ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 48(5), 456-463 (2015)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2015.48.5.456

Article

Effects of Granular Silicate on Watermelon (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*) Growth, Yield, and Characteristics of Soil Under Greenhouse

Young-Sang Kim*, Hyo-Jung Kang, Tae-Il Kim, Taek-Gu Jeong, Jong-Woo Han, Ik-Jei Kim, Sang-Young Nam, and Ki-In Kim[1]

Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Chungweon
[1]Department of Horticultural Science, Mokpo National University, Jellanam-do Mu-An

(Received: August 26 2015, Revised: October 22 2015, Accepted: October 23 2015)

The objective of this study was to determine the effects of granular type of silicate fertilizer on watermelon growth, yield, and characteristics of soil in the greenhouse. Four different levels of silicate fertilizer, 0(control), 600, 1,200, 1,800 kg ha^{-1} were applied for experiment. The silicate fertilizer was applied as a basal fertilization before transplanting watermelon. Compost and basal fertilizers were applied based on the standard fertilizer recommendation rate with soil testing. All of the recommended P_2O_5 and 50% of N and K_2O were applied as a basal fertilization. The N and K_2O as additional fertilization was split-applied twice by fertigation method. Watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) cultivar was 'Sam-Bok-KKuol and main stem was from rootstock (bottle gourd: *Lagenaria leucantha* Standl.) 'Bul-Ro-Jang-Sang'. The watermelon was transplanted on April, 15. Soil chemical properties, such as soil pH, EC, available phosphate and exchangeable K, Mg, and available SiO_2 levels increased compared to the control, while EC was similar and the concentrations of soil organic matter decreased. Physical properties of soils, such as soil bulk density and porosity were not different among treatments. The growth characteristics of watermelon, such as stem diameter, fresh and dry weight of watermelon at harvest were thicker and heavier for silicate treatment than the control, while number of node was shorter than the control. Merchantable watermelon increased by 3-5% compared to the control and sugar content was 0.4 to 0.7 °Brix higher than the control. These results suggest that silicate fertilizer application in the greenhouse can improve some chemical properties of soils and watermelon stem diameter and dry weight, which are contributed to watermelon quality and marketable watermelon production.

Key words: Greenhouse, Silicate fertilizer, Soil chemistry, Watermelon

Effect of applications of silicate fertilizer on the watermelon yield and its components.

Silicate fertilizer level	Fruit weight	Fruit length	Fruit width	Fruit thickness	Sugar content
kg ha^{-1}	kg ea^{-1}	---------- cm ----------			°Brix
0	9.1b†	26.7b	23.3b	1.1a	10.8b
600	9.4a	27.6a	23.8a	1.1a	11.5a
1,200	9.5a	27.7a	23.9a	1.2a	11.2ab
1,800	9.2b	27.0b	23.9a	1.1a	11.3ab

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

*Corresponding author : Phone: +82432205861, Fax: +82432205859, E-mail: suanbo@korea.kr
§Acknowledgement : This research was supported by a grant from "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ0094242015)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

