

벼에 대한 규산질비료의 시용량 및 시용주기 결정

송요성* · 전희중 · 정병간 · 박우균 · 이기상 · 곽한강 · 윤정희 · 이춘수 · 연병열¹ · 김필주² · 윤영상³

농업과학기술원, ¹작물과학원, ²경상대학교, ³공주대학교

Determination of Optimum Rate and Interval of Silicate Fertilizer Application for Rice Cultivation in Korea

Yo-Sung Song,* Hee-Joong Jun, Beung-Gan Jung, Woo-Kyun Park,
Ki-Sang Lee, Han-Kang Kwak, Jung-Hui Yoon, Choon-Soo Lee,
Byeong-Yeol Yeon¹, Pil-Joo Kim², and Young-Sang Yoon³

National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

²Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Kongju National University, Kongju 340-702, Korea

In order to investigate the optimum rate and interval of silicate fertilizer application for rice cultivation, Chucheong byeo variety, one of commonly cultivated rice cultivar in Korea was planted on two different wetland rice soils located on Hwaseong-si from 2002 to 2005; Jisan series(a member of the fine loamy, mixed, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts), known as "Productive Paddy Soil", without any conspicuous limiting factor, and Seogcheon series (a member of the coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts), known as "Sandy Paddy Soil", sandiness being major limiting factor. There were three rate treatments of silicate fertilizer application; the amount of silicate fertilizers needed to adjust the available soil silicate contents to 130, 200, and 270 mg kg⁻¹ was applied, in the first year only. There was an additional plot; applying the amount of silicate fertilizer needed to adjust soil available silicate to 130 ppm every year, which would serve as the base for the evaluation of residual effects of silicate fertilizers in the plots where different rates of silicate fertilizer were applied.

From the yield data in first year, it was found that optimum available silica in the soil are 154 mg kg⁻¹ and 160 mg kg⁻¹, in Jisan and Seogcheon soils, respectively. The duration of residual effects of silicate fertilizer was different depending upon the amount of applied silicate fertilizers and the soils. The higher the application rate, the residual effect lasted longer, and the residual effect was lasted longer in Jisan(clay loam) soil than in Seogcheon(sandy loam) soil. During four years, sum of the rate of contribution to increase available soil silica of applied silicate fertilizer in different soils ranged 18.6% and 24.1% in Jisan soil and Seogcheon soil, respectively. This may suggest that much portion of applied silicate would be either lost from the soil or remain in the soil as insoluble form. This deserves further study.

Key words : Rice, Silicate fertilizer, Application rate, Application interval

서 언

벼는 다량의 규산을 흡수하는 대표적 식물로서 규산이 적절히 흡수되면 식물의 수광태세가 좋아져 광합성능이 향상되고 식물체가 물리적으로 강해져 도복 및 병해충에 대한 저항성이 커지는 것으로 알려져 있

다(Seedbold et al., 2001 Kawamitsu et al., 1989; Matoh et al., 1991; Miyamori, 1996).

우리나라 논토양의 평균 유효규산 함량은 1968년 78 mg kg⁻¹이었으나 정부의 지속적 규산질비료의 공급으로 2003년에는 118 mg kg⁻¹로 증가되었다(Jung et al., 2003). 논토양에서 추천되고 있는 유효규산의 적정함량은 Park(1970)에 의해 제안된 130 mg kg⁻¹이 현재까지 이용되고 있다. 규산질비료는 1970년대 후반부터 규회석에서 광채를 원료로 제조한 규산질비료로 교체되기 시작하였으며, 현재에는 입상, 분상과 사상의 규

접수 : 2007. 8. 6 수리 : 2007. 9. 10

*연락처 : Phone: +82,

E-mail:

산질비료가 공급되고 있다. 규회석과 규산질비료는 생성 및 제조과정이 달라 규산의 존재형태와 유효성분의 함량이 서로 다른 것으로 보고되고 있다(Yoon, 1970; Lim et al., 1981). 이러한 이유 때문에 최근 논토양의 유효규산 적정함량은 150~180 mg kg⁻¹ 수준으로 상향 조정할 필요성이 있다는 의견이 대두되고 있다(Kim, 2003). 최근 농가에서 가축사육두수가 증가하면서 많은 양의 똥질이 사료로 이용됨에 따라 똥질의 논에 돌려줄 때 논으로 들어가는 규산의 양이 현저히 줄고 있다. (Song et al., 2005). 이런 여러 가지 여건 변화가 벼에 대한 새로운 규산질비료 사용기술을 필요하게 한다.

현행 논토양에서 규산질비료의 공급주기는 4년 1주기가 추천되고 있다. Lee et al.(1984)은 규산질비료를 2,000 kg ha⁻¹ 시용시 잔효가 약 6.2년으로 추정하였으며, 규산질비료의 잔효시험 결과에 따라 규산질비료 공급주기를 1997년에는 9년 1주기, 1998년부터는 6년 1주기, 2000년에는 5년 1주기로 사용하도록 정부가 무상으로 공급해 오다가 2001년부터 현재까지 4년 1주기로 공급해 오고 있다(MAF, 2001). 벼 재배과정 중 시용된 규산질비료는 시용질소의 이용률을 증대시켜 질소의 유출을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다(Hewitt, 1963). 또한 규산 축적작물뿐만 아니라 규산을 많이 흡수하지 않는 작물에서도 규산질비료의 과용에 의한 피해가 잘 나타나지 않고, 오히려 생산성 유지에 유익하다고 한다 (Korndorfer et al., 2001). 최근 친환경농업에 대한 관심이 높아지면서 안전수량을 생산하기 위한 비옥도 유지와 아울러 도열병, 냉해 및 병해충 등의 재해를 미연에 방지하기 위하여 4년 1주기로 공급되고 있는 규산질비료 공급주기의 단축 필요성이 현장에서 대두되고 있어 이에 대한 충분한 검

토가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 농가에 공급되고 있는 규산질비료의 사용량에 대한 벼 수량반응과 시용 규산질비료의 잔효를 평가하고 벼 수량 및 토양비옥도 유지를 위한 규산질비료의 합리적 관리방안을 제시하고자 본 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

시험토양의 특성 논토양에서 벼에 대한 규산질비료의 시용효과와 적정 시용수준을 결정하기 위한 시험포장으로 배수가 약간 불량한 지산통인 보통답(경기도 화성시 비봉면 청요리)과 배수가 양호한 석천통인 사질답(경기도 화성시 팔탄면 기천리)을 선정하였다. 두 토양에 대한 시험전 토양의 화학적 특성을 분석한 결과는 Table 1과 같으며 토양의 유효규산함량은 보통답은 78 mg kg⁻¹ 이었으며 사질답은 62 mg kg⁻¹ 이었다.

