

논토양에서 규산질비료 시용이 토양 환경에 미치는 영향

주진호* · 이승빈

강원대학교 바이오자원환경학과

Assessment of Silicate Fertilizers Application Affecting Soil Properties in Paddy Field

Jin Ho Joo* and Seung Been Lee

Department of Biological Environment, Kangwon National University, Gangwon-do 200-701, Korea

Application of silicate fertilizers is typically practiced with several year's interval to amend soil quality and improve rice productivity at the paddy field in Korea. Most of silicate fertilizers applied in Korea is slag-originated silicate fertilizer. Some water soluble silicate fertilizers are manufactured and commercially available. The objective of this study was to assess changes of soil chemical properties in paddy field by applying slag-originated silicate fertilizer and water soluble silicate fertilizer. Field experiment was conducted on a silt loam paddy soil, where four levels of each silicate fertilizer were applied in soil at the rate of 0, 1, 2, 4 times of the recommended levels. Application of slag-originated silicate fertilizer increased soil pH, while no significant pH increase occurred with the treatment of water soluble silicate fertilizers. Soil pH increased 0.4~0.5 with the 1 time of recommended level of slag-originated silicate fertilizer. Available SiO₂ contents also significantly increased with the treatment of slag-originated silicate fertilizer at 15 and 35 days after treatment, while decreased after 60 days after treatment possibly due to rice uptake. Exchangeable Ca, Mg and available phosphate contents in soil increased with application of slag-originated silicate fertilizer, while a little increases for them were shown with the application of soluble silicate fertilizer. SiO₂/N ratios in rice straw for 1 time of recommended level of slag-originated silicate fertilizer was 11.5, while that of control was 8.4, which was much lower value. Throughout this study, soil application of slag-originated silicate fertilizer enhanced soil chemical properties, while water soluble silicate fertilizer application in soil needs further study resulting in a little effects on soil property.

Key words: Slag, Silicate fertilizer, Paddy soil, Water soluble silicate fertilizer

서 언

규소는 기초 광물을 형성하는 요소로서 지각이나 토양을 구성하는 화학성분 중 산소에 이어 28%를 차지하는 성분이다. 자연적으로는 항상 다른 원소와 결합되어 있으며 특히 산소나 다른 금속물질과 많이 결합되어 있다.

벼 뿌리를 통하여 흡수된 규산은 벼의 생육에 필수원소는 아니지만 여러 가지 장점이 인정되기 때문에 필수성이 인정되고 있다 (Kim et al., 1985; Takahashi et al., 1990; Yoshida et al., 1959). Kang and Stutte (1982)는 논 토양에 대한 규산의 시용효과로 벼 식물체 조직내의 가용태 질소 등의 양분균형 조절에 의한 수량 증대 효과를 보고하였

으며, Kim et al. (1986, 2002a, 2002b)은 벼 식물체 규산함량이 높은 벼는 잎을 직립시켜 수광상태를 좋게 함으로써 광합성 증가에 따른 등숙률의 향상 등 규산질 비료의 효과에 대한 연구 결과들을 보고하였다. Lee et al. (2005)은 규산질 비료 시용을 통한 질소의 흡수 이용율을 증진하여 질소시비량을 저감할 수 있다 하였다. 즉, 규산질 비료 처리 없이 얻을 수 있는 최고 정조수량을 얻기 위해 필요한 질소시비량인 154 kg ha⁻¹을 규산질 비료 추천량 시비로 인해 76 kg ha⁻¹의 질소 시비량이 가능하다고 하였다.

1990년대 한국의 논토양은 평균 pH가 5.6, 유효규산 함량이 72 mg kg⁻¹로서 논토양의 최적 pH인 6.0-6.5, 최적 유효규산 함량이 130-180 mg kg⁻¹보다 낮은 수준이라고 보고하였다 (RDA, 1999). 우리나라 논토양의 평균 유효규산 함량은 정부의 지속적인 규산질 비료의 공급으로 2003년에는 118 mg kg⁻¹로 증가하였다 (Jung et al., 2003). 토양 개량 효과를 통하여 적정수량을 확보할 수 있는 토양의 유효

접수 : 2011. 11. 8 수리 : 2011. 12. 13

*연락처 : Phone: +82332506448

E-mail: jhjoo@kangwon.ac.kr

규산 함량은 한국의 논 토양이 130 mg kg⁻¹, 미국과 중국에서는 180 mg kg⁻¹이 각각 요구된다고 하였다 (Kang, 2001).

