

시설수박에 대한 수용성 규산칼륨 토양관주 효과

김영상¹ · 강효중¹ · 김태일¹ · 정택구¹ · 한종우¹ · 김익제¹ · 남상영¹ · 김기인²

¹충북농업기술원, ²목포대학교

Effects of Water Soluble Potassium Silicate by Soil Drenching Application on Watermelon (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*)

Young-Sang Kim¹, Hyo-Jung Kang¹, Tae-II Kim¹, Taek-Gu Jeong¹, Jong-Woo Han¹, Ik-Jei Kim¹, Sang-Young Nam¹, and Ki-In Kim²

¹Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Chungweon

²Department of Horticultural Science Mokpo National University, Jellanam-do Mu-An

Abstract. The objective of this study was to determine the effects of soluble potassium silicate by soil drenching application on watermelon growth, yield, and nutrient uptake. The potassium silicate rates were control (No potassium silicate), 1.63mM, 3.25mM, 6.50mM. The potassium silicate were treated 6 times (twice before fruit forming and 4 times after fruit forming per 7 day). Soil chemical properties, such as soil pH, EC, available phosphorus and silicate, exchangeable K, nitrate-N levels were increased after potassium silicate treatment, while the concentrations of soil organic matter, exchangeable Ca and Mg were similar to control. The growth characteristics of watermelon, such as stem diameter, fresh and dry weight of watermelon at harvest were thicker and heavier for increased potassium silicate treatment than the control, while number of node, and plant length were same for all treatments. With increased potassium silicate treatment, nutrient concentrations, such as P and K in the watermelon leaf at harvest were increased, N concentration in the leaf was decreased, and Ca and Mg concentrations in the leaf were same. Chlorophyll content was increased with increased potassium silicate application. The occurrence of powdery mildew was lower for the potassium silicate treatments than the control. Fresh watermelon weight for the potassium silicate treatments was 0.1 to 0.5kg per watermelon heavier than the control, sugar content was 0.5 to 0.6°Brix higher than control, and merchantable watermelon was 2 to 4% increased compared to the control. These results suggest that potassium silicate application by soil drenching method in the greenhouse can improve watermelon nutrient uptake, merchantable watermelon and suppress the occurrence of powdery mildew.

Additional key words: chlorophyll, dry weight, powdery mildew, sugar content

서 론

규소는 기초 광물을 형성하는 요소로서 지각 구성성분 중 산소 다음으로 많은 원소이다. 규소는 식물의 필수원소 중의 하나로 분류되지는 않았음에도 불구하고 식물체 내에서 규소의 역할은 세포벽을 형성하고, 잎의 크기와 두께, 그리고 건물중을 증가시켜 여러 가지 스트레스의 저항성을 증가시킨다(Datnoff 등, 2001; Liang 등, 2008; Pei 등, 2010; Zuccarini, 2008). 규소인 경우 토양 중에 다양한 형태로 존재하지만 규소 원소 단독으로 존재하기 보다는 대부분 다른 원소들과 함께 결합되어 있어서 용

해도가 매우 낮다 (Gascho, 2001). 하지만 식물체의 경우 가용성 규산(soluble silicic acid) 형태로만 흡수할 수 있기 때문에 토양에 존재하는 가용성 규산을 식물이 흡수할 수 있는 양은 매우 적어 토양내 규소의 용해도를 높이기 위한 다양한 기작을 필요로 한다(Ma 등, 2004). 규소를 다량으로 요구하는 화본과 식물의 경우 규소가 매우 중요한 원소이며 실제로 규산질 비료를 벼에 사용하면 질소이용율 증진 및 엽의 노화억제 등의 효과로 인한 벼 수량증가 (Epstein, 1994)와 쌀 품질과 저장성을 향상시키고(Won 등, 2008), 규질화된 잎세포는 병원균의 침입을 막아줄 뿐만 아니라 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 성장과 증식을 억제시켜 병 발생을 크게 억제하는 것으로 알려져 있다(Sherwood와 Nance, 1980; Epstein, 1999; Ma, 2004). 또한 벼, 밀, 보리 등에 규소를 공급할 경우 식물체의 잎을 직립시켜 수광상태를 좋

*Corresponding author: suanbo@korea.kr

Received August 24, 2015; Revised September 8, 2015;