규산질비료의 처리내용 시용한 규산질비료의 비종은 2002년 기준, 전국적으로 가장 많이 사용되었던 규산질 분상비료로서 시험 첫 해 이양 전 20일에 시용하였고 2년차부터 1년차에 시용된 규산질비료의 잔효를 검토하였다. 처리는 규산질비료 무시용구와 토양유효규산 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량의 규산질비료 시용구를 포함한 총 4개 처리로 하였으며, 규산질비료는 농촌진흥청 시비처방기준(RDA, 1999)에 의하여 시용하였으며, 시용한 실량은 Table 2와 같다.

시험구 배치는 난괴법 3반복, 시험구의 면적은 500 m²로 하였고, 벼 품종은 추청벼를 공시하여 매년 5월 20일에 재식거리 30 cm × 14 cm 간격으로 기계이양

Table 1. Chemical properties of soils analysed before the experiment.

Soil	pH	OM	T-N	Av. P ₂ O ₅	Ex. cations			Av. SiO ₂	CEC	Soil texture
					K	Ca	Mg			
	H ₂ O, 1:5	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol ⁺ kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹	cmol ⁺ kg ⁻¹	
Jisan	5.6	16	1.0	28	0.32	4.7	1.5	78	9.8	Clay loam
Seogcheon	5.2	17	1.1	53	0.25	2.3	0.7	62	8.5	Sandy loam

Table 2. Treatments and the amounts of silicate fertilizer applied to adjust targeted levels of available silica in different soils.

Soil SiO ₂ level	Amounts of silicate fertilizer	
	Jisan series	Seokcheon series
mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
No silicate	0	0
130	1,976	2,584
200	4,636	5,244
270	7,296	7,904

하였다. 3요소 시비량은 1년차의 경우 토양검정에 의하여 ha당 성분량으로 보통답 124-71-30kg, 사질답 116-42-30kg, 2~4년차에도 토양검정에 의하여 1년차의 시비량과 대등한 양을 사용하였다. 질소는 밑거름으로 50%, 가지거름 20%, 이삭거름 30%를 요소로 사용하였고, 인산비료는 전량 밑거름으로 용과린을 사용하였으며, 칼리비료는 밑거름 70%, 이삭거름 30%를 염화칼리로 사용하였다.

토양 및 식물체 분석 농촌진흥청 표준분석법 (RDA, 2000)에 준하여 토양분석의 경우 pH는 1 : 5 법, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산 함량은 Lancaster법, 토성은 비중계법으로 분석하였다. 치환성양이온은 1 N-NH₄OAc용액으로 침출하여 ICP (Inductively coupled plasma, Rabootam 8440)로 측정하였다. 양이온치환용량 (cation exchangeable capacity)은 1 N-NH₄OAc로 포화하고 80% 에틸알코

올로 세척한 후 토양을 켈달(Kjeldahl)증류장치에 의해 NH₄⁺ 함량을 정량하여 산출하였다. 그리고 토양의 유효규산 함량은 1 N-NH₄OAc 용액으로 침출하여 발색법으로 정량하였다. 식물체의 규산분석은 수확기의 벧짚과 곡실을 분리하여 60°C에서 72시간 건조하고 H₂SO₄-HClO₄ 분해 후 중량법으로 정량하였다.

결과 및 고찰

규산의 자연공급원인 토양 규산의 공급력은 논토양 유형에 따라 다소 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 농촌진흥청 농업과학기술원(NIAST, 1999)에 의하면 전국 논토양의 유효규산 함량은 보통답 89 mg kg⁻¹ 및 사질답 86 mg kg⁻¹, 정도로 Park(1970)이 제시하고 있는 논토양의 적정 유효규산 함량 130 mg kg⁻¹에 크게 부족하여 추가적인 규산질비료 공급의 필요성이 강조되었다(Kim, 2003; Lee, 2003).

Table 3. Yield of rice under different silicate fertilizer application rates.

Cropping years	Soil SiO ₂ level	Jisan series		Seokcheon series	
		Yield	Index	Yield	Index
	mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹	
1st	No applied	6,100 b	100	5,990 c [†]	100
	Adjusted to 130 yearly	6,420 a	105	6,650 bc	109
	Adjusted to 130 in year 1	6,500 ab	106	6,540 bc	110
	Adjusted to 200 in year 1	6,630 a	109	7,010 b	117
	Adjusted to 270 in year 1	6,770 a	112	7,490 a	125
2nd	No silicate	6,180 b	100	5,380 b	100
	Adjusted to 130 yearly	6,420 ab	104	5,880 ab	109
	Adjusted to 130 in year 1	6,520 ab	105	5,780 ab	107
	Adjusted to 200 in year 1	6,580 a	107	6,060 a	113
	Adjusted to 270 in year 1	6,700 a	108	6,080 a	113
3rd	No silicate	6,133 a	100	5,795 b	100
	Adjusted to 130 yearly	6,337 a	103	6,326 a	106
	Adjusted to 130 in year 1	6,305 a	103	6,089 ab	102
	Adjusted to 200 in year 1	6,398 a	104	6,272 ab	105
	Adjusted to 270 in year 1	6,474 a	106	6,478 a	108
4th	No silicate	6,729 a	100	5,724 a	100
	Adjusted to 130 yearly	6,876 a	102	6,000 a	105
	Adjusted to 130 in year 1	6,756 a	100	5,742 a	100
	Adjusted to 200 in year 1	6,897 a	102	5,856 a	102
	Adjusted to 270 in year 1	6,984 a	103	6,156 a	107
Average	No silicate	6,285 b	100	5,722 b	100
	Adjusted to 130 yearly	6,513 a	104	6,214 a	108
	Adjusted to 130 in year 1	6,520 a	104	6,038 ab	106
	Adjusted to 200 in year 1	6,626 a	105	6,299 a	110
	Adjusted to 270 in year 1	6,732 a	107	6,551 a	114

