242.2	166.2	22.3	Silt loam

<sup>a)</sup>Soil A, collected from a plastic film house of oriental melon in Daega, Sungju; Soil B, collected from a plastic film house of oriental melon in Yongam, Sungju; Soil C, collected from an experimental field of Daegu University; Soil D, collected from an experimental field of Yeoungnam University.

달한다고 보고한 바와 같이 토양에 처리된 규산질 비료는 처리 후 5일 이내에 최대로 가용화되었다. 그리고 처리 후 시간이 경과할수록 점차 유효규산 함량이 낮아지는 경향을 보였으며, 처리 후 초기에는 유효규산 함량의 변화 폭이 일부 크게 나타나기도 하였으나 40일 이후에는 비교적 안정한 수준에서 평형을 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 가용화된 규산은 식물에 의한 흡수나 용탈 등으로 토양에서 제거되지 않는 이상 상당기간 초기에 가용화된 수준으로 토양 중에 잔류할 수 있는 것으로 나타났다.

토양 A, B, C, D 모두에서 이화학적 특성과 기존의 유효 규산 함량의 다소와는 상관없이 규산질 비료를 처리함으로써 토양 유효규산 함량은 시비수준에 비례하여 증가하였다. Fig. 2에 나타낸 것과 같이 10~300 kg/10a 수준의 규산질 비료의 처리 범위 내에서 처리수준과 토양 유효규산 함량 사이에는 직선적인 상관관계를 보이므로 처리 수준에 관계없이 규산질 비료의 유효화 정도는 일정하게 일어나는 것으로 판단된다.

토양별 상관관계식은 Table 3에 나타내었다.

처리 후 60일째에 조사된 처리별 토양 유효규산 함량에서 규산을 처리하지 않은 대조구 토양의 유효규산 함량을 제한 값을 처리한 규산질 비료로부터 가용화된 규산으로 보고 규산질 비료의 가용화 정도를 계산하여 Table 4에 나타내었다. 토양별로 또는 규산질 비료의 처리 수준별로 가용화 정도는 약간씩 달랐으며, 특히 토양 B에서 가용화 정도가 다른 토양에 비하여 크게 나타났다. 토양 B에서는 유효인산 함량이 매우 낮았는데, 규산과 인산은 흡착과정에서 서로 경쟁관계에 있다<sup>28)</sup>. 유효인산의 함량이 높은 토양에 비하여 유효인산의 함량이 낮은 토양에서는 규산의 흡착이 상대적으로 용이할 것이다. 따라서 유효인산의 함량이 낮은 토양에서는 처리된 규산질 비료의 가용화가 상대적으로 높을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과, 규산질 비료의 가용화 정도는 9.1~19.2% 범위로 나타났으며, 토양 B를 제외하면 평균적으로 밭 토양에 처리된 규산질 비료의 가용화 정도는 11~13%일 것으