Accepted September 15, 2015

게 하고 이로 인한 광합성 효율 증가를 통해 수량을 증가시키고(Savant 등, 1999), 수분 증발을 억제하거나 나트륨의 이동을 억제시켜 과채류에서 과실을 발달시키는 역할을 한다(Burlo 등, 1999). 원예작물 중 참외와 오이, 토마토에 규소를 처리하면 병충해 방제와 과실의 증수 효과(Cho 등, 1998; Menzies 등, 1992)와 원예작물 재배지의 토양 비옥도를 개선하고, 작물생육 촉진 등의 효과가 있다(Lee 등, 2003; Ryu 등, 2003; Lee와 Yiem, 2000). 또한 칼라코에 규산염을 처리할 경우 엽록소 함량 증가와 초장과 같은 생장량이 감소되어 분화유의 품질을 향상시켰고(Son 등, 2012), 오이에 규산칼륨 처리 농도를 높인 경우 오이 엽색이 진해지고 광합성량, 생체 중 및 엽록소 함량이 증가하였으며(Son 등, 2012; Keeping와 Meyer, 2006), 프렌치 메리골드에 규소처리시 초장과 꽃대길이가 짧아져 밀실재배로 인한 도장을 억제하여 보다 안정적인 건전묘를 생산할 수 있다고 하였다(Sivanesan 등, 2010). 최근에는 친환경 농산물에 대한 관심이 높아짐에 따라 규산염의 추가가 작물 생장에 미치는 영향에 대한 연구(Guevel 등, 2007)와 특히 오이, 멜론, 포도, 호박 등에 엽면살포한 규소가 흰가루병 억제에 효과적이라는 것과 같은 병저항성과 관련된 다양한 연구가 활발히 진행되었으며(Bowen 등, 1992), 작물에 따라 생육과 병해발생 억제 등의 효과도 인정되고 있다(Oh 등, 1987; Kim 등, 2002; Lee 등, 2000; Cho 등, 1998). 이러한 규산의 다양한 효과가 인정됨에 따라 규산질비료에 대한 연구가 주로 화본과 작물에 한정 되지 않고 밭 작물이나 원예작물에 대한 연구가 수행되고 있으며, 또한 친환경 지속농업의 필요성이 대두되면서 규산을 활용한 시험이 많이 이루어지고 있지만 수박에 대한 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 시설 수박 재배에 수용성 규산칼륨 처리가 수박의 생육, 수량, 양분흡수 및 토양특성 등에 미치는 영향을 검토하여 현장에 활용하고자 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 처리내용

수용성 규산칼륨 토양관주가 시설 수박재배지에서 수박의 생육, 수량, 양분흡수 및 토양특성에 미치는 영향을 구명하기 위해 충청북도 농업기술원 수박연구소 시설 하우스에서 수행하였다. 수용성 규산칼륨을 무처리, 1.63mM, 3.25mM, 6.50mM의 4수준을 두어 착과전 2회와 착과후 4회로 총 6회를 7일 간격으로 토양관주로 처리하였다. 퇴비와 밑거름은 토양검정에 의한 시비기준(N-P₂O₅-K₂O=138-49-87kg ha⁻¹)에 따라 P₂O₅는 전량, N는 시비기준량의 50%, K₂O는 시비기준량의 50%를 밑

거름으로 시비하였고, 웃거름은 N과 K₂O 잔량을 2회로 나누어 관주에 의해 시비하였다. 사용된 수박(*Citrullus lanatus* Thunb.) 품종은 ‘삼복꿀’로 대목은 박(*Lagenaria leucantha* Standl.)인 ‘블로장생’으로, 정식전 육묘상에서 2일 순화시키고 묘상에서 발생할 수 있는 병충해 방제를 위하여 적용약제를 예방 살포하였으며, 4월 15일에 정식하였다. 녹색 PE 필름 0.03mm을 사용하여 비닐피복 후 정식묘는 본엽 3~4매인 접목묘를 이용하여 재식거리를 45~250cm으로 하여 이랑의 안쪽 20cm 부근에 묘를 정식하였다. 실험구 배치법은 난괴법 3반복으로 하였다. 야간저온에 대비하여 소형터널을 설치하여 온도 및 습도를 4월 말까지 관리하였으며, 정식 후 본엽 4~5매 일 때 적심한 후 원줄기와 건실한 아들줄기 2본을 선택하여 3줄기를 유인하였다. 수정벌을 이용하여 1주일간 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, 엽록소 값은 Chlorophyll Meter(SPAD 502, Minolta Cameta Co., Ltd., Oskar, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 당함량은 당도계(Atago, PAL-1, Japan)를 사용하여 측정하였다. 흰가루병의 발병도는 시험구당 50엽에 대하여 병반면적율을 기준하여 4등급(0 : 발병 없음, 1 : 병반면적율 1-5%, 2 : 병반면적율 : 5.1-20%, 3 : 병반면적율 20.1-40%, 4 : 병반면적율 40% 이상)으로 분류하여 다음과 같은 식으로 발병도를 산출하였다.