[†] DMRT = 5%

토양 유효규산 함량 130, 200 및 270 mg kg⁻¹상당하는 조절량의 규산질비료를 사용한 후 1년차인 당년의 정조수량은 보통답은 각각 6, 9 및 12%, 사질답은 10, 17 및 25%가 증가하였다(Table 3). 이러한 규산질비료의 효과는 시험전 토양의 유효규산 함량이 낮았던 사질답이 유효규산 함량이 높았던 보통답에 비하여 더 현저하였다.

보통답과 사질답에서 1년차에 사용된 규산질비료 잔효가 벼의 수량반응에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 3과 Figure 1에서 보는 바와 같다. 규산질비료의 사용량을 달리하여 처리된 보통답 및 사질답에서 벼 정조수량은 연수가 경과함에 따라 점점 감소하는 경향을 보였다. 보통답에서 규산질비료를 130 mg kg⁻¹로 조절시 정조수량이 매년 2.13%씩 감소하여 4년째에는 증수효과가 거의 없는 것으로 분석되었다. 반면 규산질비료의 처리수준을 200과 270 mg kg⁻¹로 조절시 수량은 매년 130 mg kg⁻¹ 처리시와 비슷하게 감소하여 200 mg kg⁻¹에서는 5년, 270 mg kg⁻¹에서는 6년 이후부터는 증수효과가 나타나지 않았다. 규산질비료 사용 후 수량의 감소정도는 사질답이 보통답보다 다소 컸으며, 130과 200 mg kg⁻¹의 규산질비료 처리시 4년째 그리고 270 mg kg⁻¹에서는 5년째 이후부터는 증수효과가 거의 나타나지 않았다.

이상의 결과에서 규산질비료의 잔효가 나타나기까

지의 기간을 보통답과 사질답에서 볼 때 토양의 유효규산을 200~270 mg kg⁻¹로 조절할 경우 3~5년이지만 현행기준인 130mg kg⁻¹로 조절하면 3년임을 알 수 있었다. 이러한 결과와 관련하여 다음에 고찰할 최고 수량을 생산한 토양 유효규산 조절량 157 mg kg⁻¹을 적용할 때의 잔효도 3년으로서 130 mg kg⁻¹ 조절시의 잔효기간과 대등하다고 생각된다.

규획적은 1,500 kg ha⁻¹ 사용시 약 5년, 4,500 kg ha⁻¹ 사용시 약 8년 정도까지 잔효가 지속되는 것으로 보고된 바 있으나(Yoon et al., 1971), 식양질 보통답에서 규산질비료를 2,000과 4,000 kg ha⁻¹ 사용시 약 3년까지만 근소한 증수효과가 있어(Kim et al., 1986) 제재간 잔효가 다소 차이가 있는 것으로 보고되어 있다. 토양비옥도와 생산력이 저하되어 추락현상이 상승적으로 발생하는 사질습답 토양에 규산질비료를 사용함으로써 토양개량 효과와 벼 깨씨무늬병 경감 등의 효과가 우수하여 사용초기에 벼 수량 증대에 효과가 크다고 하였다(Park, 1970; Park and Kim, 1971). 본 연구에서도 동일수준의 규산질비료를 사용했을 때 초기 정조수량 증대효과는 사질답이 보통답에 비해 월등히 높게 나타났지만, 연차가 경과함에 따른 수량의 감소정도는 오히려 아주 크게 나타났다. 본 결과를 통해 물 빠짐이 높은 사질답에서는 보통답에 비해 규산의 공급주기를 더 짧게 조절할 필요가 있을 것으로 판단된다.

보통답과 사질답 모두 규산질비료 사용량 증가에 따른 수량증가의 통계적 유의성은 보통답은 2년차까지, 사질답은 3년차까지 인정되었고 4년차 이후에는 처리간 통계적 유의차는 없었다(Table 3). 규산질비료의 공급주기인 현행 4년 1주기를 감안한 4년 동안의 규산 무사용구의 평균 정조수량은 보통답에서 6,285 kg ha⁻¹, 사질답에서 5,722 kg ha⁻¹ 이었으며, 유효규산 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량의 규산질비료 사용은 보통답에서 4%, 5% 및 7%, 사질답에서 6%, 10% 및 14%의 증수효과가 있었다. 결과적으로 규산질비료 사용에 의한 증수효과는 당년의 효과와 마찬가지로 토양의 유효규산 함량이 낮았던 사질답이 보통답에 비하여 높은 것으로 나타났다. 특히 1년차의 사질답에서 유효규산 130 mg kg⁻¹ 조절량에 비하여 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량에 상당하는 규산질비료의 사용효과가 현저하였는데 이러한 결과는 시험전 토양 유효규산 함량이 보통답보다 사질답에서 적었고 또한 사질답에서 규산질비료의 증비에 따른 흡수량의 증가가 현저하였음에 기인되었다고 생각된다.

