

Research Article

Open Access

규산질비료가 시설재배지 토양특성과 고추수량에 미치는 영향

안병구,¹ 한수곤,¹ 김종엽,¹ 김갑철,¹ 고도영,¹ 정성수,¹ 이진호^{2*}

¹전북농업기술원 기후변화대응과, ²전북대학교 생물환경화학과

Influences of Silicate Fertilizer Application on Soil Properties and Red Pepper Productivity in Plastic Film House

Byung-Koo Ahn,¹ Soo-Gon Han,¹ Jong-Yeob Kim,¹ Kab-Cheol Kim,¹ Do-Young Ko,¹ Seong-Soo Jeong¹ and Jin-Ho Lee^{2*} (¹Division of Climate Change Task Force, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea, ²Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

Received: 3 September 2014 / Revised: 29 September 2014 / Accepted: 13 October 2014

Copyright © 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: This study was conducted to investigate effects of silicate fertilizer application on red pepper (*Capsicum annuum* L.) productivity with improving soil chemistry under plastic film house in paddy field.

METHODS AND RESULTS: The silicate fertilizer was applied as 0, 100, 200, and 300 kg/10a as basal dressing before transplanting pepper plant seedlings. Cultivar of the pepper plant was Cheon-Ha-Dae-Se. Amounts of inorganic fertilizer applied as N-P₂O₅-K₂O = 19.0-6.4-10.1 kg/10a was estimated depending on soil test values. After applying 50% of nitrogen, 100% of phosphorus, and 60% of potassium fertilizers as basal dressing, the seedlings of pepper plant were transplanted. The rests of nitrogen and potassium fertilizers were applied as side-dressing after the first, second, and fourth harvests of red pepper. When comparing selected chemical properties of soils between before transplanting and after final(the fifth) harvest, soil pH, available P₂O₅, and exchangeable Ca²⁺ increased with increasing the applications of silicate fertilizer, whereas

electrical conductivity(EC) decreased. However, exchangeable K⁺ was higher with the treatments of 100 and 200 kg/10a, and exchangeable Mg²⁺ was higher with 300 kg/10a application. In addition, nitrogen and phosphorus concentrations of red pepper collected from the first harvesting stage decreased with increasing the applications of silicate fertilizer, but potassium, calcium, and magnesium concentrations in red pepper were highest with 300 kg/10a application. Yield of red pepper increased between 9.0 and 11.8% with the applications of silicate fertilizer. Marketable fruit rate of red pepper was highest(97.3%) with 200 kg/10a application.

CONCLUSION: The application of silicate fertilizer as basal dressing in paddy-converted fields improved soil chemistry and increased red pepper productivity.

Key words: Paddy-converted field, Red pepper(*Capsicum annuum* L.), Silicate fertilizer, Soil chemistry

서론

규소는 기초 광물을 형성하는 요소로서 지각이나 토양을 구성하는 화학성분 중 산소에 이어 28%를 차지하는 성분이며, 벼를 포함한 각종 작물 생육에 필수적이라는 사실이 1920

*교신저자(corresponding author): Jin-Ho Lee
Phone: +82-63-270-2545; Fax: +82-63-270-2550;
E-mail: jinholee@jbnu.ac.kr

년대 미국 캘리포니아대학에서 처음 발견되었으나(Sommer, 1926), 국내에서는 1957년부터 눈에 규산질비료가 공급되기 시작했다(Joo and Lee, 2011). 정부에서 제공하는 규산질비료는 1970년대 후반부터 천연규회석에서 광재를 이용하여 제조한 비료로 교체되기 시작하였으며, 현재는 입상, 분상, 사상의 형태로 규산질비료가 공급되고 있다.

규소는 화분과작물에 필요한 물질로 수량을 크게 증대시키며(Epstein, 1994), 쌀 품질과 저장성을 향상시키고(Won *et al.*, 2008), 벚꽃의 규질비(SiO_2/N)를 증가시켜 벚의 목도 열병 예방효과(Joo and Lee, 2011)와 저장성을 향상(Kim *et al.*, 2011)시키는 등, 주로 화분과작물 중심으로 연구·활용되어 왔다. 그러나 규소를 원예작물에 적용한 연구에서 각종 영양생리에 대한 효과가 있는 것으로 나타났다.

카네이션과 칼라코 재배시 규산질비료를 사용한 결과 뿌리의 생체중, 건물중 그리고 엽 두께 등이 증가하였고(Bae *et al.*, 2010), 규소처리가 초장의 신장을 촉진시키고(Aoki and Ogawa, 1997; Miyake and Takahashi, 1983), CaSiO_3 처리시 엽록소 함량이 높아 작물 생육을 좋게 했다고 하였다. 규산칼륨 처리농도가 높을수록 오이 잎색이 진해지고, 광합성량은 증가하고, 엽병은 짧아지고, 생체중, 엽록소함량, 수용성 단백질 함량이 증가하였다(Son *et al.*, 2012; Keeping and Meyer, 2006). 한편 규소처리에 의해 초장과 꽃대길이가 짧아져 밀실재배로 인한 도장을 억제하여 보다 안정적인 건전묘를 생산할 수 있는 효과도 있다고 하였다(Sivanesan *et al.*, 2010).