$$\text{발병도} = \frac{\sum(\text{발병계수} \times \text{발병엽수})}{(4 \times \text{조사엽수})} \times 100$$

2. 토양 및 식물체분석

토양화학적 분석은 표토 0~20cm 깊이의 토양을 Soil augar(1.5 inch, Eijkelkamp, Netherlands)를 이용하여 채취하였고, 음지에서 자연 건조시킨 후 2mm 체를 통과한 토양을 시료로 사용하였으며, 국립농업과학원 토양 및 식물체 분석법(NAAS, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1 : 5의 비율로 혼합하여 30분간 진탕 한 후 pH는 pH meter(Radiometer M-92, Denmark)로 측정하였으며, 유기물 함량은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법으로 비색계를 이용하여(Varian Carry 50, Australia) 측정하였다. 치환성 양이온 K, Ca, Mg는 1N ammonium acetate로 침출하여 ICP(Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, 토성은 Micropipette 법으로 입경분포를 조사하여 미국농무성(USDA)의 분류체계에 따라서 결정하였다(Miller 등, 1987).

식물체중의 무기성분 분석을 위하여 수박 근부로부터 50cm떨어진 엽의 시료와 줄기를 채취하여 증류수로 수세하여 70°C에서 48시간 건조 후 분쇄하여 시료로 이용하였다. 식물체는 H₂O₂-H₂SO₄로 습식분해하여 인산은 Vanadate법, K, Ca, Mg는 ICP(Varian Vista-Pro, Australia)로 분석하였으며, T-N는 열전도도검출기(TCD, Thermal Conductivity Detector)의 원리를 이용한 질소분석기(Vario Max, German)를 이용하여 분석하였다. SiO₂ 함량은 H₂O₂-H₂SO₄ 분해법을 이용하여, 조제시료 0.5g을 평량하여 분해용 Kjeldahl flask에 넣고 분해액을 첨가하여 Kjeldahl digester로 200°C에서 분해후 No.6 여지로 여과하고 여지상에 남아있는 잔사를 후드내에서 1차 탄화시켜 crucible에 담아 600°C의 회화로에서 2시간 태우고 데시게이터에서 냉각 후 평량하였다. 각 분석항목에 따른 실험결과는 EXCEL 프로그램을 이용하여 평균값을 산출하였고, 처리간의 유의성을 검정하기 위하여 SAS 프로그램(SAS, ver 9.1)을 이용하여 던칸의 다중검정을 하였다.

결과 및 고찰

수박을 재배한 토양의 물리화학적 특성은 Table 1와 같다. 토성은 사양토였으며, 화학성은 농촌진흥청에서 제시하는 수박재배지 적정범위(RDA, 2010, 토양 pH 6.0-6.5, OM (Organic Matter) 20-30g kg⁻¹, Avail. P₂O₅ 350-450mg kg⁻¹, Exch.-K 0.70-0.80cmol kg⁻¹, Ca 5.0-6.0cmol kg⁻¹, Mg 1.5-2.0cmol kg⁻¹, EC 2dS m⁻¹ 이하)를 기준으로 볼 때 토양 pH와 치환성 Ca, Mg은 적정범위에 있었으며 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨은 적정범위에 비하여 낮은 범