규산질비료를 1년차에 사용한 조건에서 토양의 화학적 특성변화를 조사한 결과는 Table 4 및 Fig. 2와 같다. 규산질비료의 처리량이 증가함에 따라 사용당

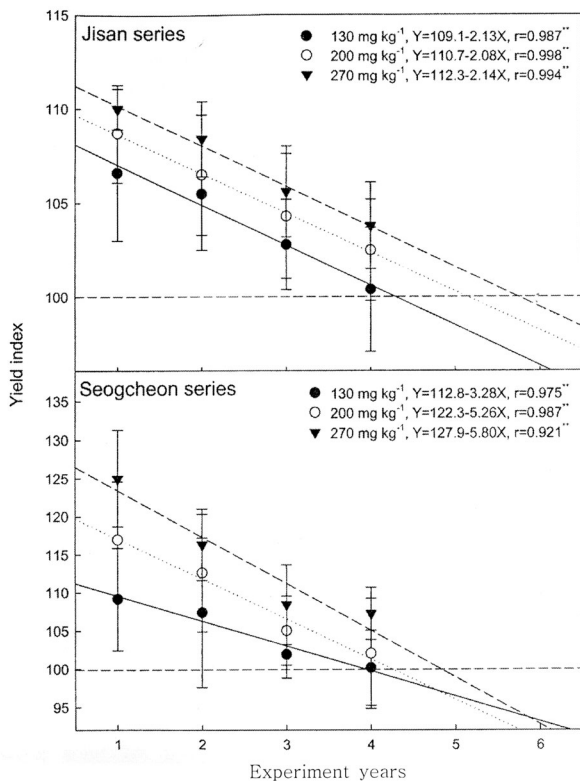


Fig. 1. Rice yield indices in different years under different silicate fertilizer application rates.

Table 4. Effect of soil silicate fertilizer applied in different manners on the chemical properties of soils observed after each year's experiments.

Soil type	Cropping years	Soil SiO ₂ level	pH	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. cations			Av. SiO ₂
						K	Ca	Mg	
		mg kg ⁻¹	H ₂ O, 1:5	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol ⁺ kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹
Jisan soil	1st	No silicate	5.6	18	21	0.30	4.5	1.7	73
		130	5.7	18	20	0.30	4.7	1.5	102
		200	6.1	17	18	0.28	5.3	1.6	170
		270	6.2	18	18	0.29	6.0	1.6	240
	2nd	No silicate	5.8	18	29	0.29	4.5	1.5	74
		130	6.0	18	29	0.30	4.7	1.5	75
		200	6.3	17	28	0.30	5.5	1.5	156
		270	6.4	18	27	0.27	5.8	1.5	200
	3rd	No silicate	5.7	18	38	0.17	4.2	1.3	71
		130	5.8	18	34	0.19	4.5	1.4	88
		200	6.2	17	38	0.20	5.1	1.4	123
		270	6.3	18	33	0.19	5.3	1.3	166
	4th	No silicate	5.7	18	37	0.18	4.2	1.1	71
		130	5.8	18	33	0.21	4.5	1.3	79
		200	6.1	18	33	0.22	5.0	1.5	106
		270	6.2	19	35	0.23	5.4	1.5	142
Seogcheon soil	1st	No silicate	5.4	16	38	0.22	2.4	0.7	38
		130	5.4	16	42	0.19	2.7	0.7	78
		200	5.6	15	40	0.18	3.6	0.8	147
		270	5.8	16	41	0.18	4.0	0.8	264
	2nd	No silicate	5.4	16	58	0.27	2.3	0.6	40
		130	5.4	15	57	0.27	2.9	0.6	71
		200	5.8	15	54	0.28	3.4	0.7	118
		270	6.0	15	60	0.24	4.1	0.7	145
	3rd	No silicate	5.2	15	49	0.20	2.4	0.4	37
		130	5.3	16	52	0.20	2.5	0.4	67
		200	5.5	15	58	0.20	3.7	0.5	83
		270	5.5	16	61	0.20	4.0	0.5	106
	4th	No silicate	5.2	16	57	0.23	2.2	0.4	33
		130	5.4	16	53	0.20	2.3	0.4	35
		200	5.5	17	56	0.22	2.8	0.5	43
		270	5.6	18	59	0.21	2.9	0.5	63

년의 토양 pH, 유효규산 함량 및 치환성칼슘 함량이 크게 증가하였고, 유효인산 함량도 증가하는 경향을 보였다. 한편 연차가 경과함에 따른 토양의 유효규산 함량은 일정한 경향으로 감소하였다. 보통답에서 규산질비료를 130 mg kg⁻¹으로 조절시 유효규산의 함량이 매년 11.7 mg kg⁻¹ 씩 감소하여 4년째에는 무처리구와 비슷한 수준에 도달하였다. 규산처리의 효과는 200과 270 mg kg⁻¹ 수준에서 각각 5년과 6년 짜 무처리구의 수준과 대등하였다. 이상에서 본 규산사용의 효과는 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량 처리시 최대 3, 4 및 5년까지 지속될 것으로 기대된다. 이에 반해

사질토양에서 규산질비료 사용후 유효규산의 함량변화는 보통답보다 더 큰 폭으로 감하여 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 처리시 규산사용의 효과는 3~4년까지만 지속되었다. 보통답과 사질답에서 일반 논토양의 규산질비료 추천을 위하여 토양의 유효규산 130 mg kg⁻¹ 조절량 사용시 잔효가 약 3년 정도 지속되었다. 이는 1982년 조사한 유효규산 130 mg kg⁻¹ 조절량인 규산질비료 2,000 kg ha⁻¹ 사용 시 잔효가 3년이었던 보고가 본 연구결과를 뒷받침 해 주고 있다(RDA, 1989; Lee et al., 1984). 이상의 결과로부터 벼에 대해 현행 규산질비료의 추천수준(130 mg kg⁻¹)으로 토양

의 유효규산을 조절할 때는 비료의 공급주기를 현행 4년 1주기에서 3년 1주기로 조정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Table 4에서 시험후 토양 1년차의 보통답에서 유효 규산 함량을 130 mg kg⁻¹으로 조절한 경우 토양중 유효규산 함량이 102 mg kg⁻¹으로서 Fig. 3에서 언급할 유효규산 적정수준(157 mg kg⁻¹) 보다 낮으며, 사질답인 경우 200~270 mg kg⁻¹으로 조절하여도 적정수준에 미달하고 있다. 이러한 시험결과로 미루어 볼 때 규산질비료는 보통답은 물론 특히 사질답의 경우 토양검정에 의하여 매년 적절한 양을 사용하는 것이 타당한 것으로 평가된다.

