

규산염 종류와 적용방법이 칼란코에 ‘페페루’의 생육에 미치는 영향

손문숙¹ · 오혜진¹ · 송주연¹ · 임미영¹ · Iyyakkannu Sivanesan² · 정병룡^{1,2,3*}

¹경상대학교 대학원 응용생명과학부(BK21 Program) 원예학과, ²경상대학교 농업생명과학연구원, ³경상대학교 생명과학연구원

Effect of Silicon Source and Application Method on Growth of Kalanchoe ‘Peperu’

Moon Sook Son¹, Hye Jin Oh¹, Ju Yeon Song¹, Mi Young Lim¹, Iyyakkannu Sivanesan², and Byoung Ryong Jeong^{1,2,3*}

¹Department of Horticulture, Division of Applied Life Science (BK21 Program), Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

²Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Reserch Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Abstract. The effect of different source silicon (CaSiO₃, K₂SiO₃, and NaSiO₃) and their application methods (foliar application and subirrigation) on the growth of potted kalanchoe was investigated. Rooted terminal cuttings of *Kalanchoe blossfeldiana* ‘Peperu’ were transplanted into 10.5 cm plastic pots containing a commercial growing medium. Then, a nutrient solution, containing 0 or 50 mg·L⁻¹ Si as K₂SiO₃, Na₂SiO₃, or CaSiO₃ and adjusted to EC 1.4-1.6 mS·cm⁻¹ and pH 6.0, was supplied through subirrigation along with the nutrient solution or by a foliar application. Plants were grown in a glasshouse under a mean temperature of 23 °C and RH of 70-80%. After 12 weeks of cultivation, plant growth characteristics and leaf tissue contents of P, K, Ca, Mg, Na, S, and Si were measured. Both subirrigational supply and foliar application of Si decreased the plant height and flower stem length. However, the plant condition in the foliar application resulted in disease-like soft rot on the leaf. Among three silicon sources tested, CaSiO₃ supplied through a subirrigation system increased shoot tissue contents of Si and chlorophyll as compared to the Na₂SiO₃ or K₂SiO₃ treatment. Shoot tissue contents of Ca, K, and Na increased when the plant was supplied with CaSiO₃, K₂SiO₃, and Na₂SiO₃, respectively. Subirrigational supply of K₂SiO₃ and NaSiO₃ decreased the shoot tissue contents of Ca and Mg, and K and Ca, respectively. Therefore, CaSiO₃ supplied through a subirrigation system could improve plant quality of kalanchoe ‘Peperu’ making compact potted plants.

Additional key words: calcium silicate, foliar application, potassium silicate, sodium silicate, subirrigational supply

서 언

최근 규소(Si)가 식물체에 미치는 다양한 효과에 대한 인식이 높아짐에 따라 전 세계적으로 규소의 역할에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다(Richmond and Sussman, 2003). 규소는 식물체에서 세포벽의 견고성을 높이고, 세포 사이의 간극과 외층에 축적되어 잎의 크기와 두께, 그리고 단위 면

적당 건물중을 증가시킴으로써 생물적, 비생물적 스트레스의 저항성을 증가시키는 역할을 한다(Datnoff et al., 2001; Liang et al., 2008; Ma, 2004; Pei et al., 2010; Zuccarini, 2008). 또한 식물체의 잎을 직립시켜 수광상태를 좋게 하고 이에 따라 광합성 효율이 증가되어 벼, 밀, 보리 등과 같이 밀식 재배되는 곡류작물의 생육과 수량을 증가시키며 (Savant et al., 1997), 수분증발을 억제하거나 나트륨의 이

*Corresponding author: brjeong@gmail.com

※ Received 31 August 2011; Revised 3 April 2012; Accepted 4 April 2012. 손문숙, 오혜진, 송주연, 임미영은 교육인적자원부 BK21 프로그램의 장학금을 수여받았음. 본 연구는 농림수산식품부 농림수산식품기술기획평가원(iPet)의 농림기술개발사업 지원으로 수행되었음(과제번호: 108102-5).

동을 억제시켜 과채류에서 과실을 발달시키는 역할을 한다 (Burlo et al., 1999). 최근 우리연구팀에서는 배지에 첨가한 규산질 비료가 국화의 흡수 발근과 생장에 효과적이고 (Moon et al., 2008), 칼랑코에와 카네이션에 첨가한 규산질 비료가 식물체의 잎을 조밀하게 한다(Bae et al., 2010)고 보고하였다.