위에 있었다. 토양특성 변화를 조사하기 위해 시험 후 토양을 채취하여 분석한 결과(Table 2)를 살펴보면 토양 pH는 수용성 규산칼륨 3.25mM와 6.50mM 처리구인 경우 6.7로 수용성 규산 무처리(이하 대조구) 6.5에 비하여 높았으며, 수용성 규산칼륨의 수준이 높을수록 증가하였다. Joo와 Lee(2011)는 규산 시비량이 증가할수록 토양 pH는 증가하였다고 보고한 결과와 같은 경향이였다. 토양유기물 함량은 규산칼륨 처리에 따른 유의적인 차이는 나타나지는 않았다. 유효인산은 수용성 규산칼륨 3.25mM와 6.50mM 처리구에서 대조구에 비하여 높은 함량을 나타내어 유의적인 차이를 보였다. 이러한 결과는 규산처리가 토양 중 pH 개선과 토양내 인산의 유효도 증진과 작물의 인산흡수량 증가에 효과가 있다는 보고(Lee와 Kim, 2006; Cho 등, 2004)와 같은 경향이였다. 수용성 규산칼륨 처리에 따라 치환성 칼륨은 증가하였으며, 치환성 칼슘 및 마그네슘은 유의적인 차이가 없었다. 규산을 증시하면 치환성 Ca와 Mg는 증가하는 반면, 치환성 K는 토양 내 잔존량이 감소할 뿐만 아니라, 다량원소인 K의 흡수가 촉진되어 토양 중 함유량이 적어진다고 보고하였는데(Chang 등, 2006), 본 연구에서는 치환성양이온 Ca와 Mg는 수용성 규산칼륨 처리에 따른 차이가 없어 Chang 등(2006)의 보고와는 부분적으로 다른 결과를 보였다. 한편, 수용성 규산칼륨 수준이 증가함에 따라 토양 중 유효규산함량은 증가하는 경향을 보여 규산질 비료 처리량과 토양 중 유효규산 함량은 비례관계를 보였다고 보고한 Ahn 등(2014)과 같은 결과이였다.

수용성 규산칼륨 처리에 따른 초기 생육상황을 비교하기 위해 정식 40일 후에 절간장, 경경, 만장 및 엽의 특

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

pH	EC	OM	Avail. P ₂ O 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 ---			
6.4	1.7	20	143	115	120	0.45	5.2	1.6	Sandy loam

Table 2. Chemical properties of soil at watermelon harvest after different soluble potassium silicate treatments.

Treatments	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Avail. SiO ₂	Exch. Cation		
							K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----mg kg ⁻¹ -----			----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
Control	6.5b ^c	1.7b	22a	133b	119b	118b	0.32b	6.0a	1.7a
1.63mM	6.5b	1.9ab	22a	136b	125a	116b	0.40a	5.8a	1.8a
3.25mM	6.7a	1.9ab	19a	194a	140a	130ab	0.42a	5.9a	1.7a
6.50mM	6.7a	2.0a	20a	183a	140a	142a	0.43a	6.1a	1.7a

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

Table 3. Effects different soluble potassium silicate rates on Watermelon plant growth, stem diameter, internode length, leaf length, leaf width, and plant height at 45th day after transplanting.

Treatments	Stem diameter	Internode length	Leaf length	Leaf width	Plant length
-----cm-----					
Control	8.1a ^z	11.7a	21.6b	20.6b	180a
1.63mM	8.0a	11.8a	22.4b	21.7a	181a
3.25mM	8.1a	11.8a	22.9ab	21.3a	178a
6.50mM	8.0a	11.7a	23.2a	21.5a	180a

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

Table 4. Effects of soluble potassium silicate on watermelon growth (stem length, number of node, stem diameter, plant length) and weight (fresh and dry weight) at harvest.

Treatments	Stem length	No. of node	Stem diameter	Plant length	Fresh weight	Dry weight
	cm		mm	cm	g plant ⁻¹	kg ha ⁻¹
Control	10.5b ^z	60.4a	10.8b	628a	1350b	1680b
1.63mM	10.7a	58.5a	10.7b	625a	1310b	1640b
3.25mM	10.7a	59.2a	11.3a	623a	1467a	1830a
6.50mM	10.6ab	59.0a	11.2a	608a	1458a	1870a

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

Table 5. Effects of different soluble potassium silicate rates on total N, P₂O₅, K₂O, CaO and MgO content in watermelon leaf.

Treatments	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
-----%-----					
Control	1.54a ^z	0.29c	4.75b	5.33a	0.45a
1.63mM	1.45ab	0.36ab	4.84b	5.30a	0.46a
3.25mM	1.47ab	0.46a	5.32a	5.46a	0.43a
6.50mM	1.40b	0.57a	5.51a	5.48a	0.48a

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

성을 조사하였다(Table 3). 초기 생육은 경경, 절간장 및 만장은 수용성 규산칼륨 처리에 따른 유의적인 차이는 없었으나, 엽장 및 엽폭은 대조구에 비하여 수용성 규산칼륨처리에서 큰 결과를 보였다. 이러한 결과는 규소처리가 초장의 신장을 촉진시킨다는 연구결과(Aoki와 Ogawa, 1997; Miyake와 Takahashi, 1983)와 규산염 저면관수에 의해 칼라코의 초장과 꽃대길이가 짧아졌다는 보고(Son 등, 2012)와는 상이한 결과를 보여 작물에 따라 생육에 미치는 영향이 다른 것으로 판단되었다.