한편 두 토양유형 모두 연차가 경과함에 따라 치환성 칼슘과 마그네슘이 일정하게 감소하는 경향을 보였다. 규산질비료 중 다량 함유되어 있는 칼슘과 마그네슘이 작물에 흡수되고 남은 일부가 용탈되었기 때문으로 해석된다. 결과적으로 부성분으로 석회를 40% 이상 함유하는 규산질비료는 단순히 토양 중에서 규산의 공급효과 이외에 산성토양을 중성토양으로 개량하여 토양비옥도 증진을 기대할 수 있기 때문에 지속적인 적정관리가 매우 중요하다고 생각된다.

규산질비료를 사용한 답 토양에서 벼 수확 후 토양의 유효규산함량과 정조수량과의 상관관계를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다.

정조수량과 토양의 유효규산 함량과의 2차회귀관계식에서 토양규산의 유효도를 최대로 발현하는 즉 최고수량을 낸 토양의 유효규산 함량은 보통답 154 mg kg⁻¹, 사질답 160 mg kg⁻¹이며, 보통답과 사질답을 종합해서 볼 때 157 mg kg⁻¹이었다. 토양의 유효규산 157 mg kg⁻¹에서의 정조수량 6,469 kg ha⁻¹은 현재 규산질비료 사용을 위한 토양 유효규산 조절함량인 130 mg kg⁻¹에서의 정조수량(6,440 kg ha⁻¹)에 비하여 29 kg ha⁻¹이 증가 되었다. 현재 우리가 사용하고 있는 일반 논토양의 규산질비료 사용을 위한 조절기준인 130 mg kg⁻¹은 Park(1970)에 의해 1970년도 이전에 전국 답토양을 대상으로 토양 중 유효규산함량과 정조수량지수와의 관계에서 도출된 회귀식으로부터 설정되어 현재까지 활용되어 오고 있다. 그러나 1960년 후반부터 1970년까지는 규산질비료원이 대부분 규회석이었으며, 현재 주로 이용하고 있는 규산질비료와는 상당히 다른 규산공급능 및 화학적 특성을 가지고 있을 것으로 사료되며 35년 이상 경과된 현재 시점에서 벼 품종의 변화, 벼의 생산성 변화, 토양 비옥도 등의 농업환경 변화로 인해 토양의 유효규산 조절 기준량이 재설정되어야 한다고 생각된다. Kim(2003)이 포장시험을 통해 유효규산 조절기준치를 현행 130 mg kg⁻¹에서 150~180 mg kg⁻¹까지 높일 필요가 있다고 주장한 바와 같이 본 시험에서도 Kim(2003)의 연구결과와 비슷하여 현실적으로 벼의 수량증대와 논토양의 비옥도관리를 위해 유효규산의 적정수준의 상향조정이 필요할 것으로 판단된다.

보통답과 사질답 토양에서 4년 동안 벼를 재배하여 곡실과 볏짚 중 규산의 함량 및 흡수량 변화를 보면 Table 5와 같다.

규산사용 1년후는 물론 잔효인 2~4년후에서도 1년차에 사용한 규산량이 증가하면 두 토양유형 모두 정조와 볏짚중 규산의 함량 및 흡수량이 증가하였다. 1년차에서 곡실과 볏짚을 합한 규산흡수량은 보통답의 경우 규산질비료 무처리구에서 559 kg ha⁻¹이었으며, 규산을 130, 200 및 270 mg kg⁻¹로 조절 처리시 각각 643, 731 및 794 kg ha⁻¹까지 증가되었다. 이때 사용 규산의 흡수이용률은 각각 4.3%, 3.7% 및 3.2% 이었다(Fig. 4). 또한 사질답에서의 규산무사용구의 규산흡수량은 622 kg ha⁻¹이었고 규산을 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 사용구에서의 규산흡수량은 828, 953 및 1,073 kg ha⁻¹로 증대되었으며 이때의 사용규산의 이용률은 각각 8.0%, 6.3% 및 5.7% 이었다. 이와같이 전반적으로 보통답과 사질답에서 사용한 규산질비료의 이용률이 낮은 것은 벼 생육기간 동안 규산의 손실이 매우 큼을 내포하고 있는데 금후 이에 대한 보완 연구가 되어져야 할 것으로 생각된다. Table 4에서

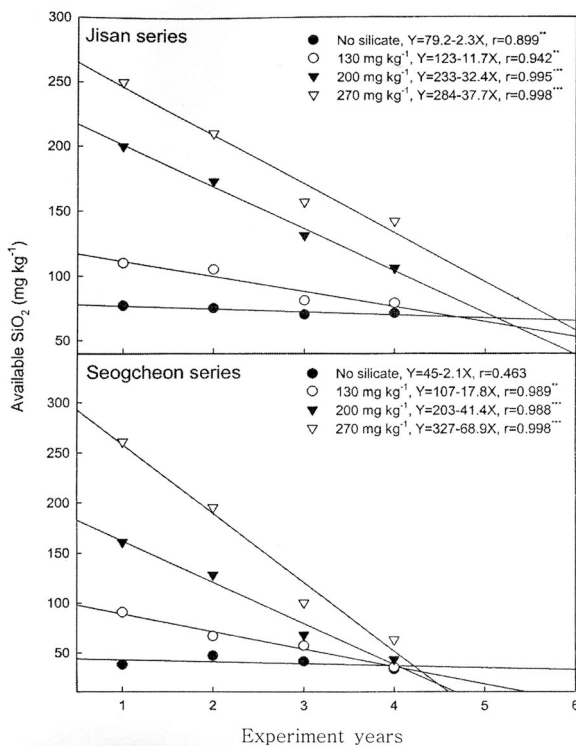


Fig. 2. Available silicate content of soils as affected by the application of silicate fertilizer in different manners observed after each year's experiments.