식물 필수원소에 포함되지는 않지만 규소를 처리하여 재배한 식물은 각종 스트레스에 대한 저항성이 커지고, 식물의 직립성을 높여 광합성 효율을 증진시킨다(Ma 2004). 또한 양분 흡수를 도와 식물생육을 촉진하는 효과가 있고, 토양중 질소 함량을 크게 증가시키고, 인산활용도를 높이고, 질소의 흡수 이용률을 증진시켜 질소시비량을 저감할 수 있다(Lee *et al.*, 2005). 규산과 인산은 화학적 성질이 유사하여 길항적으로 작용함으로써 철이나 치환성 알루미늄의 활성부위를 어느 한 성분이 점유함으로써 다른 성분이 이에 고정되는 것을 억제하여 가급화를 촉진시키는 상조적인 효과가 있다. 규산이 토양내 인산의 유효도 증진과 작물의 인산흡수량 증가에 직접적인 효과가 있고, 처리량이 증가함에 따라 식물체의 인산흡수량 증가로 인해 토양 중 total-P이 감소하여(Lee and Kim, 2006) 토양염류집적을 예방할 수 있는 효과도 있다.

이와 같이 규소가 함유되어 있는 각종 규산질비료는 화분과 작물뿐만 아니라 원예작물 재배지의 토양 비옥도를 개선하고, 작물생육 촉진 및 병해충 방제 효과가 있었지만(Lee *et al.*, 2003; Ryu *et al.*, 2003; Lee and Yiem, 2000), 우리나라 밭작물에 대한 적정 규소함량이나 규산질비료의 시비기준이 설정되어 있지 않으며, 시설내에서 원예작물에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시설재배지에서 홍고추를 재배하는 동안 토양화학성을 개선하고, 생산성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

재료 및 처리내용

규산질비료가 고추비가림 시설재배지 토양에 미치는 영향을 조사하기 위해 전북 임실군 지사면 안하리 1287-3번지(E127.21.14.01, N35.35.42.55) 고추 재배 농가의 시설 하우스에서 천하대세(동부팜농) 품종을 육묘하여 2013년 4월 10일 정식하였다. 재식밀도는 고추 시설재배의 경우 임실고추연구소에서 권장하는 120 x 45 cm 간격을 따랐다.

규산질비료 처리는 토양중 유효규산함량, pH 및 유기물함량 등이 규산질비료 유효화에 영향을 미치는 주요 토양특성인 점을 고려하여 0, 100, 200, 300 kg/10a를 경운전에 토양처리 하였으며, 사용한 규산질비료는 입상규산질(풍농, 규산 25~28%, 고도 2~3%, 알칼리분 40~45%)이었다. 퇴비와 밀거름은 토양검정에 의한 시비기준($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=19.0\text{-}6.4\text{-}10.1$ kg/10a)에 따라 P_2O_5 는 전량, N는 시비기준량의 50%, K_2O 는 시비기준량의 60%를 밀거름으로 시비하였고, 웃거름은 N과 K_2O 잔량을 3회로 나누어 고추 1, 2, 4차 수확 후에 관주에 의해 시비하였다. 각 처리구는 단구제로 배치하였고, 크기는 165 m²였다. 물 관리와 웃거름시비를 위해 점적관수시설을 설치하여 수행하였다.

토양 및 식물체분석

토양은 시험전과 최종 수확기(5차)에 auger를 이용하여 처리구별로 3반복으로 채취하였고, 채취한 토양은 실험실에서 풍건하고 2 mm체를 통과한 것을 국립농업과학원의 토양화학분석법(NAAS, 2010)과 토양 및 식물체 분석법(농촌진흥청 농업과학기술원, 2000)에 따라 실시하였다. 토성은 micro pipette법으로 분석하였으며, 관정은 미국농무부 분류기준을 따랐다(Gee and Bauder, 1986). 토양 화학성 조사는 pH와 Electrical Conductivity(EC)는 풍건토양과 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하고 30분 진탕 후 pH meter(ORION 3 star, Thermo Scientific, Singapore)와 EC meter(ORION STAR A212, Thermo Scientific, Singapore)로 각각 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)은 1 N $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7.0)으로 치환 추출하여 원자흡광분광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Avanta, GBC Scientific Equipment Pty Ltd., Victoria, Australia)를 이용하여 분석하였다. Cation exchange capacity(CEC)는 Ammonium acetate 법, 유효규산은 1 M NaOAc 완충용액으로 추출하여 700 nm에서 비색정량 하였다.