규소는 지구상에서 토양에 가장 많이 존재하는 원소로서 다양한 형태가 존재하지만 항상 다른 원소들과 함께 결합되어 있으므로 용해도가 매우 낮다(Gascho, 2001). 따라서 규소가 다른 원소와 결합되어 있어도 용해도가 비교적 높은 형태만이 식물에 흡수되어 식물 생장에 도움을 주는 다양한 기작이 작용하게 된다(Ma et al., 2001). 식물이 흡수할 수 있는 규소형태로 널리 이용되는 규산염으로는 calcium silicate(CaSiO_3), potassium silicate(K_2SiO_3), sodium silicate(Na_2SiO_3)가 있고, 그 외에도 magnesium silicate(MgSiO_3), calcium silicate hydrate, silica gel, 그리고 thermo-phosphate 등이 있다(Gascho, 2001). CaSiO_3 는 인을 생산하면서 발생하는 부산물로 만들어진 형태로써, 용해도가 높아 규산질 비료 중 가장 널리 이용하는 형태이고, 규소, 칼슘, 유기산제 등을 포함하고 있어 병충해 방제에 효과적이다(Snyder et al., 2005). K_2SiO_3 는 비교적 가격은 비싸지만, 용해도가 높아 고부가가치 식물의 수경재배용으로 이용된다. Kanto et al.(2006)은 특히 딸기의 수경재배에서 흰가루병 방제에 CaSiO_3 와 Na_2SiO_3 에 비해 K_2SiO_3 처리가 효과적이었다고 보고하였다. 또한 Sivanesan et al.(2011)은 규소를 배지에 첨가하여 약용식물인 *Cotoneaster wilsonii*의 조직배양시 발생하는 유리화 현상을 억제하여 고품질 식물의 대량생산에 도움을 준다고 보고하였다. Na_2SiO_3 는 토양재배와 엽면살포에 이용되고 있지만 몇몇 식물에서 토양재배 시 높은 농도의 Na_2SiO_3 를 필요로 함으로 경제적 가치에 대한 분석이

필요하다는 보고(Elawad et al., 1982)도 있다. 그 외 MgSiO_3 와 다른 규산염 형태는 용해도가 낮거나 비경제적이라는 이유로 사용에 제한이 있다(Medina-Ganzales et al., 1988). 이와 같이 다양한 형태의 규산염이 존재함에도 불구하고, 식물마다 요구하는 규산염 형태와 농도, 그리고 이들의 적용 방법과 처리된 각 규산염 형태가 식물체 내 원소함량의 변화에 미치는 영향에 대한 연구가 거의 없다.

규산질 비료의 시비효과에 대해서는 현재까지 다양한 보고들이 존재하지만, 지금까지의 규소와 식물에 관한 연구는 벼, 밀, 보리, 오이, 사탕수수 등에 국한되어 있다. 최근 원예 작물 중 참외와 오이 등도 규소를 흡수하면 병충해 방제와 과실의 증수 효과가 있다는 보고가 있지만(Cho et al., 1998; Menzies et al., 1992), 화훼작물에서 규소의 영향에 관한 연구는 미미하다.

따라서 화색이 다양하고 소화수가 많으며 개화기간이 길어 한국, 일본, 네덜란드 등 많은 나라에서 소비가 증가되고 있으며, 국내에서는 수출용 분화작물 등으로 부가가치가 높은 작물로 유망시되는 칼랑코에(Dole and Wilkins, 1999; Kim et al., 2007; Lu and Son, 2005; Son et al., 2006)에서 저면관수와 엽면살포의 두 가지 처리방법에 의한 3가지의 규산염(CaSiO_3 , K_2SiO_3 , Na_2SiO_3) 처리가 작물의 생육에 미치는 영향과 지상부에서의 각 원소들의 상관관계를 알아보고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

분화용 칼랑코에 ‘Peperu’를 2010년 7월 17일 삼목하고, 2010년 8월 3일에 삼목묘 중 균일한 개체를 선발하여 상토(토실이상토, 신안그로)가 담긴 10.5cm 포트에 정식하였다. 정식 후 세가지 규산염(CaSiO_3 , Na_2SiO_3 , K_2SiO_3)을 예비

Table 1. Adjusted composition of the nutrient solutions as influenced by the supplementation of different silicon sources.