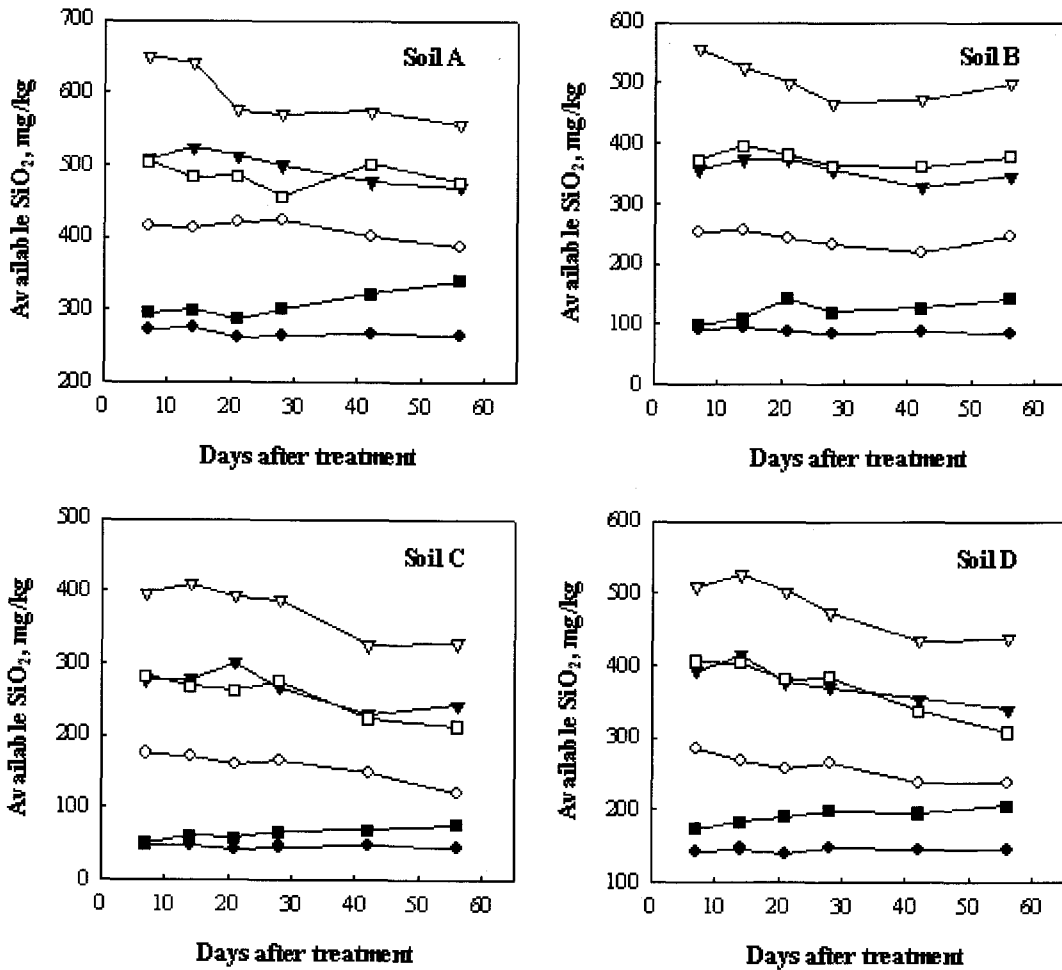


Fig. 1. Changes of available SiO<sub>2</sub> concentration in soils of different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

로 판단된다.

규산질 비료 200 kg/10a에 퇴비를 함께 처리한 경우와 규산질 비료 200 kg/10a만을 처리한 경우를 비교하면, 토양 유효규산 함량에서 차이를 보이지 않았다 (Fig. 1). 장기적인 퇴비 사용은 토양 유효규산 함량을 증가시킨다는 연구 결과가 있기는 하나<sup>29)</sup>, 퇴비의 사용이 단기적으로는 규산질 비료의 유효화에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 한편 벚지이나 왕겨 등 규산 함량이 높은 재료의 퇴비를 사용할 경우에는 퇴비 자체에서 공급될 수 있는 규산에 의해 토양 유효규산 함량이 증가할 수 있을 것이나 본 연구에서와 같이 규산 공급원으로서 작용할 수 없는 톱밥퇴비를 사용할 경우에는 단순히 처리된 퇴비의 유기물로서 작용이 규산질 비료의 유효화에 가시적인 효과를 발휘하지 못하는 것으로도 볼 수 있을 것이다.

무처리와 비교했을 때 토양 pH를 7.0으로 조절하는 석회 처리는 4가지의 토양 모두에서 토양 유효규산 함량을 증가시켰다. 석회물질로는 규산이 함유되지 않은 시약급 CaCO<sub>3</sub>를 사용하였으므로 석회처리에 따른 토양 유효규산 함량의 증가는 순전히 토양 pH 증가에 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 이러한 석회처리에 따른 가용규산 함량의 증가는 규산물질 자체의 가용화에 대한 pH의 영향과 규산의 흡착에 미치는 pH의 영향이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 규산물질의 용해도는 pH의 영향을 크게 받지 않는 것으로 알려져 있다<sup>27)</sup>. 그리고 규산의 흡착은 결정형 또는 무정형의 토양광물 표면에서 OH 또는 OH<sub>2</sub> 리간드와의 교환으로 일어나며<sup>30)</sup>, pH가 낮을수록 광물표면에 이러한 리간드의 생성이 많아지고 더욱이 OH는 pH가 낮을수록 리간드 교환이 더 잘 일어나는 OH<sub>2</sub>로 변화되므로 토양 pH가 낮을수록 규산의 흡착은 증가할 것이다. 그러나 aluminum hydroxide 표면에서 일어나는