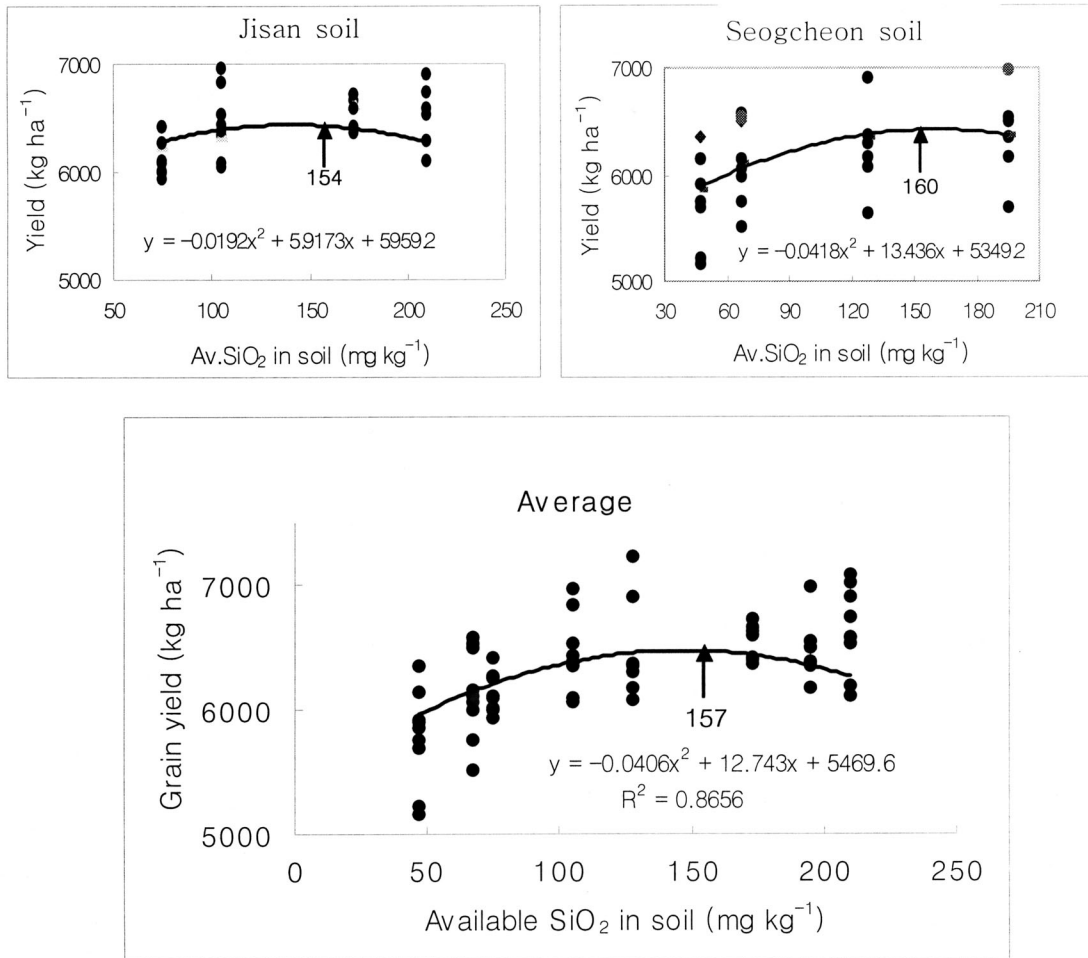


Fig. 3. Relationship between rice grain yield and available silicate content of soil at rice harvesting stage.

본 1~2년차의 규산흡수량에서 사질답이 보통답보다 높은 것은 사질답에서 벧짚수량이 많았고, 또한 벧짚 중의 규산함량이 정조중의 규산함량보다 현저히 높았던 데 기인된 것으로 보여진다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 시용 규산의 이용률은 사질답이 보통답에 비해 다소 높은 것으로 조사되었으며, 규산질비료의 시용량이 증가함에 따라 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였다.

벼는 전형적인 규산축적 작물로서 경영 중 규산함량이 10%에 달하며, 질소, 인산, 칼리와 같은 필수 다량원소의 함량을 전부 합한 것 보다 약 2배 이상 많은 양을 축적하는 특징을 가지고 있다(Epstein, 1994). 토양에 시용된 규산질비료는 토양비옥도를 개량하고 식물체에 흡수된 규산은 작물의 수광상태 개선을 통한 광합성의 촉진, 식물체 조직의 강도와 벼 건물 생산량을 증가시키는 기능이 있다고 보고하였다(Yosida, 1965). Takahashi et al.(1966)도 식물체내 규산은 외부의 물리 화학 생물학적 stress에 대한 저항성을 증가시키는 기능을 가지고 있어 불량기후 조건과 병해충에 대한 벼의 내성을 증진시키고 생육과 수량을 향상시킨다고 하였다.

한편 소량으로 규산질비료를 사용하면 수량은 적지만 규산이용률이 증가하고, 다량의 규산질비료를 사용하면 오히려 수량은 증가하지만 규산이용률이 감소된다고 하는 Murayama(1979)의 보고와 본 연구결과는 일치되고 있음을 알 수 있다. 따라서 규산질비료 증시로 감소되는 이용률을 어느 일정수준까지 허용 또는 어떤 수준에서 결정할 지가 관심의 대상이 될 수 있을 것이다.

현재까지 식물체내에서 필수원소로서 규산의 정확한 역할에 대한 정립은 다소 어려운 것으로 알려져 있다. 자연상태에서 규산을 처리한 것과 처리하지 않은 작물사이의 CO₂ 동화율 차이를 뚜렷하게 볼 수 없다는 보고가 있으며(Kawamitsu et al., 1989 ; Ma, 1990), 이와 관련하여 벧짚 중 10% 이상의 규산이 함유되어 있어 광합성을 통한 CO₂ 동화물질을 이삭내로 전이하는 것을 촉진한다는 보고가 있다(Takahashi et al., 1966). 그러나 본 연구에서 수확기 정조수량과 정조 중 규산함량은 정의 비례관계가 있음을 알 수 있다(Fig. 7). 결과적으로 규산은 벼의 수량증대에 중요한 요인으로 논토양의 규산관리는 중요하게 인식될

Table 5. Silica uptake by rice plant and partition in grain and straw under different rates of silicate fertilizer application observed at the harvest.

