

Effects of Lime Applications on Chemical Properties of Soil and Rice Yields in Long-term Fertilization Experiment

Myung-Sook Kim*, Seong-Jin Park, Chang-Hoon Lee, Sun-Gang Yun, Byong-Gu Ko, and Yoo-Hak Kim

Soil & Fertilizer Management Division, National Academy of Agricultural Science, Wanju 565-851, Rep. of Korea

(Received: June 12 2015, Revised: July 13 2015, Accepted: July 14 2015)

Monitoring of soil fertility and crop productivity in long-term application of fertilizers is necessary to use fertilizers efficiently. This study was conducted to investigate effects of continuous application of lime for rice cultivation from 1969 to 2014. The treatments were no lime treatments (N, NPK, NPCK, and NPKS) and lime treatments (N+L, NPK+L, NPCK+L, and NPKS+L). The application of lime in addition to N, NPK, and NPCK tended to increase pH, exchangeable Ca, and available SiO₂. The input of mean annual 1,170 Mg ha⁻¹yr⁻¹ of lime increased pH 0.0042 yr⁻¹, 0.0062 yr⁻¹, 0.0127 yr⁻¹, and 0.0041 yr⁻¹ in lime treatments (N+L, NPK+L, NPCK+L, and NPCK+L) compared with no treatments (N, NPK, NPCK, and NPCK), respectively. The mean annual Ca field balance varied from 169 to 561 kg ha⁻¹ yr⁻¹ in no treatments, from 871 to 1,263 kg ha⁻¹ yr⁻¹ in lime treatments, indicating that Ca was accumulated in the soils. The mean annual Ca field balance in silicate fertilizer treatments (NPCK, NPCK+L) were higher than that of other treatments because silicate fertilizer included Ca component. Grain yield of rice had no significant differences between no lime treatments and lime treatments. Thus the application of lime led to changes in soil chemical properties but had no impact on the production of rice.

Key words: Lime, Long-term experiment, Paddy soil, Chemical properties

Soil chemical properties by lime application in long-term fertilization fields from 1969 to 2014.

Period	Treatment	pH (1:5H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
I † (‘69~‘95year)	N‡	5.2	21	56	47	0.12	2.9	0.6
	N+L	5.7	22	61	116	0.11	5.0	0.5
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	ns
II (‘96~‘14year)	N	5.8	19	16	79	0.10	4.3	0.8
	N+L	6.1	19	15	306	0.10	6.8	0.9
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	***
I (‘69~‘95year)	NPK	5.2	21	211	37	0.13	2.9	0.5
	NPK+L	5.8	22	207	55	0.14	4.7	0.6
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	ns
II (‘96~‘14years)	NPK	5.7	21	176	52	0.11	4.2	0.8
	NPK+L	6.4	22	176	60	0.12	5.2	1.2
	t-test	***	ns	ns	*	ns	***	***
I (‘69~‘95year)	NPCK	6.2	22	211	109	0.13	5.2	0.5
	NPCK+L	6.4	22	214	120	0.13	5.5	0.6
	t-test	*	ns	ns	ns	ns	**	ns
I (‘69~‘95year)	NPCKC	5.4	28	278	47	0.16	3.9	0.7
	NPCKC+L	5.8	27	257	66	0.17	5.8	0.7
	t-test	***	ns	**	***	ns	***	ns
II (‘96~‘14year)	NPK	5.8	30	231	57	0.13	4.9	0.9
	NPK+L	6.3	30	220	82	0.15	6.3	1.3
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	***

†The lime for period I (‘69~‘95 year) was applied in N+L, NPK+L, NPCK+L and NPCK+L and the lime for period II (‘96~‘14year) in treatments (N+L, NPK+L, NPCK+L) except for NPCK+L.

‡N, P, K, C, S, and L mean nitrogen, phosphate, potassium, rice straw compost, silicate, and lime, respectively.

*Corresponding author : Phone: +82632382454, Fax: +82632383822, E-mail: msk74@korea.kr

§Acknowledgement : This study was conducted by support of NAAS research and development project (project number: PJ009348).