Park (1970)은 유효규산 함량이 130 mg kg⁻¹ 미만의 논에 규산시용 효과를 인정하면서 시비적량 추천식 ($Y = (130 - \text{토양 중 유효규산함량}) \times 3.8$)을 제안하였다.

규산질 비료는 1970년대 후반부터 천연규회석에서 광재를 원료로 제조한 규산질 비료로 교체되기 시작하였으며, 현재에는 입상, 분상과 사상의 규산질비료가 공급되고 있다. 천연규회석과 규산질비료는 생성 및 제조과정이 상이하여 규산의 존재형태와 유효성분의 함량이 다른 것으로 보고되고 있다 (Lim et al., 1981; Yoon, 1970).

벼를 포함한 각종 작물의 생육에 규산 성분이 필수적이라는 사실은 1920년대 미국 캘리포니아대학에서 처음 발견했으나 (Sommer, 1926) 국내에는 1957년에서야 규산질 비료가 공급되기 시작했다. 규산질비료는 과거 천연규회석을 채광, 분쇄한 규회석분말과 제철과정에서 생기는 제철고로 슬래그를 이용한 규산질 비료가 있으나 천연 규회석 분말비료는 자원고갈로 80년대 후반부터 공급이 중단됐다. 규산질 비료는 최근 사용자인 농민에게 운반 및 시비 측면에서 많은 부담을 주어 최근에는 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료 등이 개발되어 시판되고 있으나 수용성 규산염에 대한 연구 결과는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 농가에서 사용하고 있는 슬래그를 이용한 규산질 비료와 수용성 규산염을 원료로 한 규산질

비료의 시용 시 논토양의 토양화학성 변화와 작물 영양 성분을 평가하고자 본 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험토양의 특성 논토양에서 벼에 대한 규산질 비료의 시용 시 토양 환경 변화를 보기 위하여 강원대학교 부속 농장 (강원도 춘천시 신북읍 천전리)을 선정하였다. 토양에 대한 시험 전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 Table 1과 같으며 토양의 유효규산 함량은 94 mg kg⁻¹으로 우리나라 적정 유효규산 함량 평균 130~180 mg kg⁻¹에 비해 부족하였다.

벼 재배 및 시비 조건 벼품종은 오대벼를 공시 작물로 하여 2011년 5월 14일에 재식거리 30 cm × 15 cm 간격으로 기계이앙 하였다. 본 실험에 사용한 3요소는 토양검정에 의거 ha당 성분량으로 무처리를 제외한 모든 처리구에 동일량을 처리하였고 사용한 3 요소는 N-P₂O₅-K₂O: 110, 350, 35 kg ha⁻¹로서 N은 요소비료, P는 구용성인산 17%의 용과린, K는 분자식 K₂O, 성분 60%의 염화가리를 사용하였다.

규산질 비료의 처리 규산질비료는 시용에 따른 토양 이화학성 변화와 식물체 함량 변화를 목적으로, 슬래그를 이용한 규산질비료와 수용성 규산질비료를 ha당 성분량으

Table 1. Chemical properties of soil used for the experiment.

Texture	pH	EC	Organic matter	Avail. P ₂ O ₅	Avail. SiO ₂	Exch. Cation		
						Mg	K	Ca
Silt loam	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	-----	-----	-----
	5.56	0.36	18.3	151	94	0.53	0.71	2.65

Table 2. Chemical compositions of two silicate fertilizers used for the experiment.

Silicate type	CaO	MgO	0.5N HCl soluble SiO ₂
	----- % -----		
Slag silicate fertilizer	50	7	25
Soluble silicate fertilizer	-	-	22

Table 3. Application rates of two different types of silicate fertilizers in the paddy soil.