친환경 농업은 생태계와 조화를 이루어 자연의 재생산 과정을 유지하고 환경을 보전하여 지속안정적인 생산성을 유지하는 농업체계이다. 안전 먹거리에 대한 관심과 환경문제에 대한 이슈화로 친환경 농업에 대한 관심이 높아짐에 따라 원예작물에 대한 규산의 효과시험이 많이 이루어지고 있다 (Cho et al., 2004). 규소는 지각이나 토양을 구성하는 기초 광물 중 하나의 원소로써 화학성분 중 산소에 이어 28%를 차지하는 성분이다. 자연 중에 존재하는 규소는 단독으로 존재하기보다는 항상 다른 원소와 결합되어 있으며, 특히 산소와 친화성이 좋아 silicate 혹은 silica 형태로 존재하며, 산소나 다른 금속 물질과 많이 결합되어 있다 (Lee, 2012). 규산은 작물에 필수요소는 아니지만 규소 (Si)가 식물체에 다양한 효과에 대한 인식이 높아짐에 따라 전 세계적으로 규소의 역할에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Richmond and Sussman, 2003). 벼와 같은 화본과 식물의 경우 규소가 필수원소로 인정되고 있으며, 토마토와 오이 등의 작물에서도 규소가 일부 필수원소로 밝혀지고 있는데 (Miyake and Takahashi, 1978; Miyake and Takahashi, 1983), 토마토의 경우 개화기 이후 규소가 부족하면 잎의 발생이 정상적이지 못하고 수분작용에 문제가 되며, 심할 경우에는 결실이 불량해지기도 한다 (Miyake and Takahashi, 1978). 식물이 흡수한 규소는 줄기 피층세포에 축적되어 조직의 물리적 강도를 높여 화본과 작물의 생육과 수량을 증가시킨다 (Epstein, 1994). 벼에 규산질비료를 시용할 경우 도열병, 깨씨무늬병, 뿌리썩음병과 바이러스성, 세균성 병해 및 이화명충 등의 병해를 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Sherwood and Vance, 1980). 또한 규소를 처리하여 재배한 식물은 각종 스트레스에 대한 저항성이 커지고 식물의 직립성을 높여 광합성 효율을 증진 시킨다 (Ma, 2004). 아울러 규산은 토양 내 인산의 유효도 증진과 작물의 인산흡수량 증가에 직접적인 역할로 토양 중 Total-P을 감소시켜 토양염류집적을 예방할 수 있는 효과도 있다 (Lee and Kim, 2006). 규산질비료의 시용은 토양 pH 상승 및 유기물질의 분해를 촉진하고 토양의 양분 공급력을 높이며 (Elawad and Green, 1979), 식물체 질소 흡수량을 감소시키는 반면 규산 흡수량을 증가시킨다고 보고되었다 (Kim, 2008). 국내에서는 규소의 작용과 효과에 대하여 대부분 벼를 대상으로 연구되었으며, 최근에 일부 밭작물과 시설재배 작물에서 연구가 이루어지고 있다 (Lee et al, 2003). 오이, 수박, 참외, 호박과 같은 박과작물에서 규산질비료를 시용하면 병충해 방제와 수량 증가가 있는 것으로 보고되고 있다 (Cho et al., 1998; Lee and Yiem, 2000; Menzies et al., 1991; Menzies et al., 1992). 이러한 규소의 다양한 효과로 일부 시설수박 재배 농가에서 규산질비료를 활용하고 있으나 수박에 대한 효과구명 및 적정 시용수준이 설정되어 있지 않으며, 규산질비료가 시설토양에 시용되었을 때 토양 환경 변화에 대한 연구가 수행되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 시설수박 재배시 규산질비료가 수박의 생육과 수량 및 시설재배지 토양 이화학성에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

Materials and Methods

시설수박재배지에서 규산질비료 시비가 수박의 생육과 수량 및 시설재배지 토양환경 변화에 미치는 영향에 대한 재배시험을 충북 음성군 대소면 대금로 326-8번지 수박연구소 시설하우스에서 수행하였다. 규산 시비는 0 (대조구), 600, 1,200 및 1,800 kg ha^{-1}로 4수준으로 처리하였다. 시험에 사용한 입상 규산질비료는 규산 25%, 알칼리분 40%, 고토 2%가 함유된 비료이었다. 처리 시기는 수박 정식 전인 3월 중순에 퇴비와 밑거름 시용시 전량 밑거름으로 처리하였다. 퇴비 (15,000 kg ha^{-1})와 밑거름은 토양검정 시비량 ($N-P_2O_5-K_2O$=138-49-87 kg ha^{-1})을 기준으로 P_2O_5는 전량, N는 토양검정시비량의 50%, K_2O는 토양검정시비량의 50%를 밑거름으로 시비하였고, 웃거름은 N과 K_2O 잔량을 2회로 나누어 관주에 의해 시비하였다. 사용된 수박 (*Citrullus lanatus* Thunb.) 품종은 '삼복꿀'로 대목은 박 *(Lagenaria leucantha* Standl.)인 '불로장생'을 육묘장에서 구입하여 정식 전 육묘상에서 2일 순화시키어 4월 15일에 정식하였다. 육묘시 묘상에서 발생할 수 있는 병충해 방제를 위하여 흰가루병, 만고병 및 진딧물 약제를 1회 살포하였다. 수박 정식은 녹색 PE 필름 (0.03 mm)을 피복 후 본엽 3~4매인 접목묘를 이랑너비를 250 cm, 포기사이를 45 cm로 하여 이랑의 안쪽 20 cm 부근에 정식하였다. 야간저온에 대비하여 4월 말까지 소형터널을 설치하여 온도 및 습도를 관리하였으며, 정식 후 본엽 4~5매 일 때 적심한 후 원줄기와 건실한 아들줄기 2본을 선택하여 3줄기로 유인하여 재배하였다. 수정벌을 이용하여 1주일간 (5월 20일~5월 26일) 수분을 실시하고, 15~21절에 주당 3과를 착과 시킨 후, 건전한 1과를 남기고 2과는 적과하였으며, 기타 재배방법 및 관리는 표준재배법에 준하여 관리하였다. 수박 생육과 과실특성 등은 농업과학기술연구 조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여, 만장, 절간장, 절수, 과중 등을 조사하였고, 당도는 당도계 (Atago, PAL-1, Japan)를 사용하여 측정하였다. 수확한 과실은 기형과, 공동과 등을 비상품과로 분류하여 조사하였다.