Element ($\text{me}\cdot\text{L}^{-1}$)	Silicon source			
	Control (No Si added)	K_2SiO_3	Na_2SiO_3	CaSiO_3
Ca^{2+}	6	6.00	6.00	5.99
Mg^{2+}	2	2.00	2.00	2.00
K^+	5	5.05	4.54	5.00
NH_4^+	2	2.00	2.00	2.00
NO_3^-	11	10.98	11.15	11.35
SO_4^{2-}	2	2.00	2.00	2.00
H_2PO_4^-	2	2.00	2.00	2.00
Na^+			0.54	
Si ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	0	1.78	1.78	1.78

Table 2. Effect of subirrigational supply of Si from different silicate sources on growth of kalanchoe 'Peperu'.

Silicon source	Plant height (cm)	Flower stem length (cm)	Stem diameter (mm)	No. of flower branches	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Chlorophyll (SPAD)	FV/FM
					Shoot	Root	Shoot	Root		
Control	28.9±1.6 a ²	20.4±1.3 a	13.3±1.2 a	13.6±1.6 a	227.8±29.8 a	9.3±0.9 a	13.3±1.8 a	1.1±0.1 a	57.5±2.8 c	0.86±0.0 a
K ₂ SiO ₃	26.7±1.4 b	19.4±0.9 ab	13.5±1.0 a	14.0±1.9 a	225.8±19.2 a	9.4±1.7 a	13.0±1.3 a	1.2±0.2 a	56.0±3.7 bc	0.85±0.0 a
Na ₂ SiO ₃	27.8±1.8 ab	19.3±1.1 ab	13.3±1.7 a	13.4±1.4 a	219.2±18.5 a	9.7±1.2 a	12.4±1.1 a	1.2±0.2 a	58.9±4.5 ab	0.85±0.0 a
CaSiO ₃	26.9±1.7 b	19.1±1.5 b	12.3±1.9 a	13.1±1.6 a	192.6±14.1 b	8.4±0.9 a	10.4±1.0 b	1.0±0.1 b	60.7±2.4 a	0.85±0.0 a

²Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

실험에서 가장 효과적이었던 50 mg·L⁻¹ Si의 농도로 엽면살포하거나 저면베드(각각 200L의 양액탱크와 펌프가 설치된 ebb and flow 시스템 베드)를 이용한 저면관수로 처리하였다. 엽면살포 처리는 온실다용도 액비[Ca(NO₃)₂·4H₂O 767.0mg·L⁻¹, KNO₃ 343.4mg·L⁻¹, KH₂PO₄ 163.2mg·L⁻¹, K₂SO₄ 43.5mg·L⁻¹, MgSO₄·7H₂O 246.0mg·L⁻¹, NH₄NO₃ 80.0mg·L⁻¹, Fe-EDTA 15.0 mg·L⁻¹, H₃BO₃ 1.40mg·L⁻¹, NaMoO₄·2H₂O 0.12mg·L⁻¹, MnSO₄·4H₂O 2.10mg·L⁻¹, ZnSO₄·7H₂O 0.44mg·L⁻¹]를 저면에서 관수하면서 증류수에 용해시킨 세가지 규산염을 분무기로 매주 1회 공급하였다. 저면관수 처리에서 양액은 온실다용도 액비를 기준으로 하여 규산염의 농도만 변화시켰다. 각 처리로 추가된 규산염으로 인해 증가된 이온들은 조절하여 총 이온의 농도를 고정하였고(Table 1), 재배 중의 EC는 1.4-1.6mS·cm⁻¹, 그리고 pH는 6.0의 범위를 유지하도록 공급양액과 공급량을 조절하였다. 재배 시 온실의 평균기온은 23.0°C, 평균 상대습도는 70-80%였고, 규산염 처리에 의한 생육차이를 정확히 판단하기 위하여 생장억제제인 왜화제는 사용하지 않았다.

식물은 규산염 처리 12주째에 수확하여 초장, 경경, 엽록소 함량(SPAD-502, Minolta Camera Co., Osaka, Japan), 꽃대 수, 꽃대길이, 그리고 생체중과 건물중 등을 조사하였다. 건물중은 생체중을 측정된 후에 70°C 건조기에서 72시간 건조한 후 측정하였다. Fv/Fm(maximum quantum yield of photosystem II)는 수확 전 날에 신초를 완전히 암적응시킨 후 휴대용 엽록소 형광 측정기(PAM-2100, Waltz, Germany)를 사용하여 측정하였다.