Silicate type	Treatment	Application rate	
		Silicate fertilizer	N-P-K fertilizer
		----- kg ha ⁻¹ -----	
Slag (granule)	Control	-	-
	N-P-K	-	110-350-35
	100%	2,000	110-350-35
	200%	4,000	110-350-35
	400%	8,000	110-350-35
Soluble (granule)	100%	60	110-350-35
	200%	120	110-350-35
	400%	240	110-350-35

로 처리구에 난괴법 3반복을 하여, 처리 구당 3.6 m × 3.6 m 으로 각각 100%, 200%, 400% 비율로 시비하였다 (Table 3).

토양 이화학적 분석 및 유효규산 함량 분석 본 실험은 2011년 5월 14일부터 2011년 9월 23일 수확까지 총 130일 동안 벼 재배를 하였다. 토양채취는 15, 35, 60, 130일로 총 4번 수행하였다. 토양 pH는 1:5법 (토양 : H₂O) 현탁액 상태로 pH meter (Mettler-toledo CH/SevenEasy S30K)를 사용하여 측정하였고, EC는 pH 측정 30분 경과 후 EC meter (Mettler-toledo CH/SevenEasy S30K)를 이용하여 측정하였다. 토성은 Micropipette 법으로 입경분포를 조사하여 미국농무성 (USDA)의 분류체계에 따라서 결정하였고 (Miller et al., 1987), 유기물 함량은 Walkley-Black 법을 이용하여 측정하였으며 (Nelson, 1982), 유효인산 함량은 Bray No. 1 법으로 하여 ammonium molybdate를 발색시켜 파장 660 nm에서 UV/VIS spectrophotometer로 비색측정 하였다 (Olsen et al., 1982). 유효규산 함량은 1N NaOAc (pH 4.0) 완충용액에 의한 방법을 이용하여 파장 700 nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다 (Hallmark et al., 1982).

식물체 분석 식물체 양분함량을 조사하기 위하여 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법에 따라 조규산 (중량법) 외 실험을 진행하였으며 (RDA, 2000), 수확기에 각 실험구에서 평균 생육을 보이는 작물을 무작위로 9포기 채취한 후, 다시 무작위 3포기를 선정하여 60°C 건조기로 72시간 건조 후, 식물체 분쇄기 (SMX-8000)로 분쇄하여 2 mm 체를 통과한 시료를 조제하였다.

(1) SiO₂ 조규산 (중량법)

H₂O₂-H₂SO₄ 분해법을 이용하였으며, 조제 시료 2 g을 평량하여 분해용 Kjeldahl flask에 넣고 sulfuric acid 20 mL를 첨가하여, Kjeldahl digester로 300°C에서 용액이 무색이 될 때까지 20분 간격으로 H₂O₂ 3 mL를 첨가하여 분해한 후 No. 42 여과지로 여과한 뒤 여지상에 남아 있는 잔사를 hood내에서 열판에 1차 탄화시킨 후 crucible에 담아 600°C 회화로에서 2시간 정도 태워 평량하였다.

(2) T-N

H₂O₂-H₂SO₄ 분해법으로 습식분해 한 분해액을 증류수로 희석하여 No. 42로 여과 후 100 mL로 표선하여 분해액 25 mL를 digestion tube에 넣어 자동질소분석기 (2300 Kjeltac Analyzer Unit)를 이용하여 질소를 수기에 포집하였다.

(3) P₂O₅

H₂O₂-H₂SO₄ 분해법으로 습식 분해한 분해액 25 mL에 ammonium molybdate·ascorbic acid 혼액을 2 mL를 취하고

10분간 방치 후 파장 880 nm에서 UV/VIS spectrophotometer로 측정하였다.

(4) K, Ca, Mg

H₂O₂-H₂SO₄ 분해법으로 습식분해 한 분해액을 증류수로 희석한 후 AAS (Atomic Absorption Spectrometer)로 측정하였다.

결과 및 고찰

벼 생육 시기별 토양 pH의 변화 시험 전 토양 pH는 5.56으로 약산성을 보인 시험 포장에 슬래그를 이용한 규산질 비료 (3, 6, 12 Mg ha⁻¹)와 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료 (60, 120, 240 kg ha⁻¹)를 처리 (Table 3) 후 토양 pH의 경시적 변화를 Fig. 1에 나타냈다. 슬래그를 이용한 규산질 비료의 시비량이 증가할수록 토양 pH는 증가한 것으로 나타났으며, 관행 시비구에 비하여 슬래그를 이용한 규산질 비료 100% 처리 시 약 0.4~0.5의 pH 상승을 보였다.