토양분석 이화학적 특성 분석을 위한 토양 시료는 표토 0~20 cm 깊이에서 Augar를 이용하여 채취하였다. 채취된 토양을 음지에서 자연건조 시킨 후 2 mm 체를 통과한 토양을 시료로 사용하였으며, 국립농업과학원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH

와 EC는 시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕한 후 pH는 pH meter (Radiometer M-92, Denmark)로 측정하였으며, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계 (Varian Carry 50, Australia)를 이용하여 측정하였다. 치환성 양이온 K, Ca, Mg는 1 N ammonium acetate로 침출하여 ICP (Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, 토성은 Micropipette법으로 입경분포를 조사하여 미국농무성 (USDA)의 분류체계에 따라서 결정하였다 (Miller and Miller, 1987). 토양물리성 지표로서 용적밀도, 공극율 및 삼상분석은 수박 수확이 끝난 다음 100 cm^3 코어를 이용하여 채취 후 즉시 밀봉하여 실험실로 운반하여 습토의 무게를 평량한 후 110°C 건조기에 48시간 이상 건조한 다음 건토의 무게를 측정하여 계산하였다.

통계분석 분석항목에 따른 실험결과는 EXCEL 프로그램을 이용하여 평균값을 산출하였고, 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 SAS 프로그램 (SAS, ver 9.1.3. 2006)을 이용하여 5% 수준에서 Duncan's Multiple Range Test를 수행하였다.

Results and Discussion

토양특성 수박을 재배한 토양의 물리화학적 특성을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 농촌진흥청 (RDA, 2010)에서 제시하는 수박재배지 적정범위는 pH 6.0~6.5, OM (Organic Matter) 20~30 g kg^{-1}, Avail. P_2O_5 350~450 mg kg^{-1}, Exch. K 0.70~0.80 $cmol_c$ kg^{-1}, Exch. Ca 5.0~6.0 $cmol_c$ kg^{-1}, Exch. Mg 1.5~2.0 $cmol_c$ kg^{-1}, EC 2 dS m^{-1} 이하이다. 시험포장의 토양화학성은 수박재배지 적정범위에 비하여 전기전도도 (EC), 치환성 칼슘, 마그네슘을 제외하고는 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨은 적정범위보다 비옥도가 낮은 수준이었으며, 토성은 사양토이었다.

규산질비료 처리에 따른 시험 후 토양특성 변화를 조사하기 위해 수확 후 토양을 채취하여 분석하였다 (Table 2). 시험 후 토양 pH는 규산질비료 무시용구 (이하 대조구)는 시험 전과 같았으며, 규산질비료 처리구는 시용량이 많아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 규산질비료에 함유된 Ca과 Mg 같은 염기성 양이온이 토양 용액 내로 용해되고 또한 규산염이 일부 토양용액에서 가수분해 되어 pH가 상승된 것으로 보인다 (Joo and Lee, 2011). Cho et al. (2004)은 규산질비료 시비량에 따라 pH가 증가하였고, 규산질 비료 1,000 kg ha^{-1} 처리로 pH를 0.1~0.2 단위로 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 하지만 pH가 낮은 산성토양을 개량하기 위해서는 규산질비료의 처리만으로는 토양개량이 낮으므로 규산질비료 시용과는 별도로 pH 교정을 위해 추가적인 석회비료 시용이 필요하다고 하였다 (Kang and Ha, 1985; Park et al., 1972). 진천과 음성지역의 시설수박재배지는 대부분 논에 하우스를 설치하여 그대로 이용하거나 복토하여 수박을 재배하고 있다. 이들 지역의 토양산도는 약 44%가 pH 6.0 이하의 토양 (Korean soil information system : http ://soil.rda.go.kr, 2015)으로 수박재배지로 이용할 경우 적정한 토양개량이 필요한 실정으로 석회와 규산질 비료의 적정한 시용은 토양산도를 개선할 수 있을 것이다. 전기전도도 (EC)는 대조구에서는 시험 전에 비하여 증가하였으나, 규산질비료 처리구는 시험 전과 비슷하였으며, 규산질비료 처리량에 따른 차이는 없었다. 토양유기물 함량은 시험 전에 비하여 시험 후에 감소하였는데 규산질비료 처리량이 높을수록 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 결

Table 1. Physicochemical properties of soils used for the experiment.

pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	NO_3-N	Avail. SiO_2	Exch. Cation			Soil texture
						K	Ca	Mg	
(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	----------	mg kg^{-1}	----------	----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------	
6.7	1.7	17	175	118	145	0.38	5.2	1.5	Sandy loam

Table 2. Changes of soil chemical properties in final harvesting time as influenced by applications of silicate fertilizer.