수용성 규산칼륨 처리에 따른 수확기 생육특성은 절수나 만장은 다소 짧아지는 경향

(Table 4)을 보였으나 유의적인 차이를 나타내지는 않았다. 이는 벼에 수용성 규산질비료 처리는 초장 생장을 일부 억제하고 잎의 직립을 유도하여 초장 길이가 짧아졌다고 보고(Lee, 2012)한 결과와 다소 차이가 있었다.

경경은 수용성 규산칼륨 3.25mM와 6.50mM 처리구에서 높았으며, 생체중 및 건물중은 수용성 규산칼륨 수준이 높을수록 무거운 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 규산칼륨을 오이에 처리시 처리농도가 높을수록 생체중이 증가하였다는 연구결과와 일치하였다(Son 등, 2012; Keeping와 Meyer, 2006).

수확기에 식물체 시료를 채취하여 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 수용성 규산칼륨 처리에 따른 수박 엽중의 무기성분 중 P₂O₅와 K₂O의 함량은 규산칼륨 수준이 높아짐에 따라 높은 함량을 나타내었다. Cho(2013)는 시설재배 토마토에서 규산처리는 잎의 인산함량이 증가한다고 보고하였으며, Lee 등(2003)은 참외 잎에서 규산질비료 처리에 따라 인산과 규산함량이 많았다고 보고한 결과와 유사한 결과를 보였다. 반면에 T-N 함량은 대조구에 비하여 수용성 규산칼륨 처리수준

Table 6. Effects of different soluble potassium silicate rates on chlorophyll meter readings before fruit forming, after fruit forming, and at harvest.

Treatments	Before fruit forming	After fruit forming	At harvest	Average
-----SPAD values-----				
Control	42.2a ^z	40.6c	43.7b	42.2a
1.63mM	43.3a	42.5b	44.1ab	43.3ab
3.25mM	43.4a	45.3a	46.3a	45.0a
6.50mM	43.5a	46.5a	45.8a	45.8a

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

Table 7. Effects of different soluble potassium silicate rates on the disease severity of powdery mildew.

Treatments	Days after transplanting				
	42 nd day	49 th day	56 th day	63 rd day	70 th day
Control	11.3a ^z	34.5a	37.9a	47.2a	55.6a
1.63mM	10.6a	33.3a	36.2a	43.5a	53.1a
3.25mM	9.9a	25.7b	32.3a	35.6b	38.2b
6.50mM	9.6a	23.1b	29.9b	30.1b	35.8b

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

이 높을수록 낮은 함량을 보였으며, CaO 및 MgO는 수용성 규산칼륨 처리에 따른 차이를 보이지 않았다. Marschner(2003)은 K₂SiO₃ 처리는 K는 증가하고 Ca 및 Mg의 흡수를 방해하여 함량이 낮아졌다고 보고하였는데, 본 연구에서는 CaO 및 MgO는 수용성 규산칼륨 수준에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않아 다소 상이한 결과를 보였다. 이러한 결과는 작물, 토양조건, 온도 등 재배 환경에 따라 다른 결과를 보인 것으로 판단되었다.

엽록소 값을 생육단계별로 착과전, 착과후 수확기에 조사한 결과(Table 6), 착과전 조사에서는 수용성 규산칼륨 처리에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 착과 후 조사에서는 수용성 규산칼륨 처리농도가 높을수록 엽록소 값이 유의하게 증가되었다. 규산칼륨 처리에 의한 식물의 생장촉진 효과는 줄기와 잎에서 높은 기계적 안정성과 광 흡수성으로 인하여 광합성이 증가하는 결과라고 보고(Voogt, 1989)하였으며, Adatia와 Besford(1986)는 공급된 규산염이 식물체 내에서 활발하게 작용한 것으로 보이고 이로 인해 광합성 능력을 증가시킬 것이라 보고하여, 본 연구에서도 수용성 규산칼륨 처리에 의한 엽색도 증가는 광합성 효율의 증대에 기인된 것으로 판단되었다. 조사 시기별로는 착과전 보다 수확기에 엽색도가 높았으며, 특히 수확기에 수용성 규산칼륨 3.25mM와 6.50mM 처리에서 높게 나타났다. 수박에서 엽의 생육상태는 착과후 부터 수확기의 광합성 작용에 매우 중요한 역할을 하는데, 수확기는 과실비대기를 거쳐 당이 축적되는 시기로 잎의 엽록소가 높다는 것은 광합성을 충실히 하여 잎의 양분이 과실로 전이하여 과실 비대나