신초에 축적된 원소(P, K, Ca, Mg, Na, S, Si)와의 상관관계를 알아보기 위하여 식물체의 지상부를 70°C에서 완전히 건조시킨 후 분쇄하여 1g씩을 자제 도가니(porcelain crucible)에 정량하여 넣은 후 525°C의 회화로(Model LV 5/11B180, Lilienthal, Berman, Germany)에서 4시간 가열한 후 25% HCl 5mL과 증류수 45mL을 이용하여 완전히 분해하였다. 분해된 시료는 필터페이퍼(Qualitative filter papers #2,

Advantec MFS, Inc., Dublin, CA)를 이용하여 여과시켜 유기물을 제거한 후 ICP-AES(Optima 4300DV/5300DV, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA)로 각 성분을 분석하였다. 실험구는 완전임의배치법으로 실험처리당 칼랑코에 10개체를 배치하였고, 실험결과는 SAS 프로그램(v. 9.1, Cary, NC, USA)을 사용하여 Duncan의 다중비교(DMRT)로 5% 수준에서 유의성을 검정하거나 측정치의 평균을 표준편차와 함께 표시하였다.

결과 및 고찰

저면관수를 통해 공급된 세가지 다른 규산염이 칼랑코에의 생육에 미치는 영향을 비교한 결과 경경과 꽃대수는 유의적인 차이가 없었으나 대조구에 비해 초장과 꽃대길이가 짧아졌다(Table 2). 이는 규소 처리가 초장의 신장을 촉진시킨다는 다른 연구결과(Aok and Ogawa, 1997; Miyake and Takahashi, 1983)와는 상반된 것이다. 하지만 본 연구와 같이 규소 처리에 의해 초장과 꽃대길이가 짧아진 것은 많은 원예작물의 육묘 시 문제가 되고 있는 밀식재배로 인한 도장을 억제하여 보다 안정적인 건전묘를 생산할 수 있다는 Sivanesan et al.(2010)의 실험결과와는 일치한다. 특히 주요 채소작물의 묘종은 주로 플러그 육묘방식으로 생산되면서 밀식되어 묘가 연약하고 도장되는 문제점이 있다(Jeong, 1998). 이를 극복하기 위해 주로 화학적 생장억제제를 처리하고 있는데 이는 정식한 이후에도 약효가 지속되기 때문에 초기생육을 지연시키나 생식생장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Gent, 1997). 뿐만 아니라 화훼시장에서 칼랑코에와 같은 분화류는 절화와 달리 생장억제제를 처리하여 초장을 화분 높이와 같거나 2배 정도로 안정감 있게 억제하는 경우가 많으므로 초장을 억제해야 하는 칼랑코에와 같은 분화류나 채소류의 공정묘 생산에 규소가 긍정적 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

세 가지 규산염 처리에서 초장이 짧아진 영향으로 칼랑코

에의 전체적인 생체중과 건물중은 약간 감소하였지만, 엽록소 함량은 높게 나타나는 것을 볼 수 있었는데 이것은 추가된 규산염이 식물체 내에서 활발하게 작용한 것으로 보이고, 이로 인해 광합성 능력을 증가시킬 것이다(Adatia and Besford, 1986). 특히 Bae et al.(2010)의 연구에 따르면 카네이션과 칼랑코에에서 추가한 규산질 비료가 발근과 생육에 미치는 영향을 조사한 결과 뿌리의 생체중과 건물중, 엽두께를 증가시켰으나 초장은 감소하였다. 이것을 주사전자현미경(SEM)을 통해 관찰한 결과 뿌리와 잎이 더 조밀해졌다는 결과와 일치한다. 또한 추가적인 규산염 처리가 칼랑코에의 생육에서 스트레스로 작용하는지를 알아보기 위하여 Fv/Fm 값을 측정한 결과 대조구와 비교했을 때 유의적 차이가 없는 것으로 보아 식물체가 스트레스를 받지 않고 광합성이 원활하게 이루어진 것으로 보인다. 특히 세 가지 규산염 중에서는 CaSiO₃ 처리에서 다른 규산염 처리에 비해 엽록소 함량이 가장 높았는데, 이것은 사탕수수에 다양한 규산염을 처리시 CaSiO₃가 작물의 생육을 가장 좋게 한다는 연구결과(Keeping and Meyer, 2006)와 일치한다.