Introduction

논토양에 소석회의 사용은 토양 pH를 상승시켜 토양산성을 교정하며, 유해성분인 중금속의 용출 함량을 감소시켜 이들의 피해를 막는다 (Park et al., 1971; 1972). 또한, 다른 이온들의 존재형태를 결정하여 식물이 흡수하는 양분의 유효도에 영향을 준다. 그래서 치환성 칼슘은 논토양의 비옥도를 평가하는 토양의 질 (quality)에 관여하는 지표인 자로서 평가되고 있다 (Yoon et al., 2004). 논토양에서 Ca²⁺은 CO₂의 분압이 증가되면서 중탄산에 의해 CaCO₃의 침전이 발생하며, 토양 용액 내에서는 Ca²⁺형태가 가장 많고, Ca(OH)⁺, CaHSiO₄⁻, CaCl⁺ 등의 형태로 일부 존재한다고 알려져 있다(Lindsay, 1979).

석회 시비의 선행연구로 산성토양 (pH 5.4)에 석회물질을 처리하고 가리의 투입량을 수준별로 증가시키면 유효규산 함량이 상승하여 벼의 규산흡수량과 (Park, 1975; Cheong et al., 1977) 벼 수량이 증가한 (Oh et al., 1972; Oh and Kim, 1975) 보고가 있었으며, 특이산성토에 석회 및 규회석을 투입하면 황산 피해를 줄이면서 벼의 생산성이 향상된다고 하였다 (Park et al., 1972; Hwang et al., 1983; Kang and Ha, 1985; Sadiq and Babagana, 2012). 또한, Na와 Mg 함량이 많은 개흙에 투수성을 높이기 위해 탄산석회를 사용하면 염이 제거되는 효과에 대한 연구 결과도 보고된 바 있다 (Oh, 1990; 1991). 해외의 사례로 중국에서 농가 포장에서 채취한 논토양을 벼 재배연수 (0~5년, 6~15년, 16~30년, 31~50년, 51~100년)별로 토양학적 변동을 조사한 시험에서 소석회의 사용은 토양의 pH와 Ex. Ca, Ex. Mg 함량이 증가한다고 보고하였다 (Zhang and He, 2004).

우리나라의 논토양 pH와 Ex. Ca 함량은 '90년에 5.7, 4.3

cmol_c kg⁻¹에서 '11년 5.9, 5.1 cmol_c kg⁻¹으로 지속적으로 증가하는 경향이다 (NAAS, 2012). 논토양에서 pH와 Ex. Ca 함량이 상승하는 이유는 국가에서 정책적으로 지원하는 규산질 비료가 농경지에 투입되고 있고, 규산질 비료 자체에 부성분으로 Ca, Mg 등의 포함되어 있기 때문이다 (Kim et al., 2010). 그런 이유로 현재는 논토양에 별도의 소석회를 투입하지 않음에 따라 논토양에서 장기적으로 소석회를 투입했을 때 발생하는 토양 특성과 작물 생육 반응에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 동일한 화학비료와 유기질 비료, 토양개량제인 소석회를 논토양에 지속적으로 투입하면서 벼를 재배하였을 때 일어나는 토양의 화학성을 분석하고, 이들이 작물의 수량 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

시험포장 토양특성 본 연구에 사용된 시험포장 논토양은 '54년도에 경기도 수원시 권선구 서둔동 소재 국립식량과학원 포장 내에 조성되었고, 지형은 하성평탄지에 위치한다. 토양 특성으로 유효토심은 보통이고 투수성은 빠르며 배수등급은 약간양호이며, 토성은 사양질로 토양통은 강서통 (Coarse loamy, Anthraquic Eutrudepts)에 해당한다. 장기시험 포장 시작 당시의 토양 화학성은 pH 5.2, 유기물 (OM) 함량은 16 g kg⁻¹, 유효인산 (Av. P₂O₅) 함량은 120 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨 (Ex. K) 함량이 0.08 cmol_c kg⁻¹으로 유효인산 함량을 제외한 성분은 벼 생육을 위한 논토양 적정 비옥도의 기준 (NAAS, 2010)에 미치지 못하였다. 벼의 품종과 비료와 개량제를 사용한 내력은 Fig. 1과 같다.