당 축적에 유리했을 것으로 생각되며, 이 같은 결과는 Uhm 등(2012)의 보고와 유사한 결과로 수박의 과중과 당 함량에 영향을 미쳤을 것으로 판단되었다.

수용성 규산칼륨이 흰가루병 발생에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 7과 같다. 수용성 규산칼륨 처리에 따른 흰가루병 발생정도는 조사시기에 따라 다소 차이는 있으나 수용성 규산칼륨 농도가 높을수록 대조구에 비하여 흰가루병 발생이 억제되었다. Lee 등(2000)은 식물체 내 규소의 흡수는 병원균의 침입처를 물리적으로 보호함으로써 병원균에 의한 발병을 억제하는 것으로 보고하였으며, 참외에 규산질 비료의 처리는 균사의 생장과 분생 포자의 형성을 억제함으로써 흰가루병 발생을 일부 억제할 수 있다는 보고(Ryu 등, 2003)처럼 본 연구에서 수용성 규산칼륨 처리는 엽중 규소함량을 높여 흰가루병 발병정도가 감소하여 같은 결과를 보였다. 한편 Belanger 등(1995)이 온실재배에서 오이에 수용성 규소를 처리하여 흰가루병과 시들음병의 발생을 거의 완벽하게 방제하였다고 보고한 결과와는 다소 차이가 있으며, 벼에 대한 실험에서 규소의 효과는 기주식물의 품종에 따라서 차이가 컸다는 보고(Epstein, 1994)를 참고할 때, 작물간에 또한 품종간에 규산칼륨의 효과가 다르게 나타날 수도 있을 것이다. 따라서 토양에 적절한 수준의 규산질 비료의 사용은 살균제의 방제 효과 증진을 통하여 과도한 약제의 사용과 그에 대한 부작용을 경감시킬 것으로 보이며, 규산질 비료의 흰가루병 발생 억제 효과를 증진시키기 위해서는 적정 규산염의 선발, 사용방법과 약해 유발 여부 검정 등에 대한 추가적인 연구가 필요하다고

Table 8. Effects of different soluble potassium silicate rates on the watermelon weight, length, width, thickness, and sugar content.

Treatments	Fruit weight kg ea ⁻¹	Fruit length -----cm-----	Fruit width -----cm-----	Fruit thickness -----cm-----	Sugar content °Brix
Control	8.3b ^z	26.7b	22.8a	1.1a	10.8b
1.63mM	8.4b	27.3ab	22.7a	1.1a	11.4a
3.25mM	8.6a	27.5a	23.0a	1.1a	11.4a
6.50mM	8.5a	27.2ab	23.0a	1.1a	11.3a

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

Table 9. Effects of different soluble potassium silicate rates on the non-marketable including puffy and malformed fruits, commodity rate, marketable watermelon yield, and yield index.

Treatments	Non-marketable fruit rate			Commodity rate	Marketable Yield kg ha ⁻¹	Yield index
	Puffy fruit	Malformed fruit	Sum			
-----%-----						
Control	3.5	4.0	7.5	92.5	48,650b	100
1.63mM	3.4	3.8	7.2	92.8	49,700ab	102
3.25mM	3.4	3.8	7.2	92.8	50,400a	104
6.50mM	3.3	3.6	6.9	93.1	49,970a	103

판단된다.

수용성 규산칼륨 처리에 따른 수박 수량특성은 Table 9에서 보는 바와 같이 과중은 대조구에 8.3kg/개에 비하여 0.1~0.3kg이 무거워졌으며, 특히 수용성 규산칼륨 3.25mM 처리구에서 8.6kg/개로 가장 무거웠다. 수박의 과장은 26.7~27.5cm, 과폭은 22.7~23.0cm으로 대조구에 비하여 수용성 규산칼륨 처리에 의하여 과장은 크고 과폭은 넓어지는 경향을 보였으나, 과피두께는 1.1cm으로 수용성 규산칼륨 처리에 따른 차이를 나타내지 않았다. 수박의 당도는 수용성 규산칼륨 처리구에서 대조구에 비하여 0.5~0.6°Brix 높았다. Cho(2013)는 규산처리에 의해 토마토의 당도는 일정한 경향이 없다고 보고하였으나, 본 연구에서는 수용성 규산칼륨 처리구에서 당도가 높았는데, 이는 수용성 규산칼륨 처리에 의한 양분의 원활한 흡수와 엽의 수광상태를 좋게 하여 광합성 효율의 증가에 의한 결과로 추정된다.