슬래그를 이용한 규산질 비료는 규산질 비료에 함유된 Ca²⁺와 Mg²⁺와 같은 염기성 양이온이 토양 용액내로 용해되고 또한 규산염이 일부 토양용액에서 가수분해되어 pH가 상승된 것으로 판단된다. 본 시험에 사용된 슬래그를 이용한 규산질 비료의 알칼리도는 50%로 분석되었다 (Table 2). 슬래그를 이용한 규산질 비료로서 공급되는 규산은 주로 양이온과 짝을 이루고 있으며 CaSiO₃, Ca₂SiO₄, MgSiO₃, Mg₂SiO₄, K₂SiO₃, MgCa(SiO₃)₂와 같은 규산염 형태로 구성되어 있으며 규산유효화율이 가장 높은 CaSiO₃가 가장 경제적인 소재이다.

담수토양의 pH는 슬래그를 이용한 규산질 비료의 경우 유의성 있게 증가하였는데 이는 Ca²⁺와 같은 염기성 양이온

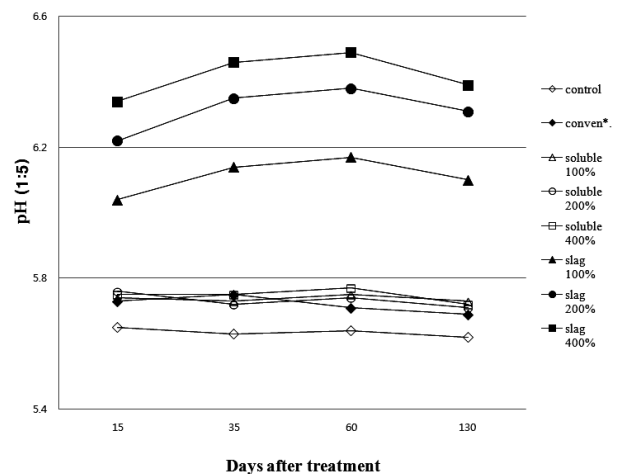
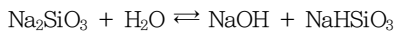


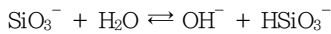
Fig. 1. Changes of pH content in soil depending on treatments of silicate fertilizers with four application rates.

이 토양 용액내로 방출된 것으로 기인된 것이라고 하였다 (Lee et al., 2005). 슬래그를 이용한 규산질 비료의 시비량이 증가할수록 토양 pH는 증가한 것으로 나타났다. 하지만 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 경우에는 토양 pH의 증가가 유의성있게 나타나지 않았는데 이는 수용성 규산염 (예: $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, K_2SiO_3)의 처리 농도가 낮고 가수분해율이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 규산나트륨은 알칼리성 화합물이므로 $4 \sim 24 \text{ mg SiO}_2 \text{ L}^{-1}$ 의 농도로 물에 처리할 경우 pH 상승은 약 0.1~2.0 정도 또는 그 이상 상승한다고 하였다 (Kim, 2011).

규산나트륨이 토양 용액에서 가수분해되는 식은 다음과 같이 쓸 수 있다 (Kim, 2011).



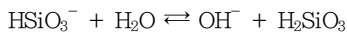
또는 이온식으로는



일부 2규산염으로 존재하는 경우에는 다음과 같이 가수분해되어 알칼리성 반응을 나타내어 토양 용액의 pH를 상승시킬 있다.



또는 이온식으로는



하지만 Na_2SiO_3 의 가수분해는 0.01N Na_2SiO_3 수용액에서 약 30%에 지나지 않으며, 또한 2규산나트륨 (Na_2SiO_3)의 가수분해는 0.01N 용액에서는 약 1.5%에 그치는 것으로 보고되었다.