리간드 교환에 의한 규산의 흡착은 pH가 증가함에 따라서 증가하며 약 pH 9.2에서 최대흡착량을 보이고 그 이상의 pH에서는 오히려 흡착량이 감소하는 것으로도 알려져 있다<sup>31)</sup>. 이러한 연구 결과들을 고려할 때 토양 pH와 규산물질의 유효화 관계는 규산의 용해와 흡착에 관여하는 다양한 요인을 감안하여 설명되어야 할 것이며, 보다 구체적인 고찰은 본 연구의 범위를 벗어나며 추후 더욱 연구 검토되어야 할 과제일 것이다.

논토양의 유효규산 함량과 비 수량과의 관계를 설정하는데 있어서 질소를 10a당 10 kg 수준으로 처리하는 경우 토양의 적정 유효규산 함량은 130 mg/kg 정도로 제시되어 있다<sup>32)</sup>. 최근 퇴비와 토양개량제를 장기간 연용하거나 축분을 과다 사용하는 경우가 많으므로 적정 토양 유효규산 수준을 일부 150~180 mg/kg 까지 상향 조절할 필요성이 제기되고 있다. 그러나 최근 여러 가지 밭작물에 대한 규산질 비료의 사용이 농가 현장에서 빈번히 이루어지고 있으나 작물별 적정 토양 유효규산 수준이 밝혀져 있지 않다. 시설재배 참외에 대한 연구에서 토양 유효규산 함량이 120~150 mg/kg 수준일 때 참외 잎 중의 규산 함량이 최대치를 보이는 것으로 밝혀져 있으며 (저자 미발표 자료), 국내 연구기관에서 수행된 미발표 자료들을 보면 150 mg/kg 내외의 토양 유효규산 수준에서 여러 가지의 밭작물에 대한 규산질 비료의 효과를 조사하였다. 이들 자료를 보면 비에 대한 규산질비료의 사용수준이 밭작물에도 큰 차이 없이 적용될 수 있을 것으로 판단되

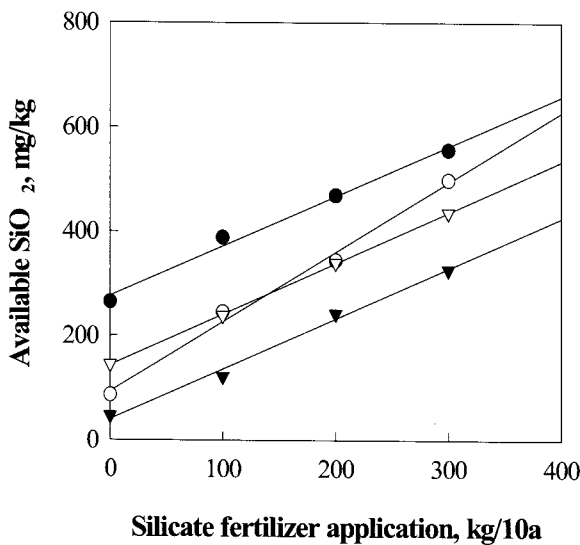


Fig. 2 Relationships between available soil SiO<sub>2</sub> and amount of silicate fertilizer applied in different soils. The available soil SiO<sub>2</sub> was measured 60 days after silicate fertilizer application. ●, soil A; ○, soil B; ▼, soil C; ▽, soil D.

Table 3. Regression equations for the relationships between available soil SiO<sub>2</sub> and silicate fertilizer applied in different upland soils

Soil	Regression equation <sup>a)</sup>	r <sup>2</sup>
A	Y = 0.9545X + 276.5	0.9877**
B	Y = 1.3372X + 93.16	0.9916**
C	Y = 0.9661X + 39.73	0.9911**
D	Y = 0.9763X + 143.8	0.9947**

<sup>a)</sup>Y, available soil SiO<sub>2</sub> (mg/kg); X, silicate fertilizer application rate (kg/10a).