Cropping years	Soil SiO ₂ level	Jisan soil			Seogcheon soil		
		Content		Uptake	Content		Uptake
		Grain	Straw		Grain	Straw	
	mg kg ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹	%	%	kg ha ⁻¹
1st	No silicate	2.10	5.30	559	1.92	4.77	622
	130	2.20	5.80	643	2.06	5.14	828
	200	2.68	6.40	731	2.22	6.15	953
	270	2.75	7.10	794	2.56	6.20	1,073
2nd	No silicate	1.92	5.50	560	1.72	5.82	635
	130	1.94	6.56	682	1.74	5.77	838
	200	2.00	7.40	779	1.90	7.20	1,022
	270	2.50	8.10	872	2.20	7.50	1,152
3rd	No silicate	2.53	5.13	558	2.47	4.20	520
	130	2.57	5.27	588	2.43	4.80	614
	200	2.73	5.80	659	2.73	5.08	665
	270	3.00	6.06	748	2.83	5.27	685
4th	No silicate	2.03	5.28	608	2.07	4.30	530
	130	2.08	5.07	635	2.03	4.92	584
	200	2.47	6.53	685	2.28	5.80	625
	270	2.75	7.00	709	2.35	6.14	665
Average	No silicate	2.15	5.30	571	2.05	4.77	577
	130	2.20	5.68	637	2.07	5.46	716
	200	2.47	6.53	714	2.28	6.06	816
	270	2.75	7.07	781	2.49	6.28	894

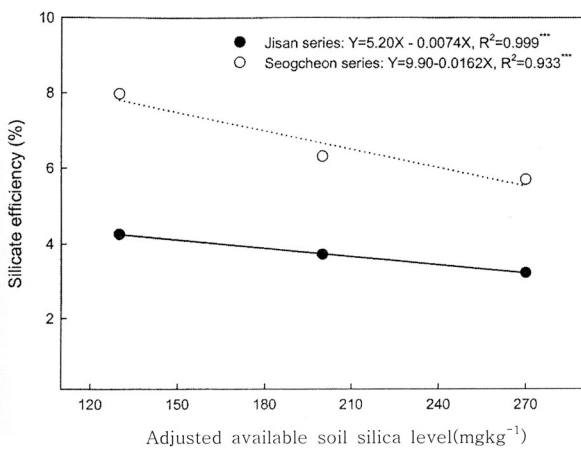


Fig. 4. Relationship between the use efficiency of applied silicate and soil silica level, in the first year (2002).

것으로 생각된다. 규산이 필수원소로서 생리적 역할을 하고 있는지 주변 환경개선과 식물체 저항성 증대를 통한 간접효과 때문인지에 대한 정밀한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

규산시용수준별 흡수량에서 산정한 4년간의 규산 이용률은 Table 6과 같다.

현재 벼 재배에 활용되고 있는 유효규산 함량 130 mg kg⁻¹ 조절 조건에서 4년간의 규산 이용률을 보면 보통답과 사질답에서 각각 15.1%와 21.6%이었다. 결과적으로 시용규산의 상당량을 벼가 흡수하여 벼의 생육과 수량을 증대시키는데 매우 중요한 역할을 하는 것으로 분석되었다. 동일수준의 규산처리에서 사질답에서의 규산 이용률이 보통답에 비해 약 5~8% 정도 높았으며, 규산질비료 시용을 통한 벼의 증수효과도 시험전 토양의 유효규산 함량이 낮았던 사질답에서 더 높았다.

시용된 규산의 벼에 의한 이용률과 규산시용이 토양 중 유효규산함량을 증가시키는 데에 대한 기여율을 살펴보았다(Table 7). 4년 동안에 걸쳐 시용된 규산이 벼에 이용된 비율과 토양의 유효규산 증가에 기여한 비율은 보통답의 경우 평균 18.6%이었고, 사질답의 경우 평균 24.1%이었다. 이 사실로 부터 두 가지 의문을 제기할 수 있다. 첫째, 광채로 만든 규산질비료 중의 규산은 쉽게 용탈되는 것인가? 둘째, 광채 중의 규산은 본질적으로 유효도가 낮은 것인가? 천연 규회석의 경우와 달리 광채에는 많은 양의 알루미늄이 들어 있다는 사실이 이 의문의 근거이다. 향후 이

Table 6. Silica uptake and use efficiency of rice plant under different silicate application during 4 years, in different soils.

Soil	Items of observations	Silicate level, mg SiO ₂ kg ⁻¹			
		No silicate	130	200	270
Jisan	Silicate fertilizer application, kg ha ⁻¹	0	1,976	4,636	7,296
	Rice silicate uptake, kg ha ⁻¹	2,285	2,584	2,854	3,123
	Silicate use efficiency, %	-	15.1	12.3	11.5
Seogcheon	Silicate fertilizer application, kg ha ⁻¹	0	2,584	5,244	7,904
	Rice silicate uptake, kg ha ⁻¹	2,307	2,864	3,365	3,575
	Silicate use efficiency, %	-	21.6	20.2	16.0

Table 7. The rate(%) of contribution to increase available soil silica of applied silicate fertilizer in different soils, and in different years.

Soils	Soil SiO ₂ level	Cropping years				
		1st	2nd	3rd	4th	Total
	mg kg ⁻¹	----- % -----				
Jisan soil	130	6.1	6.3	2.6	1.9	16.9
	200	6.3	6.9	3.6	2.8	19.6
	270	6.1	6.5	4.2	2.6	19.4
	Average	6.2	6.6	3.5	2.4	18.6
Seogcheon soil	130	9.9	9.4	5.1	2.2	26.6
	200	8.9	8.5	3.9	2.0	23.3
	270	9.3	7.6	3.2	2.2	22.3
	Average	9.4	8.2	4.1	2.1	24.1

들 의문에 대한 연구가 기대된다.