식물체시료는 매 수확기마다 홍고추를 채취하였고, 앞은 1차 수확기(7월 29일)에 채취하여 증류수로 세척 후 70°C에서 72시간 건조 후 분쇄기(Pulverisette 5, Fritsch GmbH, Germany)로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 전질소 함량은 CN 원소분석기(Vario MAX CN, Elementar Analysensysteme GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였다. 식물체 시료를 흑연블록 산순환포집분해장치(Ecopre,

OD-lab, Seoul, Korea)를 이용하여 전처리하고, 인산은 ammonium vanadate법에 의한 비색정량, K, Ca, Mg는 원자흡광분광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, GBC Avanta, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Victoria, Australia)을 이용하여 분석하였고, S는 원소분석기(CNS-2000, LECO Co., ST. Joseph, USA)를 사용하여 분석하였으며, Si는 중량법으로 측정하였다.

고추 지상부 생육조사는 정식 이후 처리별로 각각 30주씩을 선정하여 초장, 경경(줄기 직경)과 절수를 정식 후 30일간격으로 2회(5월 10일, 6월 11일) 실시하였다. 경경은 지상부 2 cm 높이를 측정하였다. 고추 수량은 5회(7월 29일, 8월 8일, 8월 22일, 9월 24일, 11월 8일)에 걸쳐 수확하면서 생체중과 비상품과 등을 조사하였다. 병해충 피해를 받은 고추와 길이가 3 cm 이하인 과를 비상품과로 하였다.

고추 품질을 평가하기 위해 조사한 신미도는 capsaicin과 dihydrocapsaicin을 조사하였는데 건고추 시료 1 g을 50 mL tube에 취한 후 methanol 5 mL를 가하고 60°C 항온수조에서 145 rpm으로 10분 동안 추출하였다. 추출액과 methanol을 1:9(v/v)비율로 희석하여 여과(0.2 μ m)하였다. 분석은 HPLC(High-Pressure Liquid Chromatography, Alliance 2695 System, Waters Co. Milford, USA)를 이용하여 분석하였고, 분석 조건은 Table 1과 같다. 이때 표준용액은 Sigma-Aldrich 제품을 사용하였다.

통계분석 조사한 자료의 통계분석은 SPSS(19.0K)를 사용하여 실시하였다.

Table 1. Analytical conditions of High-Pressure Liquid Chromatography(HPLC) for determining capsaicinoids

Parameters	Condition
Column	C ₁₈ μ m 4.8x150 mm
Flow rate	0.8 mL/min
Ex λ	230 nm
Column temp.	35°C
Sample temp.	25°C
Solvent	35 : 65(w/v) = H ₂ O : ACN
Runtime	10 min
Injection volume	20 μ L

Table 2. Selected physical and chemical properties of soils in the experimental field before transplanting pepper plant seedlings

Particle size distribution(%)			Soil texture	pH (1:5)	EC ¹ (dS/m)	SOM ² (g/kg)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cation (cmol _c /kg)				Avail. SiO ₂ (mg/kg)
Sand	Silt	Clay						K	Ca	Mg	Na	
40.1	32.1	27.8	L	5.6	0.58	26	133	0.23	4.9	1.2	0.13	135

¹: Electrical Conductivity; ²: Soil Organic Matter.

결과 및 고찰

토양특성

고추를 재배한 토양은 주로 곡간지에 분포하는 회곡토으로 그동안 논으로 사용하다가 시설하우스로 전환한지 2년된 곳으로, 토양의 물리화학적 특성은 Table 2와 같다. 토성은 모래 40.1%, 미사 32.1%, 점토 27.8%인 양토였으며, 화학성은 농촌진흥청에서 제시하는 고추재배지 적정범위(작물별 시비처방 기준, 국립농업과학원, 2010, pH 6.0~6.5, OM(Organic Matter) 25~30 g/kg, Avail. P₂O₅ 450~550 mg/kg, Exch.-K⁺ 0.70~0.80 cmol_c/kg, -Ca²⁺ 5.0~6.0 cmol_c/kg, -Mg²⁺ 1.5~2.0 cmol_c/kg, CEC 10~15 cmol_c/kg, EC 2 dS/m 이하) 보다 pH, 유효인산, 치환성 양이온 농도가 낮은 수준이었다.

수확기 토양특성 변화를 조사하기 위해 2013년 11월 8일 5번째 고추를 수확하면서 토양을 채취하여 분석하였다(Table 3).