Table 4. Portions of silicate extracted by 1 N NaOAc 60 days after application of different amounts of silicate fertilizer in soils with or without compost

Treatment	Availability <sup>a)</sup>			
	Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
	%			
Silicate Fertilizer 100 kg/10a	13.9	19.2	9.1	11.2
Silicate Fertilizer 200 kg/10a	12.3	15.5	11.8	11.7
Silicate Fertilizer 300 kg/10a	11.6	16.5	11.3	11.7
Silicate Fertilizer 200 kg/10a + Compost 1,000 kg/10a	12.7	17.5	10.9	9.7
Average	12.6	17.2	10.8	11.1

<sup>a)</sup>(Increment of available SiO<sub>2</sub>)/(Applied total SiO<sub>2</sub>) × 100.

나, 작물별로 보다 정확한 규산질 비료의 사용 수준이 결정되어야 할 것이다.

토양 A, B, C, D에서 나타난 규산질 비료의 유효화 정도를 고려하여 규산질 비료의 시비량을 결정할 경우, Table 3에 나타난 바와 같이 규산질 비료의 사용량과 토양 유효규산 함량 사이의 관계식에서 기울기가 1에 매우 근사하므로 25% SiO<sub>2</sub>를 함유한 입상규산질 비료를 용적밀도 1.12 g/cm<sup>3</sup>인 표토 10 cm 깊이에 혼합 처리할 경우 추천시비량 (kg/10a)은 [목표 유효규산 함량 - 기존 유효규산 함량] 값으로 계산될 수 있을 것이다. 여기서 토양 유효규산 함량은 1 N NaOAC로 추출한 후 mg/kg 단위로 정량하여 표시된 값이다.

**규산질 비료 사용에 따른 토양산성 개량효과**

우리나라에서 규산질 비료는 주로 논토양에 사용되고 있으며, 밭토양에서는 토양 산성의 개량목적으로 석회 비료의

사용이 권장되어 왔다. 규산질 비료는 토양 산성 개량 효과도 일부 가지고 있으므로, 규산질 비료를 규산 공급 목적으로 밭토양에 사용할 경우 산성 개량 효과도 정확히 평가할 필요성이 있다. 작물의 규산 요구도에 맞게 규산질 비료를 처리하였을 때, 특히 산성 토양에서 처리된 규산질 비료에 의해 목표 pH까지 개량되지 못한다면 적절한 석회물질의 처리가 규산질 비료의 처리와 함께 이루어져야 할 것이다.

규산질 비료의 처리수준에 비례하여 pH가 증가하였으며, 다른 토양에 비하여 토양 D에서는 상대적으로 pH 증가 폭이 작게 나타났다 (Fig. 3). 이러한 pH 변화의 차이는 토양별로 pH 완충력의 차이에 기인하는 것으로 판단되나 완충작용에 관여하는 자세한 요인에 대해서는 본 연구의 결과로는 설명이 불가하다. 규산질 비료 처리 후 60일째에 조사된 토양 pH를 이용하여 규산질 비료 처리 수준별 pH 변화 현상을 Fig. 4에 나타내었으며, 토양별 회귀직선식으로부터 100 kg/10a 의