Silicate fertilizer level	pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	NO_3-N	Avail. SiO_2	Exch. Cation		
							K	Ca	Mg
kg ha^{-1}	(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	----------	mg kg^{-1}	----------	----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------
0	6.7b[†]	1.8a	18a	186c	123a	136c	0.30a	5.4b	1.6b
600	6.8ab	1.5b	19a	204b	116b	157b	0.26b	5.5b	1.6b
1,200	6.8ab	1.5b	16b	213ab	125a	166b	0.23b	5.8ab	1.7ab
1,800	6.9a	1.6ab	16b	226a	122a	200a	0.23b	6.0a	1.8a

[†]Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

과는 규산질비료 시용에 의해 토양 유기물질의 분해가 촉진되었음을 의미하는 것으로 Kim (2008)은 규산자재의 시용은 토양 유기물의 분해를 촉진시켜 벼에 대한 질소공급량을 증가시키나 규산의 시용에 의해서 토양유기물 함량은 감소한다는 보고와 같은 결과이었다. 하지만 시설재배지와 같은 고온 다습 환경과 시설재배 특성상 양분이동이 아래에서 위로 이동하는 조건과 같은 특수한 환경에서 규산시용이 유기물 분해에 미치는 영향에 대한 연구는 좀 더 수행할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 유효인산 함량은 규산질비료 시용에 따라 대조구에 비하여 규산시용량이 증가함에 따라 토양 중의 유효인산 함량도 증가하는 경향이었다. 본 연구에서 유효규산 함량이 높은 토양에서 유효인산 함량이 증가하는 현상은 결국 규산의 흡착이 증가함에 따라서 인산의 흡착이 상대적으로 억제 (Cho et al., 2004)되었기 때문일 것으로 판단되었다. 또한 Raupach and Piper (1959)는 토양용액 내 존재하는 규산은 인산의 흡착량을 감소시키므로 더 많은 양의 인산이 식물이 이용 가능한 상태로 존재한다고 하였다. 시험 후 토양화학성 중 치환성 칼륨은 대조구에 비하여 규산질비료 처리구에서 감소하였다. 이러한 결과는 규산질비료 처리 수준이 높을수록 치환성 칼륨의 감소 정도가 컸다는 Jung et al. (1985)의 결과와 일치하였다. 일반적으로 규산을 증시하면, 비료에 다량으로 함유되어 있는 관련성분의 차이에서 오는 잔존량의 증대로 치환성 칼슘과 마그네슘은 증가하는 반면, 칼륨은 토양 내 잔존량이 감소 할 뿐만 아니라 다량원소인 칼륨의 흡수가 촉진되어 토양 중 함유량이 적어지는 것으로 알려져 있다 (Chang et al., 2006). 또한 규회석을 다량으로 시용하는 경우에도 칼륨 함량이 낮아지는 것으로 보고되어 있으나, 규회석을 시용할 경우 볏짚을 병용하면 규회석에 의한 칼륨 성분의 불용화를 억제할 수 있다고 하였다 (Jung et al., 1985). 치환성 칼슘함량은 규산질비료 처리구에서는 처리량에 관계없이 대조구에 비하여 치환성 칼슘함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 규산질비료 처리량이 많아짐에 따라 증가하였다. 규산질비료 처리에 따른 치환성 칼슘함량 증가는 규산질비료에 포함된 알칼리분 (CaO+MgO 40%)의 영향으로 판단되며, 토양 pH의 상승과도 연관이 있으리라 본다. 규산질비료 처리에 따른 질산태질소의 함량변화는 대조구에 비하여 유의적인 차이를 나타내지 않았는데, Kim et al. (1994)은 밭에서 규산 처리구는 질산태질소 함량이 다소 낮아졌다고 보고한 결과와 다소 상이한 결과를 보였다. 시험 전 토양에서 유효규산 함량은 145 mg kg^{-1} 정도 수준이었는데, 시험 후 대조구에서는 136 mg kg^{-1}으로 시험 전에 비하여 유효규산 함량이 다소 감소하였다. 이는 가용화된 규산이 수박에 의한 흡수 및 용탈로 인해 감소된 것으로 판단되었다. 규산질비료 처리구에서는 규산질비료의 처리량이 많을수록 유효규산 함량이 증가하였다 (Fig. 1).

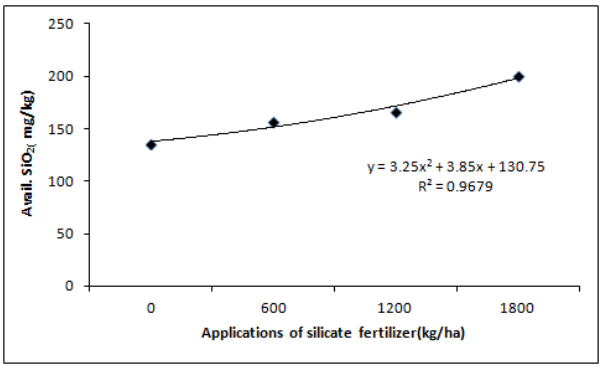

Fig. 1. Relationship between in soil available SiO_2 and application levels of silicate fertilizer.

