

# 수용성 규산질 비료의 시용에 의한 벼 줄기 강도 강화와 수량에 대한 효과

이승빈 · 주진호 · 신중두<sup>1</sup> · 김창균<sup>2</sup> · 정영상\*

강원대학교, <sup>1</sup>국립농업과학원, <sup>2</sup>누보

## Effect of Water Soluble Silicate Fertilizers on Stem Strength and Yield of Paddy Rice

Seung Been Lee, Jin Ho Joo, Jung Do Shin<sup>1</sup>, Chang Gyun Kim<sup>2</sup>, and Yeong Sang Jung\*

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

<sup>1</sup>Climate Change & Agro-Ecology Division, NAAS, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>Nousbo Co., Ltd, SNU Bio venture Valley, Suwon 103-2, Korea

A field experiment was conducted to evaluate effect of water soluble silicate fertilizer (WSS) application on rice plants with respect to comparing with powdery slag-originated silicate fertilizer (PSS) and granular one (GSS). The 30-day seedlings were transplanted on May 10, 2012. The plot size was 25 m<sup>2</sup>, and the planting density was 15 hills m<sup>-2</sup>. The standard application level was 2 kg ha<sup>-1</sup> for WSS, 200 kg ha<sup>-1</sup> for GSS, 200 kg ha<sup>-1</sup> for PSS. The application rates were 50 %, 100 % and 200 % of the standard levels. The soil and plant samples were taken after harvest on September 10. Strength weight of the stem was measured on the center of the 5-cm of the fourth internode. Nutrient contents and yield of grains and were evaluated. The strength weight of the stem was positively correlated with the silicate content of the stem with the highly significant R<sup>2</sup> of 0.601. The strength of the stem was satisfactorily enforced by application of 50 % WSS and GSS, and 100 % PSS. Application of 50 % or 100 % of WSS showed little difference in rice yield in comparison with application of 100 % of PSS or GSS. Therefore, application of 20 kg ha<sup>-1</sup> of WSS would be recommendable for rice cultivation which enforced stem strength, and increased yield of rice.

**Key words:** Water soluble silicate fertilizer, Stem strength weight, Rice

### 서 언

규소는 우리나라에서 벼 재배에서 질소 다음으로 중요한 원소이다. 규소는 다른 영양 원소에 비해 상대적으로 많은 양이 식물에 흡수되며, 식물에 의해 흡수되는 규소는 H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, Si(OH)<sub>4</sub>의 형태이지만 규소를 흡수하는 정도는 식물의 따라 매우 다르게 나타난다. 벼와 같은 화본과 식물의 경우 규소가 일부 필수 원소로 인정되고 있는 추세인데, 벼의 경우 규소가 부족하면 성장이 완료된 앞에서 괴사 현상이나 위조 현상이 나타나고 수량이 크게 감소한다 (Lewin and Reimann, 1969). 식물의 잎이나 줄기의 피층 세포에 축적된 규소는 식물체의 물리적 강도를 높여 주어 직립이 가능하게 해주며, 밀, 보리의 밀식 재배되는 곡류 작물의 생육과 수량을 증가시키는 작용을 하고, 잎의 빛 흡수가 좋아져 광합성 효율이 높아지며 도복과 병해충의 예방에 도움을 주기 때문이다 (Parry and Smithson, 1964). 특히 질소 사용량이 많은 경우 병충해의 피해나 도복 현상이 심해지는데, 이 때 규소

를 사용하면 크게 효과를 볼 수 있다 (Idris et al., 1975). 벼에 대한 이러한 규산의 중요성 때문에 우리나라는 규산질 비료에 대한 연구가 1960년대 후반부터 이루어져 왔고, 해마다 규산질 비료의 사용이 확대되어 왔다 (KFIA, 2012). 최근에는 발작물에서도 규산질 비료가 사용되고 있다 (Joo and Lee, 2011).

이제까지의 규산질 비료는 주로 광재 부산물을 원료로 한 광재 규산질 비료를 비롯하여, 규회석, 규인, 규인칼륨 등이 사용되어 왔다 (KFIA, 2012). 그러나, 광재 규산질 비료 등은 현장에서 시용의 불편함 때문에 일부 농가에서 회피하는 경우가 많다. 이 연구에서는 수용성 규산질 비료의 시용시 작물에 흡수되는 규산 함량과 벼 수량에 대한 영향을 기존의 광재 규산질 비료와 비교하기 위하여 포장 시험한 결과의 일부이다.