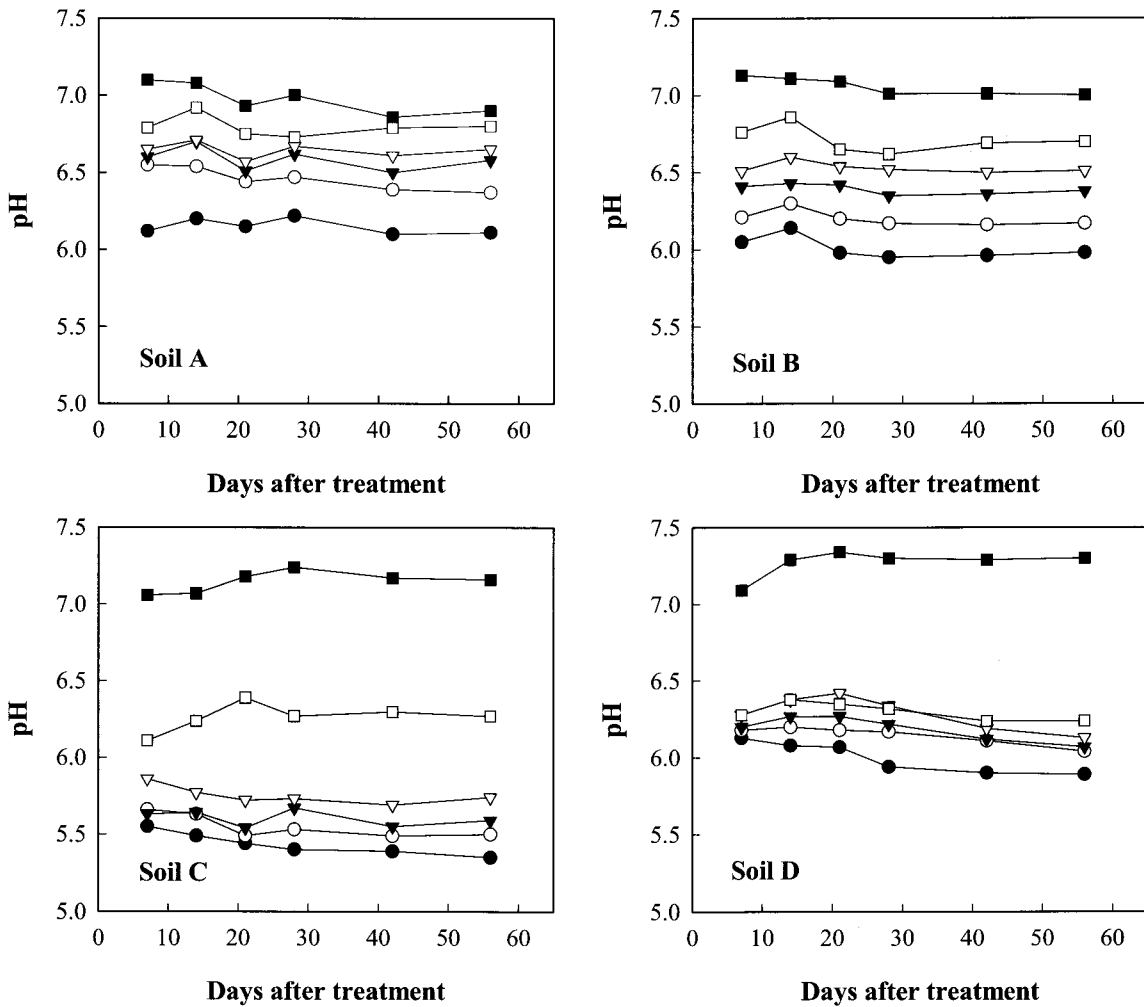


Fig. 3. Changes of pH in soils of different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

규산질 비료의 처리가 유발하는 토양 pH 증가를 추정하여 Table 5에 나타내었다. 결국 규산질 비료의 사용량이 300 kg/10a 수준 정도로 많이 요구되는 토양에서는 0.5 단위 정도의 pH 교정효과를 가져올 수 있을 것으로 판단되나, 토양 중의 기존 규산함량이 높은 경우에는 규산질 비료의 처리량이 적을 수밖에 없고 따라서 pH 교정 효과 또한 크지 못할 것이다. 그러므로 기존의 유효규산 함량이 높고 pH 교정이 불가피하게 요구되는 산성 토양의 경우에는 규산질 비료의 처리만으로는 개량이 불가능할 것이므로 pH 교정에 효과가 큰 석회를 필요한 수준으로 혼용하는 것이 효율적일 것이다.

**요 약**

이화학적 특성이 다른 4가지의 밭토양에 대한 규산질 비료를 처리하여 토양의 유효규산 함량과 pH 변화에 미치는 효과를 조사하였다.