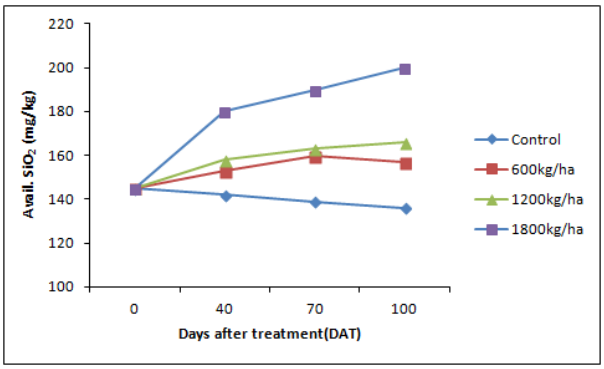

Fig. 2. Changes in the concentrations of available SiO_2 during the growth period as affected by silicate fertilizer applications.

토양에 처리된 규산은 가용화되어 식물에 흡수나 용탈 등으로 토양에서 제거되지 않는 이상 상당기간 초기에 가용화된 수준으로 토양 중에 잔류 할 수 있다 (Cho et al., 2004). 본 시험에서는 규산질비료를 수준별로 처리한 후 재배기간 중 토양 중의 경시적 변화를 조사하여 Fig. 2에 나타내었다. 논에서 규산질비료 시용은 유수분화기까지 급속히 증가하다가 출수기에는 서서히 감소하는 경향을 보였다고 보고 (Kim, 1982)하였는데, 본 연구에서는 처리후 40일 까지는 가용화 속도가 빨랐으며 처리 후 70일 이후에는 서서히 증가하다가 수확기에 이른 100일 정도에는 완만한 증가 상태를 보였다.

규산질비료 시용에 따른 토양물리성 변화는 Table 3과 같다. 시험 전에 비하여 시험 후 용적밀도는 증가하였고, 공극율은 감소하였다. 그러나 규산질비료 처리에 따른 용적밀도 및 공극율은 대조구와 유의적인 차이를 나타내지는 않았다. 또한 토양 3상 중 고상, 액상, 기상 등 규산질비료 시용에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 단순평균값은 규산 시용량이 증가함에 따라 고상이 감소하고 기상이 증가하는 경향이었다. Yeon (2005)은 논 토양에서 토양개량제 시용에 의해 용적밀도는 감소하였으며, 공극율은 증가하여 액상이 감소되고, 기상이 증가하여 토양물리성이 개선되었다고 보고하였으나, 본 연구에서는 규산시용에 따른 토양물

Table 3. Changes of soil physical properties before and after experiment as affected by applications of silicate fertilizer.

Silicate fertilizer level	Bulk density	Porosity	Solid phase	Liquid phase	Gaseous phase
	Mg m^{-3}		%		
Before treatment	1.50	46.7	57.2	21.3	21.5
Experiment after					
0	1.53a†	44.8a	55.3	23.4	21.3
600	1.54a	44.4a	55.6	23.1	21.3
1,200	1.59a	46.2a	53.8	23.5	22.7
1,800	1.56a	44.4a	53.6	23.6	22.8

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

Table 4. Growth of watermelon plant as affected by applications of silicate fertilizer.

Silicate fertilizer level	Stem diameter	Internode length	Leaf length	Leaf width	Plant length
kg ha^{-1}			cm		
0	1.14a†	9.6a	24.7a	24.3a	222a
600	1.16a	9.6a	24.8a	24.5a	224a
1,200	1.15a	9.5a	24.9a	24.8a	224a
1,800	1.15a	9.6a	24.8a	24.7a	222a

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

Table 5. Effect of applications of silicate fertilizer on the growth characteristic of watermelon.

Silicate fertilizer level	Stem length	No. of node	Stem diameter	Plant length	Fresh weight	Dry weight
kg ha^{-1}	cm	ea $plant^{-1}$	mm	cm	g $plant^{-1}$	kg ha^{-1}
0	11.1a†	58.6a	10.9b	624a	1,368b	1,780b
600	11.2a	57.9a	11.2a	627a	1,387b	1,800b
1,200	11.1a	59.6a	11.1a	596b	1,509a	1,960a
1,800	10.9b	58.3a	11.3a	600b	1,518a	1,970a

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

리성 개선 효과는 나타나지 않았으며, 물리성에 대한 효과 검토를 위해서는 좀 더 장기적인 시험이 필요할 것으로 판단된다.