엽면살포를 통해 공급된 세 가지 다른 규산염이 칼랑코에

의 생육에 미치는 영향을 비교한 결과 저면관수와 비슷하게 초장, 꽃대길이, 그리고 꽃대수가 감소하였다(Table 3). 일반적으로 작물재배 시 규산염 처리는 토양이나 양액에 규소를 첨가하여 근권부에서 규소를 흡수시키는 형태를 취한다. 하지만 최근 친환경적 재배에 대한 관심이 높아짐에 따라 엽면살포를 통한 규산염의 추가가 작물 생장에 미치는 영향에 대한 연구(Guevel et al., 2007)도 있었다. 특히 오이, 멜론, 포도, 호박 등에 엽면살포한 규소가 흰가루병 억제에 효과적이라는 것과 같은 병저항성과 관련된 다양한 연구가 활발히 진행되었다(Bowen et al., 1992; Menzies et al., 1992). 하지만 현재까지 엽면살포를 통해 잎에 흡수된 규소의 효과에 대한 메커니즘은 정확하게 밝혀지지 않았으므로 작물과 사용목적에 따라 규소의 엽면살포 필요성을 고려해야 한다. 본 연구에서 엽면살포는 저면관수와 동일하게 초장과 꽃대길이 등이 짧아졌지만, 재배 시 엽면살포에 의해 칼랑코에의 잎이 썩거나 물러지는 현상을 발견하였는데(데이터 미제시), 이것은 다육식물인 칼랑코에에 엽면살포한 규소가 잎으로 흡수되지 못하고 잎 표면에서 축축한 상태로 유지되면서 이와 같은 현상이 발생한 것으로 판단된다.

Table 3. Effect of foliar application of Si from different sources on growth of kalanchoe 'Peperu'.

Silicon source	Plant height (cm)	Flower stem length (cm)	Stem diameter (mm)	No. of flower branches	Fresh weight (g)		Dry weight (g)		Chlorophyll (SPAD)	FV/FM
					Shoot	Root	Shoot	Root		
Control	28.5 ± 1.2 a ^z	21.5 ± 1.2 a	12.9 ± 1.1 ab	13.1 ± 1.6 a	205.2 ± 37.3 a	9.2 ± 1.3 a	11.6 ± 1.9 a	1.1 ± 0.2 a	56.9 ± 3.4 a	0.85 ± 0.0 a
K ₂ SiO ₃	28.5 ± 1.6 a	21.5 ± 1.4 a	12.5 ± 1.1 ab	11.2 ± 1.3 b	193.1 ± 31.3 a	10.0 ± 2.8 a	11.2 ± 1.5 a	1.1 ± 0.2 a	60.3 ± 6.2 a	0.85 ± 0.0 a
Na ₂ SiO ₃	26.3 ± 1.9 b	19.5 ± 1.2 b	11.5 ± 1.8 b	11.6 ± 1.8 b	195.2 ± 33.1 a	9.4 ± 1.7 a	10.0 ± 1.9 a	1.1 ± 0.2 a	58.0 ± 3.2 a	0.84 ± 0.0 a
CaSiO ₃	26.7 ± 1.0 b	19.8 ± 0.7 b	13.2 ± 1.7 a	11.3 ± 0.9 b	215.5 ± 20.2 a	9.4 ± 1.5 a	11.3 ± 1.1 a	1.1 ± 0.2 a	59.6 ± 2.4 a	0.85 ± 0.0 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

Table 4. Effect of silicon supplementation on shoot tissue contents of elements in kalanchoe 'Peperu'.