Year	54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 10 11 12 13 14														
Rice cultivar	Paldael			Jinheoung			Milyang 23			Daechung			Samkwang		
N-P₂O₅-K₂O. Kg ha⁻¹	75-75-75			100-75-75			150-86-86			110-70-80					
Type of N fertilizer	Ammonium sulphate														
Type of P fertilizer	Double superphosphate						Super phosphate								
Type of K fertilizer	Murate of potash														
Compost, Lime	Fermented Straw (7.5Mg ha ⁻¹), Calcium hydroxide (Lime requirement equivalent pH 6.5)														
Lime	Calcium hydroxide (Lime requirement equivalent pH 6.5)														
Type of Si fertilizer(2Mg ha⁻¹)	Calcium silicate						Silicate fertilizer								

Fig. 1. Chronological application of fertilizers and rice cultivated.

공시품종 및 처리구 벼의 품종은 '54년부터 '68년까지는 팔달, '69년부터 '78년까지는 진흥, '79년부터 '85년까지는 밀양 23호, '86년부터 '03년까지는 대청, '04년부터 '14년까지는 삼광을 재배하였다. 처리구는 완전임의배치법으로 배치되었고 모두 32개의 처리구로 구성되어 있으나, 본 연구에서 소석회를 처리하지 않은 구는 유안구 (N), 3요소구 (NPK=질소-인산-가리), 퇴비구 (NPKC), 규산구 (NPKS)를, 소석회를 처리한 구는 유안+소석회구 (N+L), 3요소+소석회구 (NPK+L), 퇴비+소석회구 (NPKC+L), 규산+소석회구 (NPKS+L)를 비교하여 분석하였다. 규산+소석회구의 토양은 '95년 이후부터 pH 6.5를 초과하여 2개의 시기로 구분하여 자료를 분석하였다. 시기 I 은 '69년에서 '95년까지, 시기 II는 '96년에서 '14년까지로 정하였고, 유안구, 유안+소석회구와 3요소구, 3요소+소석회구, 벧짚퇴비+소석회구는 시기 I 과 II가 분석되었고, 규산구와 규산+소석회구는 시기 I 에 대해서만 분석하였는데, 규산구는 규산+소석회구와 같은 시기에 비교하기 위해 시기 I 에 대해서만 분석하였다.

비료사용량 및 재배관리 비료사용량은 시기별로 표준비료사용량 (NAAS, 2010)이 달라짐에 따라서 질소는 75~150 kg ha⁻¹, 인산은 70~86 kg ha⁻¹, 가리는 75~86 kg ha⁻¹, 퇴비는 7.5 kg ha⁻¹, 규산질비료는 2 Mg ha⁻¹를, 석회는 pH 6.5까지 상승시키는 양을 사용하였고, 기비-분얼비-수비-실비의 분시비율은 질소는 50-20-20-10%, 가리는 70-0-30-0%로 2회, 인산, 퇴비, 석회, 그리고 규산은 전량 기비로 사용하였다. 소석회를 처리한 구 (N+L, NPK+L, NPKS+L, NPKC+L)는 석회요구량을 분석하여 소석회를 0.39~1.17 Mg ha⁻¹를 투입하였다. 벧짚퇴비의 제조는 벼 수확기에 시험연구 포장으로부터 벧짚 3 ton을 수거하여 절단하고 물을 뿌리고 비닐을 덮어 부피를 줄인 후 요소비료 4~6 kg을 첨가하여 부숙한 후 사용하였다. 토양개량제인 규산질비료, 소석회와 퇴비는 토양과 충분하게 반응하도록 4월 중순에 미리 각각의 처리구에 살포한 후 경운하였으며, 무기질비료는 5월 하순에 담수하면서 사용하고 벼를 이앙하였다. 전년도에 수확 후 남아있는 벼의 그루터기와 뿌리는 경운 시 썩레질 할 때 토양에 전량 환원하였다.