수용성 규산칼륨 처리에 따른 상품과율 및 상품수량은 Table 9에서와 같이 공동과율 및 기형과율은 대조구에서 각각 3.5%와 4.0%로 가장 높았고 수용성 규산칼륨 6.50mM 처리구에서 각각 3.3%와 3.6%로 가장 낮게 나타났다. 규산질 비료 처리는 고추 시설재배에서 비상품과 발생을 감소시키고 고추품질을 향상(Ahn 등, 2014) 시켰으며, 참외의 발효과와 열과의 발생율이 낮게 발생하였다고 보고(Lee 등, 2003)하였다. 본 연구에서 공동과, 기형과 등 비상품과를 제외한 상품과율은 92.5~92.8%로 수용성 규산칼륨처리구에 의하여 0.3~0.6% 증가되어 상품과율을 향상시키는 것으로 나타났다. 수박

상품수량은 수용성 규산칼륨 처리구에서 2~4% 증가되었다. 이와 같은 결과는 시설재배지에서 규산시용에 의해 오이(Menzies 등, 1992)와 고추(Ahn 등, 2014)에서 수량 증수를 인정된 보고와 일치하는 결과이었다. 결론적으로 시설재배지에서 수박재배에 수용성 규산칼륨의 토양관주 처리는 양분흡수 증가와 수박 생산량이 증가한 결과를 보였으며, 흰가루병의 발생 억제 등으로 친환경적인 수박생산을 위한 방법으로 활용할 수 있을 것으로 본다.

적 요

시설재배지에서 수용성 규산칼륨 처리가 수박의 생육, 수량, 양분흡수 및 토양특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 수용성 규산칼륨을 무처리, 1.63mM, 3.25mM, 6.50mM의 4수준을 두어 토양관주 처리하였으며, 처리시기는 착과전 2회와 착과후 4회로 총 6회를 7일 간격으로 처리하였다. 시험후 토양화학성은 수용성 규산처리에 따라 pH, EC 유효인산, 치환성 K, Ca, Mg, NO₃-N은 증가하였으며, 유기물 함량은 대조구와 비슷하였다. 수확기 수박 생육 특성 중 경경, 생중 및 건물중은 수용성 규산칼륨 처리에서 두껍고 무거웠으며, 만장과 절수는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 수박 수확기 전에 함유되어 있는 무기성분 함량은 수용성 규산칼륨 수준이 높아짐에 따라 N은 감소하고 P와 K는 증가하였으나 Ca와 Mg는 차이가 없었다. 생육단계별 엽록소함량은 착과 전에는 수용성 규산칼륨처리에 따른 차이가 없었으나 착

과후 및 수확기로 갈수록 수용성 규산칼륨 수준이 높아짐에 따라 엽색도가 높아지는 경향을 보였다. 흰가루병 발생정도는 대조구에 비하여 수용성 규산칼륨 수준이 높을수록 발생정도가 낮았다. 수박의 과중은 수용성 규산칼륨 처리에 의해 0.1~0.5kg/개 무거워졌으며, 당도는 0.5~0.6 °Brix 정도 높아졌고, 상품수량은 대조구에 비하여 2~4% 증수되었다. 이상의 결과 시설수박 재배지에 수용성 규산칼륨 처리는 양분흡수 증가, 수박 상품수량 증가 및 흰가루병 발생 억제로 시설 수박재배에 친환경적인 방법으로 안정생산에 활용할 수 있으리라 본다.

추가주제어 : 엽록소, 건물중, 흰가루병, 당도

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ0094242015)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

Adatia, M.D. and R.T. Bestford. 1986. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58:343-351.

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(4):254-261.

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

Belanger, R.R., P.A. Bowen, D.L. Ehert, and J.G. Menzies. 1995. Soluble silicon, Its role in crop and disease management of greenhouse crops, *Plant Dis.* 79:329-336.