Application (A)	Silicon source (B)	Element content (µg·mg ⁻¹ ·dwt)						
		P	K	Ca	Mg	Na	S	Si
Subirrigation	Control	4.01 ± 0.1 c ^z	38.80 ± 8.1 b	31.42 ± 6.3 d	5.52 ± 0.9 e	1.57 ± 0.2 f	2.61 ± 0.0 c	0.40 ± 3.2 g
	K ₂ SiO ₃	4.01 ± 0.2 c	39.59 ± 7.6 a	30.09 ± 4.9 e	5.25 ± 0.6 f	1.90 ± 0.3 c	2.26 ± 0.0 c	1.28 ± 2.0 b
	Na ₂ SiO ₃	4.52 ± 0.5 a	35.21 ± 5.0 f	31.77 ± 6.9 d	6.06 ± 1.0 b	2.21 ± 0.2 a	3.01 ± 0.0 b	1.22 ± 1.3 c
	CaSiO ₃	3.92 ± 0.1 d	35.99 ± 15.2 de	36.62 ± 12.8 b	5.64 ± 1.9 d	1.96 ± 0.8 b	2.62 ± 0.0 a	1.38 ± 1.8 a
Foliar application	Control	3.87 ± 0.1 de	36.39 ± 8.2 d	30.00 ± 6.0 e	5.65 ± 0.9 d	1.60 ± 0.2 e	2.66 ± 0.0 c	0.42 ± 1.2 g
	K ₂ SiO ₃	4.19 ± 0.1 b	37.02 ± 2.4 c	33.53 ± 5.6 c	5.92 ± 0.5 c	1.24 ± 0.3 g	3.23 ± 0.0 c	0.64 ± 0.1 f
	Na ₂ SiO ₃	4.53 ± 0.2 a	35.56 ± 4.7 ef	38.15 ± 6.3 a	6.40 ± 0.7 a	1.99 ± 0.6 b	2.72 ± 0.0 b	0.56 ± 1.7 d
	CaSiO ₃	4.23 ± 0.3 b	39.78 ± 9.2 a	33.53 ± 11.3 c	5.95 ± 1.7 c	1.70 ± 0.2 d	3.00 ± 0.0 a	0.69 ± 1.0 e
F-test ^y	(A)	***	NS	***	***	***	NS	***
	(B)	***	***	***	***	***	***	***
	(A) × (B)	***	***	***	***	***	NS	***

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at *P* = 0.05.

^yNS,***Nonsignificant or significant at *P* = 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

세 가지 다른 규산염을 저면관수와 엽면살포 시 칼랑코에에 축적된 규소함량과 다른 원소와의 관계를 비교한 결과 모든 규산염 처리에서 엽면살포에 비해 저면관수한 칼랑코에의 잎에 축적된 규소함량이 유의적으로 증가하였는데, 특히 저면관수에서의 CaSiO_3 가 $1.38\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ dwt로 가장 많았고, 다음은 Na_2SiO_3 와 K_2SiO_3 였다(Table 4). 또한 저면관수로 처리한 각 규산염은 신초에 포함된 원소함량을 증가시켰다. 예를 들면, 저면관수 처리한 CaSiO_3 처리에서는 칼슘(Ca)의 함량이 $36.62\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ dwt로, Na_2SiO_3 처리에서는 나트륨(Na)의 함량 $2.21\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ dwt로, 그리고 K_2SiO_3 처리에서는 칼륨(K)의 함량이 $39.59\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ dwt로 다른 규산염 처리에 비해 증가하였다. 그 외 Na_2SiO_3 처리에서 인(P)과 마그네슘(Mg)의 농도가 가장 높게 나타났고, CaSiO_3 처리에서 황(S)의 농도가 가장 높게 나타났다. 특히 K_2SiO_3 처리에서 Mg와 Ca의 함량이 낮아진 것을 볼 수 있었는데, 이것은 K^+ 흡수가 Mg^{2+} 와 Ca^{2+} 의 흡수를 방해하여 (Marschner, 2003), K_2SiO_3 의 추가로 인해 K^+ 흡수가 증가되고 이와 반대로 Mg^{2+} 와 Ca^{2+} 의 흡수는 억제된 것으로 판단된다. 또한 Na_2SiO_3 처리에서 K의 함량이 낮아진 것도, Na^+ 와 K^+ 사이에서의 길항작용으로 인해 Na^+ 의 증가가 K^+ 의 흡수를 방해한 것이라고 판단된다. 엽면살포 시에는 규소함량이 대조구와 비교하였을 때 크게 증가하지 않았다. 이는 밑에 대한 규소처리에서 엽면살포보다는 뿌리를 통해 흡수한 처리에서 축적된 규소의 함량이 많았고(Guevel et al., 2007), 벼에 처리한 규소는 다른 처리방법보다 뿌리를 통해 흡수하는 것이 가장 효과적(Ma et al., 2006)이라고 보고한 결과와 일치한다. 또한 엽면살포의 경우에는 저면관수와 다르게 각 원소들 사이의 일정한 상관관계를 볼 수 없었다. 따라서 엽면살포를 통한 규산염 처리는 적당한 처리시기에 대한 연구를 추가적으로 수행함으로써 각 원소들과의 상관관계를 더 면밀히 파악할 수 있을 것이다.