수확기 토양 pH는 무처리구의 경우 정식전보다 감소하였지만, 규산질비료 처리구는 처리량에 따라 증가하는 경향을 보였고, EC는 무처리구에서 정식전보다 증가하였지만, 규산질비료 처리구는 처리량이 적을수록 낮아졌다. Cho 등(2004)도 규산질비료 시비량에 따라 pH가 증가하였고, 규산질비료 100 kg/10a 처리로 pH를 0.1~0.2 단위로 증가시킬 수 있다고 하였다. Joo 와 Lee(2011)의 연구에서도 규산질비료 시비량이 증가할수록 토양 pH는 증가하였는데, 이는 규산질비료에 함유되어 있는 Ca²⁺과 Mg²⁺과 같은 염기성 양이온이 토양용액내로 용해되고 또한 규산염이 일부 토양용액에서 가수분해 되어 pH가 상승된다고 하였다. 본 연구에서도 치환성 Ca²⁺이 규산질비료량과 비례관계를 보였지만, 치환성 Mg²⁺은 변화가 없었다. 그러나 치환성 Na⁺은 다소 증가하는 경향을 보였다. Lee 등(2003)의 연구에서도 규산질비료 처리구에서 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺ 함량이 증가하는 경향이였지만 통계적인 유의성은 없었다고 하였다. 농경지를 답전윤환 하였을 때 석회질비료 대신 규산질비료를 사용하여 시설재배지의 토양 pH를 개선할 수 있을 것이다. 하지만 시설재배지에서 pH가 적정범위 이상으로 유지되면 인산흡수가 억제되거나 암모니아 가스 발생 우려가 있어 필요이상으로 pH를 증가시키지 않도록 규산질비료를 사용해야 할 것이다.

토양유기물 함량은 100 kg/10a 처리구에서 29 g/kg으로 가장 많았으며, 유효인산은 규산질비료 처리량과 비례관계를 보였다. 유효인산 함량증가는 규산질비료 시용에 따라

Table 3. Changes of soil chemical properties in final harvesting time of red pepper(*Capsicum annuum* L.) as influenced by applications of silicate fertilizer

Silicate fertilizer application (kg/10a)	pH (1:5)	EC ¹ (dS/m)	SOM ² (g/kg)	Avail. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cation (cmol _c /kg)				Avail. SiO ₂ (mg/kg)
					K	Ca	Mg	Na	
Control	5.0 c*	0.69 a	25 b	139 d	0.55 a	4.7 d	1.1 a	0.14 b	124 d
100	6.0 b	0.49 c	29 a	148 c	0.58 a	5.2 c	1.1 a	0.15 b	325 c
200	6.1 ab	0.54 b	27 ab	157 b	0.58 a	6.0 b	1.1 a	0.17 a	358 b
300	6.3 a	0.56 b	27 ab	171 a	0.56 a	6.8 a	1.2 a	0.13 b	439 a
Optimal range	6.0~6.5	2 >	25~35	450~550	0.7~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan's test, $p < 0.05$);

¹: Electrical Conductivity; ²: Soil Organic Matter.

토양 pH가 개선되고, 유효규산함량이 무처리(124 mg/kg)에 비해 2.6~3.5배 증가가 직접적인 영향인 것으로 판단된다. Suehisa 등(1963)도 규산질비료가 토양중 인산가용화를 촉진하고 앞에서 증산을 감소시켜 수분 손실을 줄여 준다고 하였다.

시험전 토양 중 유효인산함량이 133 mg/kg 수준에서 고추재배에 적절한 범위(450~550 mg/kg)에 맞추기 위해 토양검정에 의한 시비가 이루어졌어도 수확기 토양 중 유효인산함량은 139~171 mg/kg으로 정식 전에 비해 3~38 mg/kg이 토양에 잔류하였고, 재배기간 동안 인산결핍장애 등이 나타나지 않아 밀거름으로 시비한 인산질비료를 충분히 활용하였다고 판단된다. 하지만 규산질비료가 과다할 경우 인산흡수를 방해하여 생육을 저해할 수도 있어 발작물에 대한 시비기준이 만들어져 농가에 보급되어야 할 것이다.

토양 중 유효규산함량은 규산질비료 처리량과 비례관계를 보였다. 규산과 인산은 서로 경쟁관계에 있어 유효인산함량이 낮은 토양의 경우 규산질비료의 유효화가 상대적으로 높아진다(Cho *et al.*, 2004). 본 시험포의 경우 유효인산함량이 139 mg/kg으로 적정범위 보다 낮은 수준이어서 유효규산함량이 상대적으로 대조구에 비해 높아진 것으로 판단된다. 한편 고추 앞에서는 규산질비료 처리간에 Si 함량 차이(Table 5)가 없어 토양 중 유효규산함량과는 관계없이 식물체가 규산

을 흡수하는 양은 비슷하다고 할 수 있다.

고추시설재배지에서 규산질비료를 사용함에 따라 토양비옥도가 개선되고, 염류집적은 나타나지 않아 다른 시설원예작물 재배시에도 규산질비료를 활용할 수 있을 것으로 판단되지만, 사용량에 대해서는 작물에 따라 검토가 이루어져야 한다고 본다.