Bowen, P.A., J.G. Menzies and D.L. Ehret. 1992. Soluble silicon inhibit powdery mildew development on grape leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117:906-912.

Burlo, F.I. Guijarro, A.A.C. Barrachina, and D. Vlaero. 1999. Arsenic species : Effects on and accumulation by tomato plants. *J. Agric. Food Chem.* 47:1247-1253.

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.* Vol. 39(3):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.

Cho, J.K. 2013. Growth characteristics of tomato applied with silicate and salicylate in the greenhouse. Ph. D. Kong-ju National University.

Datnoff, L.E., K.W. Kenneth, and F.J. Correa-V. 2001. Silicon in agriculture. Elsevier Science, Amsterdam.

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

Epstein, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:641-664.

Gascho, G.J. 2001. Silicon sources for agriculture. In: L.E. Datnoff, G. H. Snyder, and G.H. Korndorfer (eds.). *Silicon in agriculture.* Elsevier Science, Amsterdam. p.197-207.

Guevel, M.H., J.G. Menzies, and R.R. Belanger. 2007. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Eyr. J. Plant Pathol.* 119:429-436.

Joo, J.H., and 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., and 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, Y.C., K.Y. Kim, K.W. Park, H.K. Yun, T.C. Seo, and S.G. Lee. 2002. Effect of granular silicate application on the growth and yield of tomato grown in perlite substrate, *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 43:21-24.

Lee, J.S., J.H., Park, and K.S. Han 2000. Effects of potassium silicate on growth, photosynthesis and inorganic ion absorption in cucumber hydroponics. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 41:480-484.

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

Lee, S.H., H.J. Cho, H.J. Shin, S.D. Shin, 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 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.

Liang, Y.J. Z. Zhu, G. Li, Y. Chu, J. Ding, and W. Sun. 2008. Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. *Environ. Expt. Bot.* 64:286-394.

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.

- Marschner, H. 2003. Beneficial mineral elements. P. 405-435. In : H. Marschner (ed). Mineral nutrition of higher plant. 2nd ed. Academic Press, Amsterdam.
- 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 Miller, D.M. 1987. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 18:1-15.
- Miyake, Y., and 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.
- Oh, W.K., J.Y. Kim, and S.B. Kim. 1987. Effects of urea, ammonium nitrate and calcium silicate on the absorption, translocation of potassium and yield of chinese cabbage. J. Korean Soc, Soil Sci. Fert. 20:337-340.
- Pei, Z.F., D.F. Ming, D. Liu, G.L., Wan, X.X. Geng, H.J. Gong, and W.J. Zhou. 2010. Silicon improves the tolerance to water deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. J. Plant Growth Regul. 29:106-115.
- 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.
- Ryu, N.H., M.Y. Choi, Y.J. Ryu, H.J. Cho, Y.S. Lee, Y.D. Lee, and J.B. Chung. 2003. Suppression of powdery mildew development in oriental melon by silicate fertilizer. Korean. J. Environ. Agric. 22, 255-260.
- Savant, N.K., G.H. Korndorfer, L.E. Datnoff, and G.H. Snyder. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production : a review. J. plant Nutr. 22:1853-1903.
- Sherwood, R.T. and Nance, C.P. 1980. Resistance to fungal penetration in Gramineae. *Phytopathol.* 70:273-279.
- Sivanesan, I., Son, M.S., J.P. Lee, and B.R. Jeong. 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.
- Son, M.S., H.J. Oh, J.Y. Song, M.Y. Lim, Sivanesan, and B.R. Jeong. 2012. Effect of silicon source and application method on growth of *kalanchoe Peperu*. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30(3):250-255.
- Voogt, W. 1989. Komkommer : Silicium als mestof toedienen nog niet mogelijk in praktijk. (Cucumber: application of silicon as fertilizer not yet possible in commercial practice). Groenten Fruit. 44:34-35.
- Won, J.G., S.J. Kim, D.J. Ahn, Y.J. Seo, C.D. Choi, and S.C. Lee. 2008. Effect of silicate application on grain quality and storage characteristics in rice. Korean J. Crop. Sci. 53:31-36.
- Uhm. M.J., H.G. Noh, S.W. Chon, and Y.J. Song. 2012. Application effect of organic fertilizer and chemical fertilizer on the watermelon growth and soil chemical properties in greenhouse. Korean J. Environ. Agric. 31:1-8.
- Zucczrini, P. 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. Biol. Plant. 52:157-160.