본 연구는 저면관수와 엽면살포의 두 가지 관수방법에서 세가지 규산염(CaSiO_3 , K_2SiO_3 , Na_2SiO_3) 처리가 칼랑코에의 생육에 미치는 영향을 알아보기로 수행되었다. 그 결과 저면관수를 통해 공급한 CaSiO_3 $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 칼랑코에 잎에 가장 많은 Si가 흡수되었고, 엽록소 함량도 높았다. 각 규산염 처리가 신초의 원소별 함량에 미치는 영향을 관찰한 결과 저면관수에서는 처리한 각 규산염에 함유된 각 원소가 증가하여, K_2SiO_3 에서 K의 증가는 Mg^+ 와 Ca^+ 의 감소로, Na_2SiO_3 에서 Na^+ 의 증가는 K^+ 의 감소로 이어졌다. 따라서 칼랑코에의 재배 시 추가된 규산염은 그 형태에 따라 다른 원소와의 상관관계와 생장에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 대조구에 비해 규산염 처리에서 초장이 감소되어

칼랑코에와 같은 소형 분화류의 품질을 향상시켰으나 각 규산염 처리 사이에서의 생육에는 유의적인 차이가 없었다.

초 록

본 연구는 저면관수와 엽면살포의 두 가지 관수방법에서 세 가지 규산염(CaSiO_3 , K_2SiO_3 , Na_2SiO_3)의 처리가 칼랑코에의 생육에 미치는 영향을 알아보기로 수행하였다. 칼랑코에 ‘Peperu’를 2010년 7월 17일 삽목하고, 2010년 8월 3일에 삽목목 중 균일한 개체를 선발하여 상토(토실이상토, 신안그로)가 담긴 10.5cm 포트에 정식하였다. 정식 후 세 가지 규산염(CaSiO_3 , Na_2SiO_3 , K_2SiO_3)을 $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Si의 농도로 엽면살포 또는 저면관수로 처리하였다. 재배 중의 EC는 $1.4\text{--}1.6\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 로, pH는 6.0의 범위를 유지하도록 공급양액과 공급량을 조절하였다. 규산염 처리 12주째에 수확하여 초장, 경경, 엽록소 함량, 꽃대 수, 꽃대 길이, 생체중과 건물중, 그리고 식물체 내 축적된 규소함량을 측정하였다. 그 결과 저면관수와 엽면살포 처리 시 초장과 꽃대길이가 줄어들었지만, 엽면살포 처리 시 잎이 썩거나 물러지는 현상이 발견되었다. 세 가지 다른 규산염 종류 사이에서는 저면관수를 통해 공급한 CaSiO_3 처리에서 규소가 칼랑코에 잎에 가장 많이 흡수되었고, 그 영향으로 엽록소 함량이 증가하였다. 신초 조직의 원소 함량은 CaSiO_3 , K_2SiO_3 , 그리고 Na_2SiO_3 처리에 따라 Ca^+ , K^+ , 그리고 Na^+ 가 각각 높았고, 저면관수한 K_2SiO_3 와 Na_2SiO_3 처리에서는 Ca^+ 와 Mg^+ , 그리고 K^+ 와 Ca^+ 가 각각 낮았다. 최종적으로 저면관수 CaSiO_3 $50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리한 칼랑코에의 잎에 Si가 가장 많이 축적되었고, 축적된 Si 함량의 영향으로 엽록소 함량이 증가되었다. 또한 대조구에 비해 규산염처리에서 초장과 같은 생장량이 감소되어 칼랑코에와 같은 소형 분화류의 품질을 향상시켰으나 각 규산염 처리구 사이에서의 생육에는 유의적인 차이가 없었다.