Cho et al. (2004)은 규산질 비료는 토양 산성 개량 효과도 일부 가지고 있으므로, 규산질 비료를 규산 공급 목적으로 토양에 시용할 경우 산성 개량 효과도 평가해야 할 필요가 있다 하였다. 규산질 비료의 처리 양에 비례하여 토양 pH가 증가하였으며, 토양의 완충능에 따라 pH 증가 폭은 차이가 있다고 하였다. Kim (2008)은 슬래그를 이용한 규산질 비료를 처리한 후 벼 생육시기별 토양 pH의 변화를 보았는데 시험 전 토양 pH가 5.2였던 시험 포장에 분얼기에는 6.1, 유수분화기에는 5.8까지 증가하였다고 보고하였다.

벼 생육 시기별 토양 유효규산 함량의 변화 벼 재배 논토양에서 슬래그를 이용한 규산질 비료와 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료를 처리한 후 토양 중의 유효규산 함량 변화를 조사하여 Fig. 2에 나타내었다. 슬래그를 이용한 규산질 비료를 처리한 구의 토양 유효규산 함량은 처

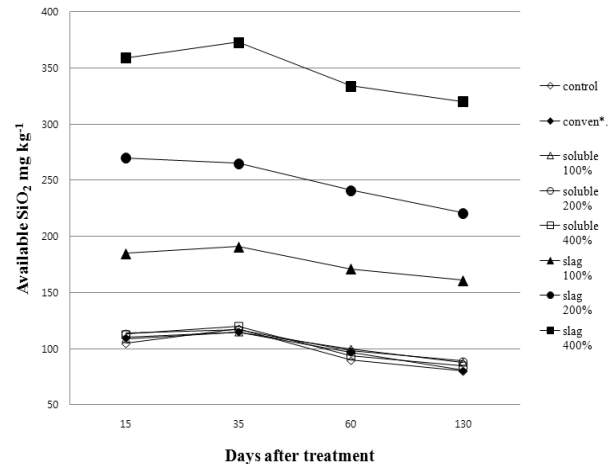


Fig. 2. Changes of available SiO₂ depending on treatments of silicate fertilizers with several application rates.

리 후 15일과 35일까지는 슬래그를 이용한 모든 규산질 비료 처리구에서 증가하였다. 하지만 처리 60일 후부터는 유효규산 함량이 다소 감소하는 것으로 나타났다. 규산질 비료 처리 수준에 따른 토양 중 유효규산 함량의 경시적 변화를 보면 슬래그를 이용한 규산질 비료 권장 시비량의 4배 처리 구에서 벼의 전 생육 기간을 통하여 가장 높은 유효규산 함량을 보였다. Cho et al. (2004)은 토양에 처리된 슬래그를 이용한 규산질 비료는 처리 후 5일 이내에 최대로 가용화되며 40일 이후에는 안정한 수준에서 평형을 유지한다고 하였으며, 가용화된 규산은 식물에 의한 흡수나 용탈 등으로 토양에서 제거되지 않는 이상 상당기간 초기에 가용화된 수준을 유지한다고 보고하였다. Cho et al. (2004)의 연구 결과는 작물을 재배하지 않은 상태에서 실험한 연구 결과이므로 본 연구 결과에서 처리 후 60일부터 유효규산 함량이 감소한 이유는 벼 흡수에 기인한 것으로 판단된다. 또한 $1,000 \sim 3,000 \text{ kg ha}^{-1}$ 수준의 슬래그를 이용한 규산질 비료의 처리 범위 내에서 처리 수준과 토양 유효규산 함량과는 직선적인 상관관계를 보여 처리 수준에 관계없이 규산질 비료의 유효화는 일정하게 일어난다고 보고하였다 (Cho et al., 2004).

공시 토양의 유효규산 함량에 비하여 답수 후 15일과 35일 경과 후에 규산의 함량이 무시용구에서도 높게 나타났는데 이는 Jung et al. (1985)과 Ponnamperna (1973)의 보고와 같이 수산화 철과 결합되어 있던 Si가 Fe^{3+} 에서 Fe^{2+} 로 환원되기 때문에 토양 내 유효규산 함량이 증가된 것으로 판단된다. 이는 Kim (2008)의 연구 결과에서도 유사한 경향을 보여 주었는데 규산질 비료를 사용하지 않은 대조 구 및 무질소 구에서 답수 후 토양 환원의 영향으로 분얼기의 경우 시험 전 토양에 비해 증가하였다고 하였다.