토양 채취 및 분석 토양 화학성의 변동을 모니터링하기 위한 분석용 시료는 해마다 4월 초에서 중순 사이에 처리구 당 0~15 cm 깊이로 3~7군데를 채취하고 혼합하여 사용하였다. 토양 시료는 2 mm체를 통과한 입자를 분석에 이용하였고, 토양의 pH와 전기전도도 (EC, Electrical conductivity)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 측정하였고, 토양 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 추출하여 720 nm에서, 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0)용액으로 추출하여 700 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi)로, 치환성

양이온은 1M NH₄OAc (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC)으로 측정하였다 (NIAST, 2000).

칼슘(Ca) 수치 칼슘 수치를 계산하기 위해 칼슘투입량은 무기질비료(소석회와 규산질 비료), 유기질비료 (벧짚퇴비)와 관개수로 넣은 양으로 산정하였고, 배출량은 작물지상부가 흡수한 양으로 계산하였다 (Eq. 1). 유안구, 유안+소석회구와 3요소구, 3요소+소석회구, 벧짚퇴비+소석회구는 '69에서 '14년도까지, 규산구와 규산+소석회구는 '69에서 '95년도까지의 자료를 분석하였다. 관개수량은 '12년도 측정치들의 평균으로, 관개수질 중 서호수로 관개한 시기 ('69~'86)와 관정수 ('87~'14)의 수질은 NIAST (2003)의 자료를, 식물체 흡수량은 '87년도~'14년도의 자료를 이용하였다.

$$\text{칼슘 (Ca) 수치 (kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}) =$$

$$(\text{무기질 또는 유기질 비료의 Ca공급량} + \text{관개수 (Eq. 1) 중 Ca 공급량}) - \text{작물의 지상부로 흡수한 Ca량}$$

정조 수량 정조수량은 해마다 10월에 처리구 당 70주씩 3반복으로 채취하여 탈곡한 후에 자연 상태에서 건조하여 정조의 무게를 조사하였다.

통계분석 모든 데이터는 SAS 프로그램 (v. 9.2)으로 통계분석을 하였다. 논토양에 소석회 사용효과를 검정하고자 ANOVA 분석을 실시하였고, 처리구간 토양화학성과 작물의 수량성 비교는 LSD 검정을 통해 분석하였다.

Results and Discussion

토양 화학성 변화 소석회의 무처리구와 처리구의 화학적 특성은 Table 1과 같다. 유안구와 유안+소석회구의 pH는 시기 I ('69~'95)에 각각 5.2, 5.7, 시기 II('96~'14)에 각각 5.8, 6.1로 소석회 처리로 평균 0.3~0.5정도 상승하였고, 3요소구와 3요소+소석회구, 벧짚퇴비구와 벧짚퇴비+소석회구에서도 유안구와 유안+소석회구의 경향과 유사하게 나타났다. 그러나, 규산구와 규산+소석회구의 pH는 각각 6.2와 6.4로 이들 두 처리구간의 pH의 차이는 앞의 다른 처리구보다 크지 않았다. 이것은 규산구에 투입되는 규산질비료 (규회석: '54~'89 ; 규산질 비료: '90~'14) 자체의 부성분인 칼슘과 마그네슘 성분 (규회석 알칼리분 35%, 규산질비료 알칼리분 40%)이 지속적으로 투입되어 토양의 pH를 높였기 때문으로 생각된다.

유기물 (OM)과 치환성 칼륨 (Ex. K)은 소석회 무처리구와 소석회 처리구 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 유효인산 함량도 시기 II ('69~'95)의 벧짚퇴비구와 벧

Table 1. Soil chemical properties by lime application in long-term fertilization fields from 1969 to 2014.