수박 생육 및 수량 특성 수박정식 후 30일에 규산질비료 시용에 따른 초기 생육상황을 비교 검토하기 위해 절간장, 경경, 만장 등을 조사하였다 (Table 4). 절간장, 경경 및 만장은 규산질비료 처리에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않아 규산시용이 수박의 초기 생육에는 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다. 이러한 결과는 입상 규산질비료가 용해되어 식물에 의해 흡수되기까지의 기간이 짧았기 때문으로 판단된다. 일부 농가에서 규산질비료를 ha 당 4,000 kg 정도 이상 시용하였을 경우에 수박의 생육이 저조하였다고 하는데, 이는 질소와 규산성분은 서로 길항작용을 하기 때문인 것으로 판단된다. Kim, et al. (2002)는 토마토의 생육반응 및 수량에 미치는 영향을 검토한 결과 규소는 N과 K의 흡수를 억제하는 효과가 있다고 보고 하였는데, 규산질비료의 과다시용은 생육초기 질소의 흡수저해 및 광합성 활동 잎의 질소농도 저하를 초래하여 초기 생육을 억제할 우려가 있는 것으로 사료된다. 한편 오이에 규산을 시용하였을 경우 무처리에 비해 생육이 양호하며 수량도 높았으며, 규산질비료 2,000 kg ha^{-1}보다 4,000 kg ha^{-1} 처리에서 수량이 높았다고 보고하여 (Kim and Kim, 1981), 작물의 최대 생산량을 얻기 위한 규산질비료 시용량은 작물의 종류, 토양비옥도 및 재배환경에 따라 차이가 날 것으로 판단된다.

Table 5는 규산질비료 시용에 따른 수확기 생육 특성이다. 규산질비료 처리구에서는 시용량이 증가할수록 대조구에 비하여 경경은 두꺼워지고, 생중 및 건물중이 무거워지는 경향을 보였으며, 절간장과 만장은 짧아지는 경향으로 나타냈다. 이러한 결과는 규산질비료의 시용은 수박의 영양

Table 6. Effect of applications of silicate fertilizer on the watermelon yield and its components.

Silicate fertilizer level	Fruit weight	Fruit length	Fruit width	Fruit thickness	Sugar content
kg ha^{-1}	kg ea^{-1}	cm			°Brix
0	9.1b†	26.7b	23.3b	1.1a	10.8b
600	9.4a	27.6a	23.8a	1.1a	11.5a
1,200	9.5a	27.7a	23.9a	1.2a	11.2ab
1,800	9.2b	27.0b	23.9a	1.1a	11.3ab

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

Table 7. Effect of applications of silicate fertilizer on the watermelon productivity.

Silicate fertilizer level	Non-marketable fruit rate			Commodityrate	Marketable yield	Yield index
	Puffy fruit	Malformed fruit	Sum			
kg ha^{-1}	%				kg ha^{-1}	
0	4.2	4.0	8.2	91.8	52,790c†	100
600	4.0	4.0	8.0	92.0	54,870ab	104
1,200	3.8	3.9	7.7	92.3	55,340a	105
1,800	3.7	3.8	7.5	92.5	54,140b	103

†Means in a column followed by the same letter were not significantly different at 5% level of DMRT.

생장 기간 동안에는 초장 생장을 일부 억제하고 잎의 직립을 유도하여 절간장과 만장이 짧아지는 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 규산질비료 시용은 벼의 초장을 억제하고 잎의 직립을 유도하여 수광효율을 개선시키며, 토양의 양분 공급력을 향상시켜 생육을 촉진한다고 알려져 있으며 (Kim, 2008), 본 연구에서도 절간장 및 만장이 짧아져 부분적으로 같은 결과를 나타냈다. 토마토의 경우 개화기까지는 규소의 영향을 받지 않으나 개화기 이후 규소가 부족하면 잎의 발생이 비정상이며, 수분 작용에 지장을 초래하여 결실이 불량해지는 것으로 보고되었으나 (Miyake and Takahashi, 1978), 본 연구에서는 규산부족에 의한 피해는 나타나지 않았으며, 규산 시용량이 적은 600 kg ha^{-1} 처리에서는 대조구와 비슷한 생육 특성을 보였다.