수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 경우에는 토양 유효규산 함량의 증가가 대조구와 비교하여 볼 때 매우

적게 나타났는데 이는 수용성 규산염의 처리 수준이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 본 실험에 사용된 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 경우 수용성 붕소와 수용성 몰리브덴을 각각 0.05%, 0.0005% 함유한 규산질 비료로서 이들이 작물 생육에 미치는 영향 등에 대해서는 보다 연구가 필요하다고 판단된다. 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 처리수준이 증가함에 따라 토양 유효규산 함량이 증가하기는 하나 벼의 흡수에 필요한 유효규산 함량에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. Song et al. (2007)의 결과에 따르면 보통답에서 규산질 비료를 130 mg kg⁻¹으로 조절 시 유효규산의 함량이 매년 약 12 mg kg⁻¹씩 감소한다고 하였다. 감소되는 대부분이 벼의 흡수에 기인한 것이라고 본다. 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료를 시비한 경우에는 벼의 흡수량에 필요한 유효규산 함량을 제공하지 못한다고 볼 수 있다. 따라서 본 시험을 통한 수용성 규산질 비료가 pH와 유효규산 함량에 미치는 결과로 볼 때 수용성 규산질 비료는 토양 시비가 아닌 엽면 시비를 하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 예를 들면 수용성 규산칼륨의 경우 식물체 내 Si와 K의 공급원으로서 엽면시비용으로 액상분무를 한다면 토양 시비량보다 적은 양으로 작물 성장과 병충해 방지에 기여할 수 있으리라 본다 (Kim, 2011).

규산질 비료 처리에 따른 토양 특성의 변화 규산질 비료 처리 130일 후의 토양 특성의 변화를 Table 4에 나타

냈다. 슬래그를 이용한 규산질 비료 처리구에서는 처리량에 관계없이 무처리 구에 비해 치환성 칼슘 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 규산질 비료 처리량이 증가할수록 증가하였다. 이와 같은 규산질 비료 처리에 따른 치환성 칼슘 함량의 변화는 규산질 비료에 포함된 알칼리분 (CaO 50%)의 영향으로 판단되며, 토양 pH의 상승과도 연관이 있으리라 본다. 그러나 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 처리 구에서는 치환성 칼슘 함량 증가가 나타나지 않았다. 이는 수용성 규산질 비료 자체에 함유되어 있는 치환성 칼슘 함량이 없기 때문으로 사료된다.

토양유효 인산 함량은 슬래그를 이용한 규산질 비료 처리구에서 증가하는 것으로 나타났으며, 처리량이 증가함에 따라 증가한 것으로 나타났으나 표준 시비량의 4배 처리구에서의 유효 인산 함량은 비례적으로 증가하지는 않았다. 이는 Lee et al. (2005)의 연구 결과와 유사한 경향을 보여 주고 있다. Lim et al. (1983)은 규산과 인산은 화학적 성질이 유사하여 길항적으로 작용한다고 하였다. 즉, 철이나 치환성 알루미늄의 활성 부위를 어느 한 성분이 점유함으로써 다른 성분이 이에 의해 고정되는 것을 억제하여 가급적을 촉진시키는 상호적인 효과가 있다 하였다.

수확 후 볏짚의 화학적 성분 규산질 비료를 처리한 시험 포장에서 수확 후 볏짚의 무기 양분 농도를 조사한 결과를 Table 5에 나타내었다. 슬래그를 이용한 규산질 비료

Table 4. Chemical properties of paddy soils after 130.

Silicate type	Treatment	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Avail. SiO ₂	Exch. Cation		
							Mg	K	Ca
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		
	control	5.62a	0.66	15.86	152	80a	0.56	0.70	2.65
	N-P-K	5.69b	0.73	18.22	170	81a	0.62	0.76	2.83
Slag (granule)	100%	6.10c	0.81	21.11	198	161c	0.85	0.79	3.31
	200%	6.31d	0.84	23.03	220	221d	0.98	0.80	3.48
	400%	6.39d	0.86	22.57	228	320e	1.05	0.83	3.94
Soluble (granule)	100%	5.73b	0.82	20.21	171	88ab	0.63	0.79	2.85
	200%	5.71b	0.81	24.56	179	89b	0.64	0.78	2.88
	400%	5.72b	0.88	25.14	181	85ab	0.66	0.78	2.90

days after silicate fertilizer treatments.