적 요

벼에 대한 규산질비료의 시용수준별 수량으로 본 비효반응, 적정시용량, 그리고 수량 및 토양 유효규산 함량에 의한 시용주기를 구명하기 위하여 2002 2005 년에 추청벼를 재배하여 배수 약간 불량한 지산통인 보통답과 석천통인 사질답 토양에서 포장시험을 수행 하였다. 규산질비료의 시용량이 증가함에 따라 벼 수량은 증가하여 토양 유효규산 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량 시용시 무시용구보다 벼 증수율은, 보통답 6, 9 및 12%, 사질답 10, 17 및 25%이었다.

벼 수확 후 토양 유효규산 함량과 벼 수량과의 관계를 2차 회귀관계식으로 분석한 결과 토양의 유효규산 함량이 보통답 154 mg kg⁻¹, 사질답 160 mg kg⁻¹, 평균 157 mg kg⁻¹일 때 최고수량을 얻을 수 있었다. 규산질비료를 토양의 유효규산 함량의 현행기준인 130 mg kg⁻¹으로 조절 시용할 때 수량으로 본 규산질비료의 잔효는 보통답 및 사질답 모두 3년 정도이었다.

규산질비료를 유효규산 함량 130 mg kg⁻¹으로 조절 시용시 토양의 유효규산 함량은 연도가 경과함에 따라 일정하게 감소하여 규산질비료시용 3년 이후에는 무처리 수준에 도달하였다. 따라서 현행 규산질비료의 공급주기는 현행 4년 1주기에서 3년 1주기로의 조

정이 가능하였지만, 수량반응과 토양유효규산 함량으로 볼 때 유효규산 200~270 mg kg⁻¹으로 조절시용시의 공급주기는 3~5년이였다. 그러나 보통답은 물론 특히 사질답의 경우 토양검정에 의하여 매년 적절한 양을 시용하는 것이 더 바람직한 것으로 밝혀졌다.

벼 수확기 규산흡수량을 보면 규산질비료 무시용구(보통답 559 kg ha⁻¹, 사질답 622 kg ha⁻¹)에 비하여 토양의 유효규산 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량의 규산질비료 시용구는 각각 보통답 643, 731 및 794 kg ha⁻¹, 사질답 706, 834 및 853 kg ha⁻¹이므로 현저히 증가 하였다. 토양 유효규산 130, 200 및 270 mg kg⁻¹ 조절량의 규산질비료 시용당년의 규산 흡수이용률은 각각 보통답 4.3, 3.7 및 3.2%, 사질답 8.0, 6.3 및 5.7%로 보통답에 비하여 사질답에서 매우 높았으며 4년 동안의 규산의 흡수이용률도 두 토양 모두 시용당년과 유사한 경향을 보였다.

인 용 문 헌

- Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 91 : 11-17.
- Hewitt, E. J. 1963. The essential nutrient elements plant physiology. Advances in Agronomy. III : 137.
- 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.
- Kawamitsu, M., Y. Kawamitsu, W. Agata and P. Kaufman. 1989. Effects of SiO₂ on CO₂ assimilation rate, transpiration rate, leaf conductance and dry matter production in rice plants. *Sci. Bull. Fac. Kyushu. Univ.* 43 : 161-169.
- Kim, C. B. 2003. Determination of the optimum application rate of silicate materials based on rice yield and soil chemical properties. Ph. D. Thesis. Kyungpook National University, Taegu, Korea.
- 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 physicochemical properties as affected by annual application of silicate fertilizer. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 192(2) : 123-131.
- Korndorfer, G. H. and I. Lepsch. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. *J. Plant Nutri.* 8 : 133-143.
- Lee, K. S. 2003. Study on production of high rice quality with application rate of silicate fertilizer. Completed report. Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 11-29.
- Lee, K. S., S. B. Ahn, K. S. Lee, and Y. C. Kim. 1984. Experiment on maintenance of silicate fertilizer effect. Research Report of National Institute of Agricultural Science and Technology. 246-253.
- Lim, D. 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.
- Ma, J. F. and E. Takahashi. 1990. The effect of silicic acid on rice in a P-deficient soil. *Plant Soil.* 126 : 115-119.
- MAF. 2001. System for silicate fertilizer supply. Report of Ministry of Agriculture and Forestry
- Matoh, T., S. Murata and E. Takahashi. 1991. Effect of silicate application on photosynthesis of rice plants. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 62 : 248-251.
- Miyamori, Y. 1996. Role and guideline of silicon nutrition in low protein rice production. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 67 : 696-700.
- Murayama, N. 1979. The importance of nitrogen for rice production, Nitrogen and Rice. IRRI 5-23.
- NIAST. 1999. Annual report of the monitoring project agro-environmental quality. p.223. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- 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.
- Park, Y. D. and Y. S. Kim. 1971. Increased yielding effect of silica on rice growth on Akiuchi soil. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fertilizer.* 4(1) : 1-19.
- RDA. 1989. Report on results of arable soil improvement project in 1980-1989. 142-151.
- RDA. 1999. Fertilization standard of crop plants. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Seedbold, K. W., T. A. Kucharek, L. E. Datnoff, F. J. Correa-Victoria, and M. A. Marchett. 2001. The influence of silicon on components of resistance to blast in susceptible, partially resistant, and resistant cultivars of rice. *Phytopathology* 91 : 63-69.
- Song Y. S., B. G. Jung, H. J. Jun, J. H. Yoon, K. S. Lee, and H. K. Kwak. 2005. Study on optimal application rates and residual effect of silicate fertilizers for rice. Research report of National Institute of Agricultural Science and Technology. 248-269.
- Takahashi, E., K. Arai and Y. Kashida. 1966. Studies on the physiological role of silicon in crop plant. Part 14, Effect of silicon on the assimilation and translocation of ¹⁴CO₂ supplied at the various growth stages of rice. *J. Sci. Soil and Manure, Jpn.* 37 : 594-598.
- Yoon, S. K. 1970. Effect of silicate fertilizer resources. Research report of Institute of Agricultural Sciences. 216-232.
- Yoon, S. K., P. K. Shin and Y. S. Kim. 1971. Residual effects of wollastonite on rice. Res. Rept. RDA : 14(PE). 65-81.
- Yosida, S. Y. 1965. Studies on existence form of silicon in rice plant and physiological role. Report of agricultural research in Japan B. 15:1.