생육특성

고추 정식 후 30일(5월 10일)과 60일(6월 9일)에 규산질비료 처리에 따른 생육상황을 비교하기 위해 초장, 줄기직경, 절수를 조사하였다(Table 4). 초장은 정식 30일 조사에서 차이가 없었지만, 60일 조사에서는 무처리와 200 kg/10a 처리구에서 같은 수준을 보였다. 표토로부터 2 cm 높이에서 측정한 줄기직경은 30일의 경우 무처리에서 낮았지만, 60일에서는 규산질비료 처리간에 차이가 없었다. 절수는 30일의 경우 무처리와 200 kg/10a 처리구가 많았지만, 60일의 경우 100 kg/10a 처리구가 가장 적었다. 따라서 정식 60일까지는 무처리와 200 kg/10a 처리구에서 같은 수준을 보여 규산질비료가 지상부 생육에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

시험기간 동안 홍고추를 5차에 걸쳐 수확하였는데, 1차 수확을 하면서 가장 최근에 성숙한 잎을 채취하여 무기성분 함량을 조사하였다(Table 5). N과 P는 규산질비료 처리량이 증

Table 4. Growth of red pepper(*Capsicum annuum* L.) plant as affected by applications of silicate fertilizer

Silicate fertilizer application (kg/10a)	Plant height(cm)		Stem diameter(mm)		Node(Number/plant)	
	May 10	Jun 9	May 10	Jun 9	May 10	Jun 9
Control	33.4 a*	103.3 a	6.23 b	12.20 a	9.0 a	10.6 a
100	40.9 a	100.3 b	7.01 a	13.62 a	8.6 b	9.9 b
200	45.6 a	104.3 a	7.06 a	13.69 a	9.0 a	10.2 ab
300	44.2 a	101.7 b	6.65 a	13.78 a	8.4 b	10.4 a

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan's test, $p < 0.05$).

Table 5. Selected nutrient contents in leaves of red pepper (*Capsicum annuum* L.) as influenced by applications of silicate fertilizer

Silicate fertilizer application (kg/10a)	N (%)	P (mg/kg)	K	Ca	Mg	S	Si
Control	5.36 a*	1,951 a	5.13 b	2.40 c	0.71 b	0.48 a	0.86 a
100	5.23 ab	1,765 ab	4.97 b	2.50 c	0.88 b	0.47 a	1.00 a
200	5.06 ab	1,414 b	5.99 b	3.14 b	0.92 b	0.49 a	1.00 a
300	4.57 b	1,251 b	8.28 a	4.04 a	1.41 a	0.47 a	0.96 a

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan's test, $p < 0.05$).

가할수록 감소하는 결과를 보였고, K, Ca, Mg은 규산질비료 300 kg/10a 처리구에서 가장 많았고, 무처리에서 가장 낮은 수준을 보였다. 이는 규산질비료가 N, P와는 길항작용, K, Ca, Mg과는 상조작용을 한다는 것을 알 수 있다. 한편 S와 Si는 규산질비료 처리간에 차이가 없었다. 그러나 고추잎이 아닌 식물체 전체로 본다면 규산처리량 증가에 따른 수량증대로 인산흡수량이 증가할 것이다(Lee and Kim, 2006). Lee 등(2003)은 참외 잎에서 규산질비료 시용에 따라 인산과 규산이 증가하여 본 연구와 상반된 결과를 보였다. 따라서 인산과 규산은 작물에 의한 흡수과정에서 경쟁관계인지 아닌지 검토가 필요하다.

한편 작물별 규소함량은 화본과작물의 경우 건물량으로 10~15%, 곡류작물 1~3%, 쌍자엽식물은 0.5% 함유하고 있는데(Vorm, 1980), 본 연구에서는 규산질비료 처리구에서 0.96~1.00% 수준을 보였다.

수량특성

홍고추 수확을 5차례 실시하면서 수확시기별로 조사한 수량은 후기로 갈수록 감소하였다(Fig. 1). 1차(July 29)와 3차(August 22) 수확기에는 처리간에 차이가 없었지만, 2차(August 8)와 4차(September 24) 수확기에는 규산질비료 처리구가 대조구보다 수량은 많았지만 규산질비료처리량에 따른 수량변화는 없었고, 5차 수확기에는 300 kg/10a 처리구에서 수량이 가장 많았다.