Table 5. Nutrient contents of rice straw after harvesting.

Silicate type	Treatment	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂
	control	8.7	4.6	19.6	4.7	1.11	73
	N-P-K	8.6	4.9	22.1	4.8	1.24	76
Slag (granule)	100%	8.6	4.6	19.3	4.6	1.35	99
	200%	8.5	4.6	19.5	4.6	1.36	105
	400%	8.3	4.7	19.4	4.4	1.33	111
Soluble (granule)	100%	8.6	4.8	20.1	4.7	1.25	77
	200%	8.5	4.7	20.6	4.9	1.26	76
	400%	8.6	4.6	20.7	4.8	1.26	78

처리구에서의 벚짚의 규산 함량은 무처리구에 비해 모두 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 규산질 비료를 처리함에 따라 규질비 (SiO_2/N)가 증가하였다. 이러한 규산질 비료 시용에 의한 규질비의 증가는 특히 벼에서 주로 발생하는 목도열병 예방 효과에 기여했으리라 본다. Kim et al. (2002a)은 벚짚 중 K_2O , CaO , MgO 등 양이온의 흡수량이 다른 성분보다 수량에 높은 유의한 정의 상관관계가 있으며, 벚짚 중 MgO/N , $Mg/N \cdot K_2O$, SiO_2 , SiO_2/P_2O_5 비는 정의 유의한 상관관계가 있으며, 이러한 성분들이 쌀 품질의 예비 판정 기준으로 사용될 수 있다 하였다. 수용성 규산질 비료를 처리한 구에서의 벚짚의 규산함량은 무처리구에 비해 유의하게 증가하지 않는 것으로 조사되었으며, 이는 시비되는 규산질 비료의 처리량이 규산함량에 미치지 못하는 것이기 때문인 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 논 토양에서 규산질 비료의 성상이 다른 두 종의 규산질 비료의 토양 시비를 통한 토양의 화학적 특성 변화와 벼의 화학적 영양 성분을 평가하고자 수행하였다. 강원도 춘천시 소재 논 토양에서 두 종 (슬래그를 이용한 입상 규산질 비료와 수용성 입상 규산질 비료)의 규산 처리 수준에 따른 토양환경 변화를 보기 위해 무처리와 관행시비, 처리 기준의 0, 1, 2, 4배 처리 후 토양 화학적 변화를 고찰하였다. 슬래그를 이용한 규산질 비료의 처리 시 토양 pH는 시험 전 토양 pH에 비하여 상승하였으나 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 처리 시에는 pH의 변화가 나타나지 않았는데 이는 수용성 규산염의 처리 양이 적고 가수분해율이 적기 때문인 것으로 판단된다. 슬래그를 이용한 규산질 비료를 처리한 구의 토양 유효규산 함량은 15일과 35일까지는 슬래그를 이용한 모든 규산질 비료 처리 구에서 증가하였다. 하지만 처리 60일 후부터는 유효규산 함량이 감소하는 것으로 나타났으나 수용성 규산염을 원료로 한 규산질 비료의 경우에는 토양 유효규산 함량의 증가가 대조구와 비교하여 볼 때 매우 적게 증가한 것으로 나타났다. 슬래그를 이용한 규산질 비료 처리구에서는 처리량에 관계없이 무처리 구에 비해 치환성 칼슘과 유효 인산 함량이 증가하는 것으로 나타났으나 최고 수준 (4배)의 처리구에서의 유효 인산 함량은 비례적으로 증가하지는 않았다. 슬래그를 이용한 규산질 비료 처리구에서의 벚짚의 규산 함량은 무처리구와 관행 처리구에 비해 모두 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 규산질 비료를 처리함에 따라 규질비 (SiO_2/N)가 증가하였다. 관행 처리구와 슬래그를 이용한 규산질 비료 100% 처리시의 규질비는 각각 8.4와 11.5로 나타났다. 본 실험의 연구 결과를 통하여 슬래그를 이용한 규산질 비료의 토양

시비는 토양의 화학적 성질 개선 및 수도 생육을 위해 바람직하나 수용성 규산질 비료의 경우에는 엽면 시비를 통한 액상 분무 등을 통하여 시비를 하는 것이 바람직하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ0076702011)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

Cho, H.J., H.Y. Choi, Y.W. Lee, Y.J. Lee, and J.B. Chung. 2004. Availability of silicate fertilizer and its effect on soil pH in upland soil. *Korean J. Environ. Agri.* 23(2):104-110.