Period	Treatment	pH (1:5H ₂ O)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
I † (‘69~’95year)	N‡	5.2	21	56	47	0.12	2.9	0.6
	N+L	5.7	22	61	116	0.11	5.0	0.5
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	ns
II (‘96~’14year)	N	5.8	19	16	79	0.10	4.3	0.8
	N+L	6.1	19	15	306	0.10	6.8	0.9
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	***
I (‘69~’95year)	NPK	5.2	21	211	37	0.13	2.9	0.5
	NPK+L	5.8	22	207	55	0.14	4.7	0.6
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	ns
II (‘96~’14years)	NPK	5.7	21	176	52	0.11	4.2	0.8
	NPK+L	6.4	22	176	60	0.12	5.2	1.2
	t-test	***	ns	ns	*	ns	***	***
I (‘69~’95year)	NPKS	6.2	22	211	109	0.13	5.2	0.5
	NPKS+L	6.4	22	214	120	0.13	5.5	0.6
	t-test	*	ns	ns	ns	ns	**	ns
I (‘69~’95year)	NPKC	5.4	28	278	47	0.16	3.9	0.7
	NPKC+L	5.8	27	257	66	0.17	5.8	0.7
	t-test	***	ns	**	***	ns	***	ns
II (‘96~’14year)	NPK	5.8	30	231	57	0.13	4.9	0.9
	NPK+L	6.3	30	220	82	0.15	6.3	1.3
	t-test	***	ns	ns	***	ns	***	***

†The lime for period I (‘69~’95 year) was applied in N+L, NPK+L, NPKC+L and NPKS+L and the lime for period II (‘96~’14year) in treatments (N+L, NPK+L, NPKC+L) except for NPKS+L.

‡N, P, K, C, S, and L mean nitrogen, phosphate, potassium, rice straw compost, silicate, and lime, respectively.

짚퇴비+소석회구를 제외하고는 소석회 무처리구와 소석회 처리구 사이에 통계적으로 유의한 차이는 없었다. Cheong et al. (1977)에 따르면 토양에 소석회 중화량 2배량을 사용하였을 때 인산의 유효도는 크게 증가하였다고 발표했으나, 본 실험은 토양분석에 근거한 소석회 중화량 1배량만을 사용하도록 되어 있어서 토양의 인산 유효도가 크게 증가하지 않았다고 생각된다.

벚짚퇴비와 소석회구의 병용 처리구는 벚짚퇴비구보다 시기 I (‘69~’95)에서 유효인산 함량 (Av.P₂O₅)은 더욱 증가하였지만, 시기 II (‘96~’14)에서는 유의한 차이는 없었으며, 이는 추후 연구가 필요하다.

유효규산 함량은 유안+소석회구가 유안구보다 시기 I (‘69~’95)에서 69 mg kg⁻¹이 높았고, 시기 II (‘96~’14)에서 227 mg kg⁻¹으로 더욱 높게 나타났다. 이로부터 유안비료와 소석회를 장기적으로 투입할수록 유효규산 함량이 더욱 증가한다는 것을 알 수 있었다. 시기 I (‘69~’95)과 시기 II (‘96~’14)에서 3요소+소석회구가 3요소구보다 각각 18, 8 mg kg⁻¹, 벚짚퇴비+소석회구가 벚짚퇴비구보다 각각 19, 25 mg kg⁻¹ 정도로 유의성 있게 증가하였지만, 규산구와 규

산+소석회구 사이에서 차이가 없었다. 유안과 소석회의 병행 투입은 토양 중 유효규산 함량이 가장 크게 증가하였고, 소석회의 칼슘이온과 유안비료의 황산이온이 일시적으로 결합하여 새로운 화합물을 형성하며, 이 화합물이 유효규산 증가에 영향을 주었을 것이라 추정된다. 몇몇 연구자들은 논토양에 소석회의 사용은 불가급태 규산이 유효태 규산으로 전환되어 유효규산 함량을 증가시킨다고 하였으나 (Park, 1975; Cheong et al., 1977; Kim, 2008), 어떠한 기작으로 유효규산 함량이 증가되는지는 아직 구체적으로 밝혀진 바 없다.