### 재료 및 방법

**시험 처리구** 논토양에서 벼에 대한 규산질 비료의 시용 시 작물의 흡수 변화 및 함량을 보기 위하여 강원대학교 부속농장 (강원도 춘천시 신북읍 천전리)에서 포장시험을

접수 : 2012. 11. 29 수리 : 2012. 12. 7

\*연락처 : Phone: +82332506444

E-mail: soilskorea@hanmail.net

수행하였다. 품종은 오대벼 30일 묘를 공시 작물로 하여 2012년 5월 10일에 정식하였다. 구의 면적은 25 m<sup>2</sup>, 재식 밀도는 15주 m<sup>-2</sup>이었다.

**규산질 비료의 처리** 시험 처리에 앞서 정식 5일전 3 요소 토양 검정에 의거 ha 당 성분량으로 무처리를 제외한 모든 처리구에 비료를 동일량 처리하였고 사용한 비료 3요소는 N은 분자식 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 성분 46 %의 요소 비료 (150 kg ha<sup>-1</sup>), P는 구용성 인산 17 %의 용과린 (440 kg ha<sup>-1</sup>), K는 분자식 K<sub>2</sub>O, 성분 60 %의 염화가리 (21.7 kg ha<sup>-1</sup>)를 사용하였다. 규산질 비료는 사용에 따른 식물체 함량 변화를 목적으로, 입상 광재 규산질 비료와 분상 규산질 비료, 수용성 규산질 비료를 ha당 성분량으로 처리구에 난괴법 3반복을 하여, 구의 면적 25m<sup>2</sup>, 재식 밀도는 15주 m<sup>-2</sup> 이었다. 처리한 규산질 비료의 양은 입상 2,000 kg ha<sup>-1</sup>, 분상 60 kg ha<sup>-1</sup>, 수용성 20 kg ha<sup>-1</sup> 표준으로 50 %, 100 %, 200 %로 각각 시비하여 재배 후 수확하여 분석하였다 (Table 1).

**수량 조사 및 식물체 분석** 본 시험은 2012년 5월 10일부터 2012년 9월 5일 수확까지 총 120일 동안 벼 재배를 하였다. 시료 채취는 수확일에 실시하였으며 수량조사 방법은 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 따라 실시하였다. (NIAST, 1995). 수량조사는 현장에서 초장, 간장, 수장을 측정하였으며, 처리구별 1 m<sup>2</sup> 안에서 무작위 9 포기를 선정하여 수행하였다. 줄기 강도 측정은 4 번째 마디와 5 번째 마디의 절간 5-cm를 기준으로 선정하여, 한쪽을 고정 후 중심에 추를 달아 줄기의 꺾임 중량을 측정하였다. 식물체 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법에 의거, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 분해법을 사용하였다. 조제 시료 2 g을 평량하여 분해용 Kjeldahl flask에 넣고 sulfuric acid 20 mL을 첨가하여 Kjeldahl digester로 300°C에서 용액이 무색이 될 때까지 20분 간격으로 hydrogen peroxide 3 mL을 첨가하여 분해한 후 No. 42 여과지로 여과한 뒤, 여액은 AAS (Atomic Absorption Spectrometer)로 측정하였다. 여지 상에 남아 있는 잔사를 Hood 내에서 열판에 1차 탄화시킨 후, crucible

**Table 1. Application rates of silicate fertilizers and chemical fertilizers in paddy field.**

Silicate Type	Treatment	Application rate	
		Silicate fertilizer	N-P-K fertilizer
		----- kg 10a <sup>-1</sup> -----	
	Not treatment	-	-
Granular slag	50%	100	15-44-21.7
	100%	200	15-44-21.7
	200%	400	15-44-21.7
Powdery slag	50%	3	15-44-21.7
	100%	6	15-44-21.7
	200%	12	15-44-21.7
Soluble tablet	50%	1	15-44-21.7
	100%	2	15-44-21.7
	200%	4	15-44-21.7