토양의 이화학적 특성과 기존 유효규산 함량에 상관없이 토양 유효규산 함량은 규산질 비료 사용량에 비례하여 증가하였다. 규산질 비료의 유효화 정도는 토양마다 차이가 있었

으며 최저 9.1%에서 최고 19.2% 정도의 비율을 나타냈다. 규산질 비료 100 kg/10a 수준의 처리는 용탈 등으로 제거되지 않는 한 10 cm 깊이 표토에 평균적으로 100 mg/kg 정도의 유효규산을 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 퇴비 혼합처리는 토양 유효규산 함량 증가에 큰 영향을 미치지 못했으며, 석회 처리는 유효규산 함량을 다소 증가시켰다.

토양 pH 변화는 모든 토양에서 규산질 비료 시비량에 비례하여 증가하였으며, 규산질 비료 100 kg/10a 처리로 토양 pH를 0.1~0.2 단위 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 산성 토양의 경우에는 규산질 비료의 사용과는 별도로 pH 교정을 위해 석회비료를 사용해야 할 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어졌음.

**참고문헌**

1. Mckeague, J. A. and Cline, M. G. (1963) Silica in soil solution, (II) The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances, *Can. J. Soil Sci.* 43, 83-96.
2. Lewin, J. and Reimann, B. E. F. (1969) Silicon and plant growth, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20, 289-304.
3. Parry, D. W. and Smithson, F. (1964) Types of opaline silica deposition in the leaves of British grasses, *Ann. Bot.* 28, 169-185.
4. Kang, Y. S. (1991) Effects of silicon on stomatal size and frequency in rice plants, *Korean J. Crop Sci.* 36, 70-73.
5. Kang, Y. S., Lee, J. H., Kim, J. I. and Lee, J. S. (1997) Influence of silicate application on rice grain quality, *Korean J. Crop Sci.* 42, 800-804.
6. Agarie, S. (1998) Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants; Monitored by electrolyte leakage, *Plant Prod. Sci.* 1, 96-103.
7. Miyamori, Y. (1996) Role and guideline of silicon nutrition in low protein rice production, *Jap. J. Environ. Agric.* 5, 61-66.
8. Idris, M., Hossain, M. M. and Choudhury, F. A. (1975) The effect of silicon on lodging of rice in presence of added nitrogen, *Plant Soil* 43, 691-695.
9. Deren, C. W., Datnoff, L. E., Snyder, G. H. and Martin, F. G. (1994) Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols, *Crop Sci.* 34, 733-737.
10. Ito, K. and Chiba, K. (1994) Relationship between sili-

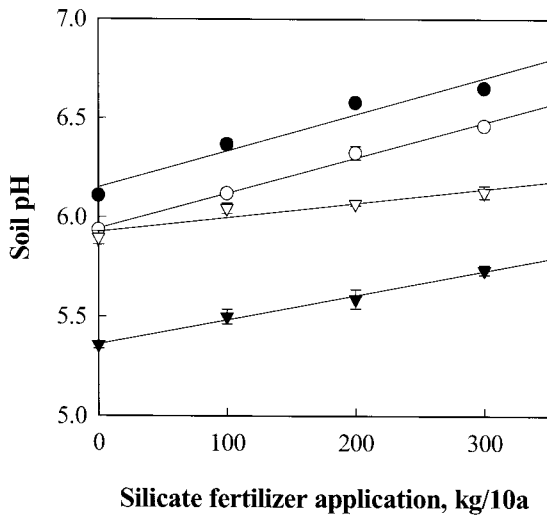


Fig. 4. Relationship between soil pH and amount of silicate fertilizer applied in different soils. Soil pH was measured 60 days after silicate fertilizer application. ●, soil A; ○, soil B; ▼, soil C; ▽, soil D.