토양 중 치환성 칼슘 (Ex. Ca)도 모든 시기에 유안구와 유안+소석회구, 3요소구와 3요소+소석회구, 벚짚퇴비구와 벚짚퇴비+소석회구 사이에서 유의적 차이가 있었으나, 규산구와 규산+소석회구 사이에 차이가 없었다. 소석회가 투입되지 않은 규산구에서 규산질 비료로 칼슘이 공급되었기 때문으로 생각된다. 석회를 투입하면서 벼를 오랫동안 재배할 경우 치환성 칼슘도 증가된다는 Zhang and He (2004)의 연구결과와도 일치하였다.

토양 중 치환성 마그네슘 (Ex. Mg)은 유안구와 유안+소

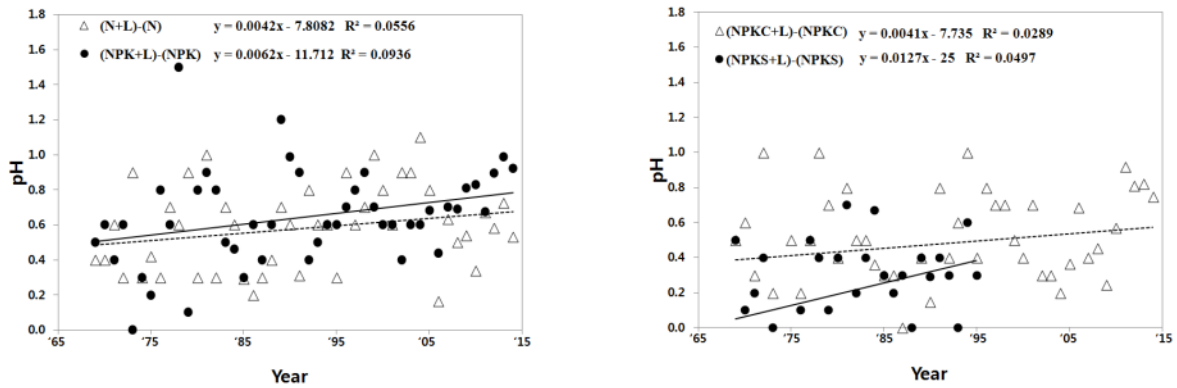


Fig. 2. Changes of pH difference between lime application treatment (N+L, NPK+L, NPKS+L, and NPKC+L) and no treatment (N, NPK, NPKS, and NPKC) from 1969 to 2014.

Table 2. Input and output in lime application treatments (N+L, NPK+L, NPKS+L, and NPKC+L) and no lime application treatments (N, NPK, NPKS, and NPKC).

Ca (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)		Treatment							
		N	N+L	NPK	NPK+L	NPKS	NPKS+L	NPKC	NPKC+L
Input	Fertilizer	-	702	-	702	1001	1703	396	1,299
	Irrigated water	201	201	201	201	201	201	201	201
Output	Crop	28	30	32	32	35	35	36	36
Balance	'69~'14year	173	874	169	871	1,167	1,869	561	1,263

석회구 간에, 3요소와 3요소+소석회구 간에, 벧짚퇴비구와 벧짚퇴비+소석회구 간에 시기 I ('69~'95)에서 차이가 없었지만, 시기 I II ('96~'14)에서는 유의성 있는 차이를 나타내어 관개수로 공급되는 마그네슘의 누적효과 때문으로 추정되며, 이것을 해석하는 것은 추후 연구가 더 필요하다고 생각된다.

유안구, 3요소구, 규산구, 벧짚퇴비구에 소석회를 처리할 경우 pH의 1년 단위당 변화량은 각각 0.0042 yr⁻¹, 0.0062 yr⁻¹, 0.0127 yr⁻¹, 0.0041 yr⁻¹로 규산구에 소석회 처리가 가장 증가량이 컸고, 그 다음은 3요소구, 벧짚퇴비구와 유안구에 소석회를 넣은 순서였다 (Fig. 2). 이와 달리 규산구에 소석회를 처리하면 pH가 가장 크게 증가하였는데, 이것은 투입되는 규산질비료의 부성분인 칼슘과 마그네슘 성분에 영향 때문으로 판단된다. 벧짚퇴비구와 유안구에 소석회를 투입한 것이 3요소구보다 pH 증가량인 낮은 이유는 각각 벧짚퇴비가 분해되는 과정에서 분비되는 유기산과 유안비료의 부성분인 황산이온의 작용 때문이라고 해석된다 (NIAST, 2003).