추가 주요어 : 규산칼슘, 엽면살포, 규산칼륨, 규산나트륨, 저면관수

인용문헌

- Adatia, M.D. and R.T. Besford. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.* 58:343-351.
- 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.
- Bae, M.J., Y.G. Park, and B.R. Jeong. 2010. Effect of a silicate fertilizer supplemented to a medium on the growth and develop-

- ment of potted plants. *Flower Res. J.* 18:50-56.
- Bowen, P.A., J.G. Menzies, and D.L. Ehret. 1992. Soluble silicon sprays 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.
- Cho, I.C., S.H. Lee, and B.J. Cho. 1998. Effects of soluble silicon and several surfactants on the development of powdery mildew of cucumber. *Kor. J. Environ. Agric.* 17:306-311.
- Datnoff, L.E., K.W. Kenneth, and F.J. Correa-V. 2001. Silicon in agriculture. Elsevier Science, Amsterdam.
- Dole, J.M. and H.F. Wilkins. 1999. Kalanchoe, p. 403-408. In: J.M. Dole and H.F. Wilkins (eds.). *Floriculture: Principles and species*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.
- Elawad, S.H., G.J. Gascho, and J.J. Street. 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. *Agron. J.* 74:481-484.
- Gascho, G.J. 2001. Silicon sources for agriculture, p. 197-207. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndorfer (eds.). *Silicon in agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Gent, M.P.N. 1997. Persistence of triazole growth retardants on stem elongation of *Rhododendron* and *Kalmia*. *J. Plant Growth Regul.* 16:197-203.
- 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. *Eur. J. Plant Pathol.* 119:429-436.
- Jeong, B.R. 1998. Technology and environment management for the production of plug transplants of flower crops. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 16:282-286.
- Kanto, T., A. Miyoshi, T.O.K. Maekawa, and M. Aino. 2006. Suppressive effect of liquid potassium silicate on powdery mildew of strawberry in soil. *J. Gen. Plant Pathol.* 72:137-142.
- Keeping, M.G. and J.H. Meyer. 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, S.H., W. Oh, and K.S. Kim. 2007. Effects of nitrogen concentration and $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ ratio of nutrient solution on stock plant growth, cutting yield, and quality in *Kalanchoe blossfeldiana*. *Hort. Environ. Biotechnol.* 48:52-59.
- Liang, Y., J. Zhu, Z. Li, G. Chu, Y. Ding, J. Zhang, 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.
- Lu, Y.J. and J.E. Son. 2005. Effects of nutrient strength and light intensity on nutrient uptake and growth of young kalanchoe plants (*Kalanchoe blossfeldiana* 'Marlene') at seedling stage. *J. Bio-Environ. Control* 14:149-154.
- Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50:11-18.
- Ma, J.F., K. Tamai, N. Yamaji, N. Mitani, S. Konishi, and M. Katsuhara. 2006. A silicon transporter in rice. *Nature* 440:688-691.
- Ma, J.F., Y. Miyake, and E. Takahashi. 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants, p. 17-39. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, and G.H. Korndorfer (eds.). *Silicon in agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Marschner, H. 2003. Beneficial mineral elements, p. 405-435. In: H. Marschner (ed.). *Mineral nutrition of higher plant*. 2nd ed. Academic Press, Amsterdam.
- Medina-Ganzales, O.A., R.L. Fox, and R.P. Bosshart. 1988. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. *Fert. Res.* 16:3-13.
- Menzies, J.G., P.A. Bowen, D.L. Ehret, and A.D.M. Glass. 1992. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:902-905.
- Miyake, Y. and E. Takahashi. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:71-82.
- Moon, H.H., M.J. Bae, and B.R. Jeong. 2008. Effect of silicate supplemented to medium on rooting of cutting and growth of chrysanthemum. *Flower Res. J.* 16:93-169.
- 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.
- Richmond, K.E. and M. Sussman. 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6:268-272.
- Savant, N.K., G.H. Snyder, and L.E. Datnoff. 1997. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron.* 58:151-199.
- Sivanesan, I., J.Y. Song, S.J. Hwang, and B.R. Jeong. 2011. Micropropagation of *Cotoneaster wilsonii* Nakai - A rare endemic ornamental plant. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 105:55-63.
- Sivanesan, I., M.S. Son, 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.
- Snyder, G.H., D.W. Rich, C.L. Elliott, and M.P. Barbosa Filho. 2005. Evaluation of candidate silicon fertilizers. *Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 64:52-54.
- Son, J.E., M.M. Oh, Y.J. Lu, K.S. Kim, and G.A. Giacomelli. 2006. Nutrient-flow wick culture system for potted plant production: System characteristics and plant growth. *Sci. Hort.* 107:392-398.
- Zuccarini, P. 2008. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biol. Plant* 52:157-160.