**Table 2. Nutrient contents of rice grain after harvesting.**

Silicate Type	Treatment	SiO <sub>2</sub> uptake	Contents			
			K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
		g m <sup>-2</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
	Not treated	6.84	11.3	4.3	1.89	12.7
Granularslag	50%	11.47	13.7	10.6	2.42	19.9
	100%	17.77	15.4	18.2	2.54	25.9
	200%	25.55	18.8	19.9	2.61	33.1
Powdery slag	50%	9.42	12.9	8.1	2.21	15.2
	100%	12.61	14.8	11.7	2.42	19.5
	200%	17.67	17.2	12.3	2.63	23.5
Soluble tablet	50%	13.01	14.5	10.7	2.26	20.1
	100%	15.78	19.1	11.4	2.47	23.4
	200%	22.40	21.2	15.1	2.64	27.4

에 담아 600°C 회화로에서 2시간 정도 태워 평량 하였다. K, Ca, Mg 분석은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 분해법으로 습식 분해한 분해액을 증류수로 희석한 후, Atomic Absorption Spectrometer (PerkinElmer/PinAAcle 900F)로 측정하였다.

## 결과 및 고찰

**벼짚과 정조의 규산 함량** 수용성 규산질 비료 (10, 20, 40 kg ha<sup>-1</sup>)를 광재 규산질 비료 (500, 1,000, 2,000 kg ha<sup>-1</sup>)와 분상 규산질 비료 (30, 60, 120 kg ha<sup>-1</sup>)와 대비하여 처리한 (Table 1) 후, 벼짚과 정조의 규산 함량을 분석한 결과 Table 3과 Table 4와 같이, 벼짚과 정조의 규산 농도는 무처리와 비교하여 규산질 비료를 시비한 처리구에서 규산 함량이 높았으며, 처리 수준이 높아질수록 증대하는 경향이

있으며, 이러한 경향은 모든 처리구에서 공통적으로 인정되었다. 하지만 벼짚보다 정조의 규산 함량이 높았다. Kim et al. (2002)은 식물체 규산 함량이 높은 벼는 잎을 직립으로 유도하여 식물체를 강화시켜 내도복성을 증진시키고 정조의 규산함량이 많을수록 수량증대도 크다고 하였다. Kim et al. (1986)은 규산함량이 정조보다 벼짚이 높게 되면 주당수 수, 벼짚수량 간에는 부의 유의성이 인정되어 곡실 생산량보다 벼짚 생산량이 많게 되어 쌀 생산에 부정적 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 또한 벼짚에 규산함량이 흡수가 되면 이는 규산질 비료를 처리함에 따라 또한 기존 분상 및 입상 광재 규산질 비료와 비교하였을 때 50 % 시비한 수용성 규산질 비료에서는 규산 함량과 칼륨에서 10 % 가량 증가하였는데, 이는 비용 절감과 노동력 절감에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

**Table 3. Nutrient contents of rice straw after harvesting.**

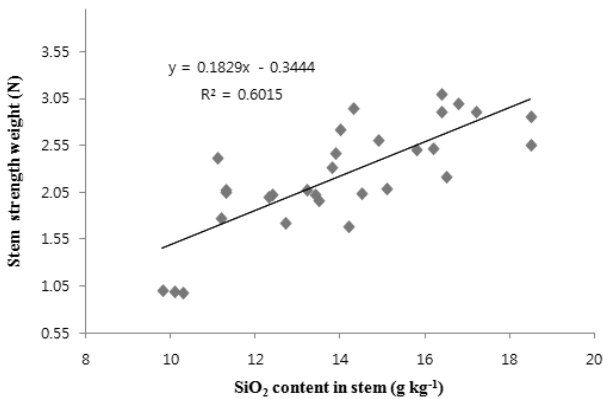
Silicate Type	Treatment	SiO <sub>2</sub> uptake g m <sup>-2</sup>	Contents			
			K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>
			g kg <sup>-1</sup>			
	Not treated	3.21	26.5	10.1	1.84	10.1
Granular slag	50%	7.21	36.3	14.0	2.41	12.4
	100%	9.69	36.1	18.6	2.84	13.2
	200%	13.55	48.3	24.0	3.18	16.4
Powdery slag	50%	6.12	28.0	13.2	2.55	12.7
	100%	7.76	38.9	14.6	2.79	13.4
	200%	11.62	41.9	16.5	3.56	16.2
Soluble tablet	50%	6.67	35.1	16.1	2.58	13.8
	100%	8.31	38.1	16.7	2.66	14.9
	200%	13.35	43.5	17.7	2.75	16.8