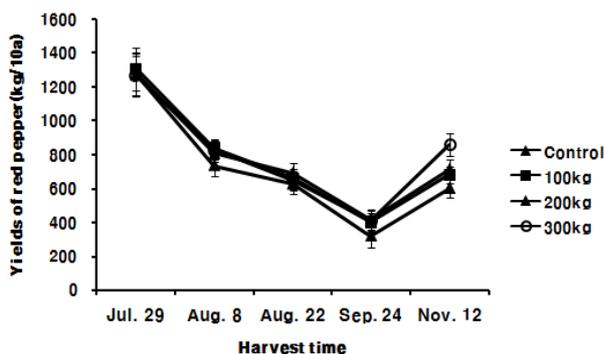


Fig. 1. Effects of silicate fertilizer applications on yields of red pepper (*Capsicum annuum* L.) during the harvesting periods.

수확시기가 후반으로 갈수록 비상품과 수량은 증가하는 경향을 보였고, 대조구 증가폭이 가장 컸다(Fig. 2). 초기 수확기 비상품과 수량은 규산질비료 200 kg/10a 처리구에서 가장 낮았지만, 후기로 갈수록 규산질비료 처리량과 반비례관계를 보여 규산질비료가 고추품질에 향상시키는 것으로 나타났다.

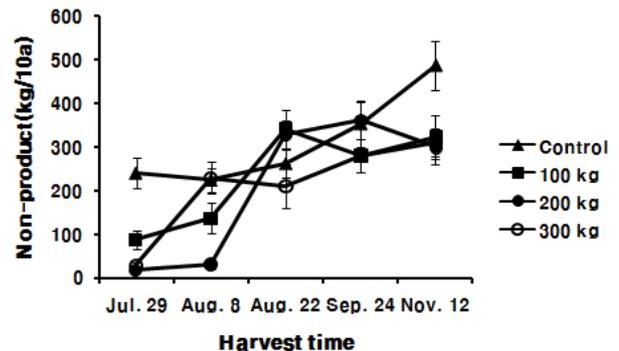


Fig. 2. Effects of silicate fertilizer applications on rates of diseased red pepper (*Capsicum annuum* L.) during the different harvesting times.

규산질비료 처리에 따른 홍고추 수량특성은 Table 6에서 보는 바와 같이 대조구에 비해 수량은 9~11.8% 증가하였다. 특히 규산질비료 200 kg/10a 수준으로 처리했을 때 가장 높았다. 홍고추 총 수량은 300 kg/10a 처리구에서 가장 많았지만, 200 kg/10a 처리구에서 비상품과 105 kg/10a 으로 가장 낮았고, 상품과율 97.3%로 가장 높았던 결과이다. 한편 대조구에서 상품과율이 가장 낮았고, 규산질비료 처리량에 따라 상품과율이 증가하였다.

규산질비료 시비량과 고추 수량과의 관계는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 $Y = -0.0022X^2 + 0.827X + 645.7$ ($R^2 = 0.9838$)의 관계식을 얻었다. 이 회귀곡선식에 따른 최고 수량을 얻을 수 있는 규산질비료 시비량은 187.9 kg/10a이고, 수량은 723.4 kg/10a 이었다. Kwak 등(2001)에 따르면 작물재배에 적절한 질소시비량을 산출하기 위해서는 최고수량보다 경제적인 이윤을 고려한 시비가 이루어져야 하는데, 경제적인 적정시비량은 최고 수량의 95% 수준에 해당하는 시비량이라 할 수 있다. 비록 질소는 아니지만 본 연구에서 최고 수량의 95% 수준(687.2 kg/10a)을 얻을 수 있는 규산질비료 시비량은 59.7

Table 6. Parameters to evaluate red pepper(*Capsicum annuum* L.) productivity as influenced by applications of silicate fertilizer

Silicate fertilizer application (kg/10a)	Total yield of red pepper (FW, kg/10a)	Non-product of red pepper (FW, kg/10a)	Product rate of red pepper (%)	Yield of dry red pepper (kg/10a)	Yield index
Control	3,578 b*	157 a	95.6 b	644 c	100.0
100	3,898 a	117 b	97.0 a	712 ab	110.6
200	3,924 a	105 c	97.3 a	720 a	111.8
300	4,013 a	106 c	97.2 a	702 b	109.0

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan's test, $p < 0.05$).

kg/10a 으로 계산되었다.

따라서 시설재배지에서 고추재배시 규산질비료를 밀거름으로 사용하면 토양 pH가 개선되고 집적되는 염류량은 감소하였고, 비상품과 수량은 감소하여 생산량이 증가한 결과를 보여, 논토양에 시비하도록 공급된 규산질비료를 여러 가지 이유로 사용하지 않고 방치하고 있는 경우에 이를 시설재배지에 활용함으로써 토양화학성을 개선하고 자원을 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 본다.