규산질비료 처리에 따른 수박 수량특성은 Table 6에서 보는 바와 같이 개당 과중은 대조구에 비하여 규산질비료 처리구에서 무거웠으며, 규산질비료 시용량이 1,200 kg ha^{-1} 까지는 증가하다가 1,800 kg ha^{-1} 처리에서는 낮아지는 경향을 보였다. Aoki and Ogawa (1997) 및 Kim (1992)에 의하면 토마토에 규소를 시용할 경우 지상부와 지하부의 생체중 및 건물중, 과실중이 무시용구에 비해 증가한다고 보고하였지만, 적정량 이상이라고 판단되는 4 ton ha^{-1} 혼용구에서는 오히려 감소되어 적정 혼용량이 존재함을 확인한 보고 (Kim et al,. 2002)는 본 연구와 일맥 상통하는. 결과이었다. 수박의 과장은 26.7～27.7 cm, 과폭은 23.3～23 cm으로 대조구에 비하여 규산질비료 처리에 따라 과장은 크고 과폭은 넓어지는 경향을 보였으나, 과피두께는 1.1～1.2 cm으로 규산질비료 처리에 따른 차이는 나타나지 않았다. 본 연구에서 규산질비료 처리구에서 생체중 및 건물중이 증가하였으며 (Table 5), 과실수량은 1,200 kg ha^{-1} 처리에서 최대 수량을 나타내어, 필요 이상의 규산질비료 시용은 자원낭비와 환경오염원이 될 가능성이 있을 것으로 판단되었다. 한편 수박의 품질 결정에 중요한 역할을 나타내는 당도는 규산질비료 처리구에서 대조구에 비하여 0.4～0.7 °Brix 높아졌으며, 규산질비료 600 kg ha^{-1} 처리에서 11.5 °Brix로 대조구 10.8 °Brix에 비하여 0.7 °Brix가 유의하게 증가되었다.

규산질비료 처리에 따른 비상품과율 및 상품수량을 조사한 결과는 Table 7과 같다. 공동과율 및 기형과율은 대조구에서 각각 4.2%와 4.0%로 가장 높았고, 규산시용량이 증가함에 따라 공동과율과 기형과율이 낮아져 상품율이 높아지는 경향이었다. 이러한 결과는 Cho (2011)의 토마토에 규산질비료 시용은 소과와 열과의 발생이 낮았다는 보고와 Ahn et al. (2014)의 규산질비료 시용은 고추 비상품과 발생을 감소시키고 품질을 향상시켰으며, Lee et al. (2003)의 참외의 발효과와 열과의 발생이 낮아져 상품과율이 높아졌다는 보고와 일맥 상통하는 결과이었다. 공동과, 기형과 등 비상품과를 제외한 상품과율은 91.8～92.5%로 규산질비료 처리에 의하여 0.2～0.7% 증가되어 상품과율이 향상되었으며, 수박 상품수량은 3～5% 증수되었다. 본 연구에서 규산질비료 시용 처리에서 수박과중이 증가된 것은 규산질비료는 작물의 생육환경을 개선하고 생리활성을 촉진시켜 증수에 기여한다고 (Soil and Fertilizer, 2001) 한 것처럼 수박의 생

육환경과 생리환경을 증진하여 수박의 과중이 무거워진 것으로 사료되며, 작물의 생식생장 및 영양생장에 대한 규소의 정확한 작용 기작에 대한 연구는 추후 실험이 필요하다고 판단된다.

Conclusion

시설 수박 재배지에서 규산시용이 수박의 생육, 수량 및 시설재배지 토양환경 특성에 미치는 영향을 구명하고자 시험을 수행하였다. 규산수준을 0 (대조구), 600, 1,200, 1,800 kg ha^{-1} 4처리를 두었고, 경운 전에 100% 밑거름으로 처리하였다. 토양의 화학적 특성은 규산 시용량이 증가함에 따라 pH, 유효인산, 치환성 칼슘, 마그네슘 및 유효규산 함량은 높아졌으며, 전기전도도는 비슷하였고, 유기물 함량은 규산 시용량이 증가함에 따라 시험전에 비하여 감소하는 결과를 보였다. 토양 물리성 중 용적밀도와 공극률은 규산질비료 처리에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 수박의 초기생육으로 절간장, 경경 및 만장은 규산질비료 처리에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않아 초기생육에 영향을 미치지 않았으나, 수확기에는 규산질비료 시용량이 많아짐에 따라 경경은 두꺼워지고, 생중 및 건물중 (잎과 줄기)이 무거웠으며, 절간장 및 만장은 짧아지는 경향이었다. 수박 상품수량은 대조구에 비하여 규산질비료 처리구에서 3～5%, 당도는 0.4～0.7 °Brix 높게 나타났다. 따라서 시설수박 재배시 규산질비료 시용은 시설재배지 토양화학성을 개선시키며 수박의 경경 및 건물중 향상 등 수박의 품질과 생산성 향상에 효과가 있는 것으로 판단되었다.

References

Ahn, B.K., S.G. Han, J.Y. Kim, K.C. Kim, D.Y. Ko, S.S. Jeong, and J.H. Lee. 2014. Influence of silicate fertilizer application on soil properties and red pepper productivity in plastic film house. Korean J. Environ. Agric. 33:254-261.