**Table 4. Rice culm strength and weight after harvest.**

Silicate Type	Treatment	Strength weight <sup>†</sup> (N)	Harvested weight		
			Rice straw	Grain yield	
			g	g	Index
			g m <sup>-2</sup>		
	Not treated	0.99	321.3a	538.8a	100
Granular slag	50%	2.02	581.2b	576.6a	107
	100%	2.07	734.0cd	686.2d	127
	200%	2.90	826.1f	771.8e	143
Powdery slag	50%	1.72	481.8a	618.1b	115
	100%	2.02	578.8b	646.5bc	120
	200%	2.51	699.0c	750.1e	139
Soluble tablet	50%	2.31	483.3a	647.5bc	120
	100%	2.61	557.3b	674.7cd	125
	200%	3.00	794.7ef	817.7f	152

<sup>†</sup>Stem strength weight of the fourth internode.

**벼 줄기의 강도와 규산 흡수량 관계** Fig. 1은 추를 이용하여 벼의 4 번째 마디와 5 번째 마디의 절간 꺾임 강도 무게와 벼의 규산 함량의 관계이다. 이를 보면 꺾임 강도 무게는 규산 함량과 고도의 유의성을 보이고 있어, 규산의 흡수가 벼 줄기 강도를 높이는 데 결정적으로 기여함을 알 수 있다. 이를 규산질 처리별로 보면 (Table 4), 무처리에 비해 규산질 비료를 사용한 세 종의 규산질 비료 모두 꺾임 강도가 높았으며, 그 중 수용성 규산질 비료를 사용한 처리구의 벼에서 강도가 가장 높은 것으로 나타났고, 벧질과 정조를 비교한 결과, 정조의 무게가 더 큰 것을 확인하였다. 이는 Kim, (2008)의 규산질 비료의 사용량이 많을수록 단위 면적당 이삭수도 함께 증가하여 수수와 정조의 양도 함께 증가한다는 보고와도 비슷하다. 또한 Jung et al. (1985)은 규산질 비료의 사용은 벼의 수광 태세를 개선하여 건물중을 증대시킴으로서 정조 수량이 증가하였다고 보고 하였다. 이로부터, 식물체내 규산 함량이 높을수록 식물체내 유효 규산의 영향으로 줄기의 강도가 강해져 도복 등 재해에 대한 저항성이 커지고, 수량 증가에도 영향을 미친 것으로 판단된다.



**Fig. 1. Relationship between stem strength and silicate content in rice stem.**

**규산 처리에 따른 벼의 수량** 2012년 9월 5일에 수확한 벼를 초장, 간장, 수장 별로 Table 5에 나타내었다. 무처리구에 비해 성장이 낮은 것을 알 수 있었다. Soil and Fertilizer (2001)에서는 일반적으로 규산질 비료는 작물의 생육환경을 개선하고 생리활성을 촉진시켜 증수에 기여한다고 하였다. 규산질 비료의 사용은 벼의 영양 생장 기간 동안에는 초장 생장을 일부 억제하고 잎의 직립을 유도한 뒤 분얼기 이후 정조 수량 증가로 인해 무처리구 보다 초장 길이가 낮은 것으로 판단된다. 적은 양으로 처리한 수용성 규산질 비료에서 강도가 월등히 높게 나왔는데 이는 수용성 규산질 비료가 수분과 만나 빠르게 토양에 흡수가 되어 벼 생장 촉진에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 시비한 규산질 비료 성분이 벼의 줄기보다 정조에서 함량이 높게 나타났다. 이를 정조 수확량을 지수로 환산하여 무처리에 비하여 규산질 비료 100 %를 시비한 구에서 광재 규산질 비료 사용구는 수량 지수 127, 분상 규산질 비료는 120, 그리고 수용성 규산질 비료는 125를 나타내어, 비종간의 차이는 거의 없었다. 이 경우, 처리량이 많은 입상 광재 규산질 비료보다 상대적으로 적은 양을 시비한 수용성 규산질 비료 역시 동등한 효과를 보인 것을 알 수 있었다. 이상의 시험 결과에 따르면, 수용성 비료의 사용량을 20 kg ha<sup>-1</sup> 처리로 추천할 수 있을 것으로 판단되었다.