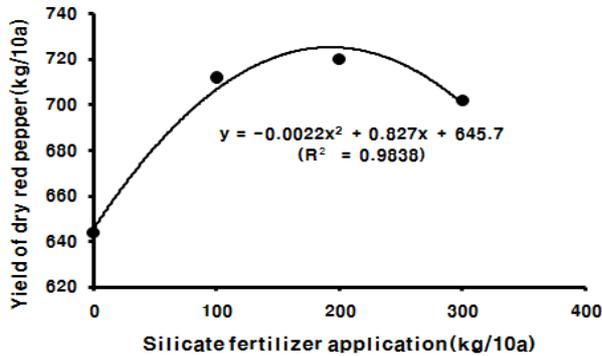


Fig. 3. Relationship between yield of dry red pepper(*Capsicum annuum* L.) and application levels of silicate fertilizer.

수확시기별로 채취한 고추 과의 capsaicinoids 함량은 capsaicin과 dihydrocapsaicin의 합계로 조사하였다(Fig. 4). 1차에 수확한 고추의 capsaicinoids 함량은 규산질비료 처리량과 비례관계를 보였지만, 3차와 4차에는 100 kg/10a 처리구에서 높았고, 다시 5차에는 300 kg/10a 처리구에서 높았다. 수확시기별로 홍고추 수량과 비슷한 경향을 보였고, 수확시기에 따라 큰 차이가 있었다. Cho 등(2004)의 연구에서도 고추 수확시기에 따라 capsaicinoids 함량 차이가 크다고 하였다. 그러나 Table 7에서 보는 바와 같이 1~5차까지 조사한 신미도 함량의 평균값을 비교해보면 capsaicin 404.7~516.9 mg/kg, dihydrocapsaicin 162.9~194.4 mg/kg, capsaicinoids 590.7~705.1 mg/kg으로 처리간에 통계적인 차이가 없었다. Capsaicinoids는 환경스트레스나, 품종 등에 의해 영향을 크게 받고 정도차이가 크다고 하였다 (Harvell and Bosland, 1997; Bosland, 1996).

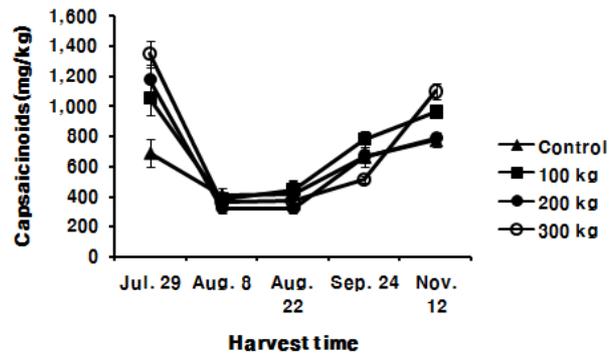


Fig. 4. Changes in the concentrations of capsaicinoids in red pepper(*Capsicum annuum* L.) during the harvesting period as affected by silicate fertilizer applications.

Table 7. Changes in the concentrations of capsaicinoids in red pepper(*Capsicum annuum* L.) as influenced by applications of silicate fertilizer

Silicate fertilizer application (kg/10a)	Capsaicinoids (mg/kg)		
	Capsaicin	Dihydrocapsaicin	Capsaicinoids
Control	404.7 a*	186.0 a	590.7 a
100	516.9 a	188.2 a	705.1 a
200	451.4 a	162.9 a	614.3 a
300	485.7 a	194.4 a	680.1 a

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different(Duncan's test, $p < 0.05$).

요약

홍고추 생산을 위해 논 시설재배지의 토양화학성을 개선하고 생산성에 미치는 영향을 조사하기 위해 고추 정식 전에 규산질비료를 0, 100, 200, 300 kg/10a를 처리하였다. N-P₂O₅-K₂O는 토양검정에 의해 밀거름으로 질소 50%, 인산 100%, 칼리 60%을 시비한 후, 천하대세 품종을 120 x 45 cm 간격으로 정식하고, 웃거름은 1, 2, 4차 수확 후 3회에 나누어 질소와 칼리를 시비하였다.

최종 5차 수확기에 조사한 토양 pH, 유효인산, 치환성 Ca²⁺은 규산질비료 처리량에 따라 증가하였고, EC는 감소하

였다. 유기물함량은 대조구보다 높았고, 치환성 K^+ 은 100과 200 kg/10a, Mg^{2+} 는 300 kg/10a 처리구에서 높았다. 규산질비료가 정식 60일까지 지상부 생육에 미치는 영향은 적었다. 고추 1차 수확기 앞에 함유되어 있는 N과 P는 규산질비료 처리량과 반비례 관계였고, K, Ca, Mg은 300 kg/10a 처리구에서 가장 많았다. 홍고추 수량은 대조구에 비해 규산질비료 처리구에서 9.0~11.8% 증가하였고, 200 kg/10a 처리구에서 상품과율이 97.3%로 가장 높았고, 비상품과는 105 kg, FW/10a 수준으로 가장 낮았다. 규산질비료 시비량과 견고추 수량의 관계식($Y=-0.0022X^2+0.827X+645.7$, $R^2=0.9838$)에 따른 최고수량은 723.4 kg/10a, 이때 규산질비료 시비량은 187.9 kg/10a 이었다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 답전윤환 시설재배지에 규산질비료를 밑거름으로 사용하면 토양화학성이 개선되고, 비상품과 수량이 감소하고 생산량이 증가하였다.