Table 5. Increment of soil pH measured 60 days after silicate fertilizer application

Soils	Increment of pH per 100 kg/10a silicate fertilizer application
A	0.183
B	0.247
C	0.126
D	0.169

- cate fertility of soil and irrigation water and the occurrence of rice blast disease, *Tohoku Agric. Res.* 47, 7-8.
11. Saigusa, M., Yamamoto, A. and Shibuya, K. (2000) Agricultural use of porous hydrated calcium silicate, *Plant Prod. Sci.* 3, 51-54.
  12. Volk, R. J., Kahn, R. P. and Weintraub, R. L. (1958) Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus, *Piricularia oryzae*, *Phytopathol.* 48, 179-184.
  13. Sherwood, R. T. and Vance, C. P. (1980) Resistance to fungal penetration in Gramineae, *Phytopathol.* 70, 273-279.
  14. Park, N. J., Park, Y. S., Lee, K. H. and Kim, Y. S. (1972) The effect of lime and wollastonite on an acid sulfate soil, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 5, 25-32.
  15. Bodurtha, P. and Brassard, P. (2000) Neutralization of acid by steel-making slags, *Environ. Technol.* 21, 1271-1281.
  16. Oh, W. K. (1986) Effect of combined application of lime and organic matter, and of calcium silicate on the growth and cadmium content of chinese cabbage, *Korean J. Environ. Agric.* 5, 61-66.
  17. Oh, W. K., Kim, J. Y. and Kim, S. B. (1987) Effects of urea, ammonium nitrate and calcium silicate on the absorption, translocation of potassium and yield of chinese cabbage, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 20, 337-340.
  18. Kim, Y. C., Kim, K. Y., Park, K. W., Yun, H. K., Seo, T. C., Lee, J. W. and Lee, S. G. (2002) Effect of granular silicate application on the growth and yield of tomato grown in perlite substrate, *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 43, 21-24.
  19. Lee, J. S., Park, J. H. and Han, K. S. (2000) Effects of potassium silicate on growth, photosynthesis, and inorganic ion absorption in cucumber hydroponics, *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 41, 480-484.
  20. Cho, I. C., Lee, S. H. and Cha, B. J. (1998) effects of soluble silicon and several surfactants on the development of powdery mildew of cucumber, *Korean J. Environ. Agric.* 17, 306-311.
  21. Lee J. S. and Yiem, M. S. (2000) Effects of soluble silicon on development of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants, *Korean J. Pestic. Sci.* 4, 37-43.
  22. Dik, A. J., Verhaar, M. A. and Belanger, R. R. (1998) Comparison of three biological control agents against cucumber powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in semi commercial scale glasshouse trials, *Eur. J. Plant Pathol.* 104, 413-423.
  23. Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 539-579. In A. L. Page et al. (ed.), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
  24. Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1982) Phosphorus, p. 403-430. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
  25. Hallmark, C. T., Wilding, L. P. and Smeck, N. E. (1982) Silicon, p. 263-273. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
  26. Miller, W. P. and Miller, D. M. (1987) A micro-pipette method for soil mechanical analysis, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18, 1-15.
  27. Kim, J. K. (1982) A study on the dissolution rate fo the siliceous materials from Korea, MS Thesis, Korea University, Seoul, Korea.
  28. Baek, N. I. (1983) The interaction between silicate and phosphate fertilizers applied in the paddy soils, MS Thesis, Seoul National University, Suwon, Korea.
  29. Kim, C. B., Park, N. K., Lee, S. H., Park, S. D. and Choi, B. S. (1994) Changes in barley yield and some physico-chemical properties of upland soil by long-term application of silicate fertilizer and compost, *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 27, 195-200.
  30. Mott, C. J. B. (1981) Anion and ligand exchange, p. 179-220. In D. J. Greenland and M. H. Haynes (ed.) *The chemistry of soil processes*, Wiley, New York, NY, USA.
  31. Hignston, F. J. and Raupach, M. (1967) The reaction between monosilicic acid and aluminum hydroxide. I. Kinetics of adsorption of silicic acid by aluminum hydroxide, *Aust. J. Soil Res.* 5, 295-309.
  32. Park, C. S. (1970) Studies on the relation between available silica content and effect of silicate distribution pattern of available silica content and requirement in Korean paddy top soil, *Res. Rept. RDA. (Plant & Environment)* 13, 1-30.