**적 요**

수용성 규산질 비료가 벼의 생육과 수량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 포장 시험을 수행하였다. 기존의 입상 또는 분상 광재 부산물 규산질 비료와 대비하여, 처리 수준에 따른 규산의 벼 흡수 정도를 알아보았다. 시험 장소는 강원도 춘천시 천전리에 있는 강원대학교 부속농장이었다. 2012년 5월 10일에 오대벼 30일 모를 논 포장에 정식하였으며, 구의 면적은 25 m<sup>2</sup>, 재식 밀도는 15주 m<sup>-2</sup>이었다. 처리

**Table 5. Rice quality after harvest.**

Silicate Type	Treatment	Plant length	Culm length	Ear length
		cm		
Granular slag	Not treated	89.92a	23.41a	65.30a
	50%	79.61b	18.37b	60.13bc
	100%	83.84ab	18.99b	63.41ab
	200%	81.03b	18.14b	61.63bc
Powdery slag	50%	84.79ab	20.46ab	62.22abc
	100%	79.03b	19.18ab	59.86c
	200%	82.09ab	19.43ab	62.66abc
	50%	80.67b	18.44b	61.01bc
Soluble tablet	100%	85.59ab	19.10b	65.96a
	200%	83.56ab	19.11b	62.94b

한 규산질 비료의 양은 입상 2,000 kg ha<sup>-1</sup>, 분상 60 kg ha<sup>-1</sup>, 수용성 20 kg ha<sup>-1</sup>를 표준으로 50 %, 100 %, 200 %로 각각 시비하여 재배 후 수확하여 분석하였다. 벼의 줄기 강도를 알아보기 위하여 4 번째와 5 번째 마디의 절간 5-cm를 잘라 한쪽을 고정하고 중심에 추를 달아 줄기의 꺾임 강도를 측정하였다. 그 결과 벼 줄기의 강도를 측정해본 결과 무처리에 비해 규산질 비료가 시비된 토양에서 생장한 벼에서 강도가 월등히 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 벼 줄기 꺾임은 무처리와 비교하여 규산질 비료를 시비한 모든 처리구에서 높게 나타났으며, 수용성 규산질 비료를 시비한 처리구의 벼에서 꺾임 강도가 가장 높게 나타났다. 이는 수용성 규산질 비료가 토양 내 수분과 반응하여 빠르게 흡수되어 벼의 생장에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 수량 조사에서 알 수 있었는데, 처리량에 비해 127 의 수량 상승률을 보인 입상 광재 규산질 비료보다 상대적으로 적은 양을 시비한 수용성 규산질 비료에서 125 의 수량 상승률을 보여 동등한 효과를 보인 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동 연구 사업(과제 번호: C10074 280103)의 연구 지원에 의해 수행되었습니다.

## 인 용 문 헌

- Idris, M., M.M. Hossain, and F.A. Choudhury. 1975. The effect of silicon on lodging of rice in presence of added nitrogen. *Plant Soil* 43:691-695.
- Joo, J.H. and S.B. Lee. 2011. Effect of several silicate fertilizers on potato-grown field. *J. Agri. Life Environ. Sci.* 23(4):29-33.
- 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 and Fert.* 18(2):148-155.
- KFIA. 2012. Fertilizer Yearbook 2012. Korea Fertilizer Industry Association:pp.543.
- 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 and Fert.* 35(5): 296-305.
- Kim, C.B. and J. Choi. 2002b. Changes in rice yield, nutrient use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. *Korean J. Soil Sci and Fert.* 35(5):280-289.
- 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, 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 and Fert.* 19(2): 123-131.
- Kim, S.B. 2008. Effect of silicon fertilizer application on the paddy rice and soil physiochemical properties. Chonnam National University. Ph.D. thesis.
- Lewin, J. and B.E.F. Reimann. 1969. Silicon and plant growth. *Annu Rev. Plant Physiol.* 20:289-304.
- NIAS. 1995. Standard methods of agricultural experiment. Rural Development Administration, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 1999. Standard fertilization of crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Parry, D. W. and F. Smithson. 1964. Types of opaline silica deposition in the leaves of British grasses. *Ann. Bot.* 28:169-185.
- Soil and Fertilizer, 2001:Korean J. Soil Sci. & Fertilizer. pp.23-35 (in Korean).