References

- Aoki, M., Ogawa, M., 1997. Influence of silicon on the blossom-end rot and growth of tomato, *J. Sci. Soil Manure*. 48, 156-159.
- Bae, M.J., Park, Y.G., Jeong, B.R., 2010. Effect of a silicate fertilizer supplemented to a medium on the growth and development of potted plants, *Glower Res. J.* 18, 50-56.
- Bosland, P.W., 1996. The chile industry in the western region of the USA, *J. Kor. Capsicum. Res. Coop.* 4, 1-9.
- Cho, H.J., Choi, H.Y., Lee, Y.W., Lee, Y.J., Chung, J.B., 2004. Availability of silicate fertilizer and its effect on soil pH in upland soils, *Korean J. Environ. Agric.* 23, 104-110.
- Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91, 11-17.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. *Particle size analysis. In Methods of soil analysis, Part In A. Klute*, pp. 383-411. second ed. American Society of Agronomy, Madison, USA.
- Harvell, K.P., Bosland, P.W., 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chilles, *Hort. Sci.* 32, 1292.
- Joo, J.H., Lee, S.B., 2011. Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 1016-1022.
- Keeping, M.G., Meyer, J.H., 2006. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker(Lepidoptera: Pyralidae): Effects of silicon source and cultivar, *J. Appl. Entomol.* 130, 410-420.
- Kim, M.S., Kim, Y.H., Hyun, B.K., Yang, J.E., Zhang, Y.S., Yun, H.B., Sonn, Y.K., Lee, Y.J., Ha, S.K., 2011. Rice yield and changes of available silicate in paddy soils from long-term application of chemical fertilizers and soil amendments, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 1118-1123.
- Lee, C.H., Yang, M.S., Chang, K.W., Lee, Y.B., Chung, K.Y., Kim, P.J., 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice(*Oryza sativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38, 194-201.
- Lee, J.S., Yiem, M.S., 2000. Effect of soluble silicon on development of powdery mildew(*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants, *Korean J. Pestic. Sci.* 4, 37-43.
- Lee, S.H., Cho, H.J., Shin, H.J., Shin, Y.S., Park, S.D., Kim, B.J., Chung, J.B., 2003. Effect of silicate fertilizer on oriental melon in plastic film house, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36, 407-416.
- Lee, Y.B., Kim, P.J., 2006. Effects of silicate fertilizer on increasing phosphate availability in salt accumulated soil during Chinese cabbage cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39, 8-14.
- Ma, J.F., 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stress, *Soil Sci. Plant Nutr.* 50, 11-18.
- Mitani, N., Ma, J.F., 2005. Uptake system of silicon in different plant species, *J. Expt. Bot.* 56, 1255-1261.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1983. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant, *Soil Sci. Plant Nutr.* 29, 71-83.
- NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2010. *Methods of soil chemical analysis*, Rural Development Administration, Korea. ISBN : 978-89-480-0913-2 93520.
- Ryu, N.H., Choi, M.Y., Ryu, Y.J., Cho, H.J., Lee, Y.S., Lee, Y.D., Chung, J.B., 2003. Suppression of powdery mildew development in oriental melon by silicate fertilizer, *Korean J. Environ. Agric.* 22, 255-260.
- Sivanesan, I., Son, M.S., Lee, J.P., Jeong, B.R., 2010. Effects of silicon on growth of *Tagetes patula* L. 'Boy Orange' and Yellow Boy seedlings cultured in an environment controlled chamber, *Propagation Ornamental Plants* 10, 136-140.
- Sommer, A.H., 1926. Studies concerning the essential nature of aluminium and silicon for plant growth, *Univ. California Publ. Agric. Sci.* 5, 57.
- Son, M.S., Oh, H.J., Song, J.Y., Lim, M.Y., Sivanesan, I., Jeong, B.R., 2012. Effect of silicon source and application method on growth of kalanchoe Peperu,

- Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 30, 250-255.
- Suehisa, R.H., Young, O.R., Sherman, D.G., 1963. Effects of silicates on phosphorus availability to sudangrass grown on Hawaiian soils, *Hawaii Agric. Exp. Stn. Bull.* p. 51.
- Van der Vorm, P.D.J., 1980. Uptake of Si by five plant species as influenced by variations in Si-supply. *Plant and Soil* 56, 153-156.
- Won, J.G., Kim, S.J., Ahn, D.J., Seo, Y.J., Choi, C.D., Lee, S.C., 2008. Effect of silicate application on grain quality and storage characteristics in rice, *Korean J. Crop. Sci.* 53, 31-36.