Aoki, M., and M. Ogawa, 1997. Influence of silicon on the blossom-end rot and growth of tomato. J. Sci. Soil Manure. 48:156-159.

Chang, K.W., J.H. Hong, J.E. Lee, and J.J. Lee. 2006. Effects of the granular silicate fertilizer (GSF) application on the rice growth and quality. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:151-156.

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 soils. Korean J. Environ. Agric. 23:104-110.

Cho, I.C., S.H. Lee, and B.J. Cha, 1998. Effects of soluble silicon and several surfactants on the development of powdery mildew of cucumber. Korean J. Environ. Agric. 17:306-311.

Elawad S.H., and Green V.E. 1979. Silicon and the rice plant environment. A review of recent research. Ⅱ. Riso. 28:235-253.

Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91:11-17.

Joo, J. H., and S. B. Lee. 2011. Assessment of silicate fertilizers application affecting soil properties in paddy field. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:1016-1022.

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

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. Korean J. Soil Sci. Fert. 18:282-288.

Kim, C.B., N.K. Park, S.H. Lee, S.D. Park, and B.S. Choi. 1994. Changes in Barley yield and some physico-chemical properties of upland soil by long term application of silicate fertilizer and compost. Korean J. Soil Sci. Fert. 27:196-200.

Kim, J.K. 1982. A study on the dissolution rate for the silicons materials from Korea, MS. Thesis, Korea University, Seoul, Korea.

Kim, K.S., and Y.U. Kim, 1981. Studies on the counterplan against soil sickness due to continuous cropping of vegetables in vinyl houses. Part Ⅱ. The effects of silicate on the growth of cucumber plants in vinyl house. Rural Development Review. 16:93-98.

Kim, S.B. 2008. Effect of silicon fertilizer application on the paddy rice and soil physiochemical properties. Chungnam National University. Ph. D. Thesis.

Kim, T.S. 1992. The effect silicon on physiological nutrition and manganese toxity of tomato plant. Ph. D. Kon-Kuk University, Seoul Korea.

Korean soil information system (http ://soil.rda.go.kr). 2015. Soil data. Soil chemical properties in Jincheon and Eumseong region.

Lee, J.S., and M.S. Yiem. 2000. Effect of soluble silicon on development of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants. Korean J. Pestic. Sci. 4:37-43.

Lee, S.B. 2012. Effect of several silicate fertilizers on soil characteristics and crop growth. MS. Thesis. Kangwon National University p 1.

Lee, S.H., H.J. Cho, H.J. Shin, Y.S. Shin, S.D. Park, B.J. Kim, and J.B. Chung. 2003. Effect of silicate fertilizer on oriental melon in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 36:407-416.

Lee, Y.B., and P.J. Kim. 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.

Lee, Y.H., S.T. Choi, S.T. Lee, K.P. Hong, W.D. Song, J.H. Lee, and J.S. Cho. 2010. Changes in Fe, and Mn content

and lime requirement based on soil pH testing in sweet persimmon fields. Korean J. Soil Sci. Fert. 43:584-589.

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.

Menzies, J.G., D.L. Ehert, A.D.M. Glass, T. Helmer, C. Koch, and F. Seywerd. 1991. Effect of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on Cucumis sativus. Phytopathol. 81:84-88.

Menzies. J.P. Bowen, D. Ehert, and A.D.M. Glass. 1992. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 117:902-905.

Miller, W.P., and D.M. Miller, 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal, 18:1-15.

Miyake, Y, and E. Takahashi. 1978. Silicon deficiency of tomato plant. Soil Sci. Plant Nutr. 24:175-189.

Miyake, Y. and E. Takahashi 1983. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant. Soil Sci. Plant Nutr. 29:71-83.

NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2010. Methods of soil chemical analysis, Rural Development Administration, Korea.

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. 5:25-32.

Raupach M., and Piper C.S., 1959. Interactions of silicon and phosphate in a lateritic soil actinomycetes. Curr. Sci. 51:1117-1118.

RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard of analysis and survey for agricultural research. Rural Development Administration. Suwon. Korea.

RDA (Rural Development Administration). 2010. Fertilization standard of crop plant. Rural Development Administration. Suwon. Korea.

Richmond, K.E., and M. Sussman. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Curr. Opin. Plant Biol. 6:268-272.

SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst. Cary, NC.

Sherwood, R.T. and Vance, C. P. 1980. Resistance to fungal penetration in Gramineae, Phytopathol. 70:273-279.

Soil and Fertilizer. 2001. Soil & Fertilizer. Korean J. Soil Sci. pp. 23-35 (in Korea)

Yeon B.Y. 2005. Changes of rice yield and soil properties by continuous application of chemical fertilizer and soil ameliorator and future prospect of soil fertility management. Kong Ju National University Ph. D. p.17.