칼슘 수치 모든 처리구에서 칼슘 수치는 양의 값이었고, 소석회를 투입하지 않은 구가 소석회를 투입한 구보다 701~702 kg ha⁻¹ year⁻¹ 정도 높았고, 규산+소석회구, 벧짚+소석회구, 규산구 순으로 칼슘 수치가 높았으며 이들 처리구에서 치환성칼슘과 pH가 가장 많이 증가하였다 (Table

2). 칼슘 수치 (701~702 kg ha⁻¹ year⁻¹)가 1년 내 모두 치환성 칼슘으로 바뀐다고 가정하면 3.5 cmolc kg⁻¹이 된다. 그러나, 실제로 유안구, 3요소구, 벧짚퇴비구, 규산구에 소석회를 투입하였을 때 치환성 칼슘으로 전환되는 양은 각각 2.9, 1.7, 0.01, 0.07%에 불과하여 다른 형태의 화합물로 존재할 가능성이 높았다.

비료로 칼슘이 투입되지 않은 유안구와 3요소구의 칼슘 수치는 173, 169 kg ha⁻¹ year⁻¹로 양의 값으로 토양에 칼슘이 축적되고 있었다. 이것은 관개수로 공급된 칼슘의 양이 식물흡수로 제거된 양보다 많았기 때문이며, 관개수의 영향으로 논으로 유지된 토양은 칼슘성분이 높아지는 것으로 나타났다.

결국 소석회의 투입 (N+L, NPK+L, NPKC+L)은 토양에 칼슘의 축적량이 많도록 조장하였고, 소석회를 투입하지 않을 때보다 토양의 치환성 칼슘 함량을 더욱 상승시켰다.

작물 수량 소석회 투입은 논토양에서 벼의 정조 수량 생산에 미치는 영향을 평가하고자 유안구, 3요소구, 벧짚퇴비구, 규산구의 수량을 각각 100으로 정하고 유안+소석회구, 3요소+소석회구, 벧짚퇴비+소석회구, 규산+소석회구에 대한 상대지수를 시기별 (벼 품종이 변경된 시점)로 평가에서 유안구와 유안+소석회구 간에, 3요소구와 3요소+소석회구 간에, 벧짚퇴비구와 벧짚퇴비+소석회구 간에, 규산구와 규산+소석회구 간에 큰 차이를 나타내지 않았다

Table 3. Periodic change of rice grain yield from 1969 to 2014.

Period	Grain yield of rice (Mg ha ⁻¹)			
	Period I ('69~'95year)		Period II ('96~'14year)	
Rice type	Jinheoung ('69~'78)	Milyang 23 ('79~'85)	Daechung ('86~'04)	Samkwang ('05~'14)
Treatment				
N	5.56 (100) [†]	7.10 (100)	5.00 (100)	4.62 (100)
N+L	5.35 (96)	6.81 (96)	4.98 (100)	4.72 (102)
t-test	ns	ns	ns	ns
NPK	5.61 (100)	6.93 (100)	5.81 (100)	6.60 (100)
NPK+L	5.36 (95)	6.85 (99)	5.92 (102)	6.74 (102)
t-test	ns	ns	ns	ns
NPKS	6.17 (100)	7.69 (100)	6.61 (100)	-
NPKS+L	6.17 (100)	7.63 (99)	6.62 (100)	-
t-test	ns	ns	ns	-
NPKC	6.15 (100)	7.86 (100)	6.64 (100)	7.37 (100)
NPKC+L	5.99 (97)	7.41 (94)	6.59 (99)	7.70 (104)
t-test	ns	ns	ns	ns

[†]Relative grain yield of rice.

(Table 3). 특이산성토와 같은 강산성 토양에서 소석회를 처리하는 것은 벼의 수량 증가를 가져왔지만 (Park et al., 1972; Hwang et al., 1983; Kang and Ha, 1985; Sadiq and Babagana, 2012), 본 시험포장에서처럼 약산성 토양 (pH 5.2)에서 소석회의 장기적인 (53년) 투입은 작물 수량에 영향을 미치지 못하였다.