Hallmark, C.T., L.P. Wilding, and N.E. Smeck. 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.

Jung, B.G., G.B. Jung, J.H. Yoon., H.J. Jun., K.R. Cho., S.J. Lim, and Y.H. Lee. 2003. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. National Institute of Agricultural Science and Technology. 14-55.

Jung, K.Y., S.J. Cho, and J.J. Kim. 1985. Effects of rice straw and wollastonite application on the growth and yield of rice plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 18(2):148-155.

Kang, Y.K. and C.A. Stutte. 1982. Silicon influence on growth and some physiological activities of rice. *Res. Rept. ORD(C)* 24:1-17.

Kang, Y.S. 2001. Workshop on silicate fertilizer use and development. proceeding of *Korean J. Soil Sci. Fert.* 23-35.

Kim, C.B., D.H. Lee, and J. Choi. 2002a. Effects of soil improvement on the dependence of rice nutrient contents and grain quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(5):296-305.

Kim, C.B. and J. Choi. 2002b. Changes in rice yield, nutrient's use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(5):280-289.

Kim, C.B., N.K. Park., S.D. Park., D.U. Choi., S.G. Son, and J. Choi. 1986. Changes in rice yield and soil physico-chemical properties as affected by annual application of silicate fertilizer to the paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 19(2):123-131.

Kim, C.B., S.H. Kim, N.K. Park, S.D. Park. and D.U. Choi. 1985. Effects of application of slag as silicate material on rice yield in normal paddy soil. *Res. Rept. ORD.* 27(1): 41-40.

Kim, J.Y. 2011. Manufacturing and applications of soluble silicates. p 45-62, p 339-345. Hallyim publisher. Korea.

Kim, S.B. 2008. Effect of silicon fertilizer application on the

- paddy rice and soil physiochemical properties. Chonnam National University. Ph.D. thesis.
- Lee, C.H., M.S. Yang, K.W. Chang, Y.B. Lee, K.Y. Chung, and P.J. Kim. 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice (*Oryza sativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):194-201.
- Lim, S.K., J.S. Shin, and Y.S. Park. 1981. Study on increase of slag utilization. Research report of National Institute of Agricultural Science and Technology. 9-36.
- Lim, S.U. and N.I. Baek. 1983. Interaction between silicate and phosphate fertilizers applied in paddy soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 16(4):325-332.
- Miller, W.P. and D.M. Miller. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:1-15.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 539-579. In A. L. Page et al. (ed.) *Method of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 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.
- Park, C.S. 1970. Studies on the relation between available silica content and the effect of silicate, the distribution pattern of available silica content and requirement in Korea paddy top soil. *RDA, J. Agri. Sci.* 13:1-29.
- Ponnamperuma, F.N. 1973. The chemistry of submergence soils. *Advance in Agronomy.* 24:29-88.
- RDA. 1999. Fertilization standard of crop plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2000. Methods for soil and plant analysis. pp 135-142. RDA, Suwon, Korea.
- Sommer, A. H. 1926. Studies concerning the essential nature of aluminum and silicon for plant growth. *Univ. California Publ. Agri. Sci.* 5:57.
- Song Y.S., H.H. Jun, B.G. Jung., W.K. Park., K.S. Lee., H.K. Kwak., J.H. Yoon., C.S. Lee., B.Y. Yeon., P.J. Kim, and Y.S. Yoon. 2007. Determination of optimum rate and interval of silicate fertilizer application for rice cultivation in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):354-363.
- Takahashi, E.J., F. Ma, and Y. Miyake. 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments Agric. Food Chemistry.* 2:99-102.
- Yoon, S.K. 1970. Effect of silicate fertilizer resources. Research report of National Institute of Agricultural Sciences. 216-232.
- Yoshida, S.Y., Y. Ohnishi, and K. Sitagishi. 1959. Role of silicon in rice nutrition. *Soil & Plant Food.* 5:23.