Conclusion

장기시험 논토양에 비료 (유안, 3요소, 벗짚퇴비, 규산)와 소석회의 병행 투입에 따른 토양화학성과 작물 수량을 검토하였다. 토양 pH, 치환성 칼슘, 유효규산 (규산 제외)은 증가하였고, 유안과 소석회의 병행 사용은 규산의 유효도를 더욱 크게 향상시켰다. 소석회를 1년에 평균 1,170 Mg ha⁻¹yr⁻¹로 투입할 경우 pH는 0.0035~0.0101 yr⁻¹ 정도로 증가하였고, 소석회를 병용하지 않을 때보다 소석회를 병용할 때 칼슘수치는 702 kg ha⁻¹ year⁻¹로 높게 나타나 토양의 칼슘 집적을 가속화하였다. 또한, 벼의 정조 수량은 증대하지 않았다. 결과적으로 시험 시작 당시 pH 5.2인 논토양에 소석회의 장기 사용은 토양 화학성의 변화를 가져왔지만, 작물의 생산성 향상에 기여하지 못하였다.

References

Cheong, H.S., J. J. Kim, and S. G. Han. 1977. Studies on the effect of phosphorus application and availability of silicate in Basalt soil applied lime. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 10(1):49-53.

Hwang, N.Y., K.H. Park, and J. K. Kim. 1983. Effect of line and phosphorus to rice plant on acid sulfate soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(1):64-71.

Kang, U.G. and H.S. Ha. 1985. Effect of lime and temperature on the changes of available soil nutrients in acid sulfate soil under submergence. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18(3): 282-288.

Kim, M.S., W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee, G.L. Jo, M.S. Ahn, S. C. Choi, H.J. Kim, Y.S. Kim, M.T. Choi, Y.H. Moon, B.K. Ahn, H.W. Kim, Y.J. Seo, Y.H. Lee. J.J. Hwang, Y.H. Kim, and S.K. Ha. 2010. Long-term Monitoring Study of soil chemical contents and quality in paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):930-936.

Kim, S.B. 2008. Effects of silicon fertilizer application on the paddy rice and soil physicochemical properties. Ph.D. Jeonnam National University.

Lindsay, W. L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

NAAS. 2010. *Fertilizer Recommendation for crops (revision)*. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.

NAAS. 2012. *Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality*. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.

NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of soil analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

NIAS. 2003. *Management practices of soil fertility for environment-friendly agriculture*. 50th anniversary symposium of Long-term experiments. National Institute of Agricultural

- Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Oh, W. K. 1990. Liming materials and desalinization of marine originated tidal soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 23(2):35-40.
- Oh, W. K. 1991. Desaline of marine soil by the application of straw and lime. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 24(1):35-40.
- Oh, W. K. and S.B. Kim. 1975. The amount of potash to be applied for basal and top dressing in case of liming. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 8(4):177-181.
- Oh, W. K., S. B. Lee, and C. H. Park. 1972. The effect of lime on the potassium requirement for low land paddy. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 5(2):39-42.
- Park, N. J. Y. S. Park, K. H. Lee, and Y. S. Kim. 1972. The effect of lime and wollastonite on an acid sulfate soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 5(1):25-29.
- Park, N. J., Y. S. Park, and Y. S. Kim. 1971. Effect of lime on growth of rice and changes in pH, Eh, Fe^{2+} , Al in an acid sulfate soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 4(2):168-175.
- Zhang, M. and Z. He. 2004. Long-term changes in organic carbon and nutrients of an Ultisol under rice cropping in southeast China. *Geoderma* 118:167-179.
- Sadiq, A. A. and U. Babagana. 2012. Influence of lime materials to ameliorate acidity on irrigated paddy fields: a review. *Academic Research International* 3(1):413-420.
- Yoon, J. H. 2004. Review and discussion on development of soil quality indicators. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(3):192-198.