

유황 처리수준이 ‘싼타’ 딸기의 중탄산 피해 경감에 미치는 영향

이희수¹ · 김윤섭² · 박인숙² · 정종도³ · 최종명^{2*}

¹국립원예특작과학원 채소과,
²충남대학교 농업생명과학대학 원예학과
³경북 성주참외과채류연구소

Influence of Incorporation Rates of Sulfur on Reduction of the Bicarbonate Injury in Hydroponic Cultivation of ‘Ssanta’ Strawberry

Hee Su Lee¹, Yun-Seob Kim², In Sook Park², Jong Do Cheung³, and Jong Myung Choi^{2*}

¹Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea

²Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Seongju Korean Melon Fruit Vegetable Research Institute, Seongju 40054, Korea

Abstract. This research was conducted to determine the influence of incorporation levels of sulfur into a coir dust+pine bark medium (1:1, v/v) on the changes in the bicarbonate (HCO_3^-) concentrations and pH of soil solution, crop growth, and nutrient uptake of ‘Ssanta’ strawberry. In the preparing of the mixed medium, sulfur powder was added with the rate of 0 (control), 0.23, 0.45, 0.90, and 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ and Hoagland nutrient solution containing 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ HCO_3^- was supplied during the crop cultivation. The growth measurements and tissue analysis for the determination of nutrient contents were carried out 140 days after solution application and the soil solution analysis was performed every two weeks. As the level of sulfur was elevated, the overall growth of mother plants became better showing that the growth indexes except chlorophyll contents were the lowest in control treatment but the statistical differences were not found among the three treatments of 0.45 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ or higher sulfur. The higher the levels of sulfur incorporation, the higher the occurrence of runners and the growth of daughter plants. The length of the runners and the number of daughter plants occurred per mother plants were higher in the treatments of 0.90 and 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ than the three treatments of 0, 0.23, and 0.45 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, but the statistical differences were not observed between the 0.90 and 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ treatments. The rise of pH and HCO_3^- concentrations in soil solution of root media continued all the cropping period, but those decreased slightly in the treatments of 0.90 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ or higher. The soil solution concentrations of K^+ and PO_4^{3-} in the treatments of 0.90 and 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ was lower than those in other treatments and the statistical differences in the Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations were not observed among all treatments. The nutrient contents in tissue analyzed in this experiment were the lowest in the control treatments and those increased as incorporation rates of sulfur were elevated. Above results indicated that when ‘Ssanta’ strawberry is grown hydroponically and the root medium is coir dust and the pine bark (5:5, v/v) mix, the sulfur incorporation rate as pre-planting fertilizer has to be higher than 0.9 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ root medium to reduce the HCO_3^- injury.

Additional key words : daughter plant, inorganic element, mother plant, pH, physiological disorder

서 론

딸기의 수경재배는 지상 1m 이상의 높이에 고설베드를 설치하고, 상토를 베드에 충전한 후 작물을 재배하는 방법이다. 수경재배를 위한 상토는 토양보다 입경이 커서 양이온치환용량이 낮고(Nelson, 2012), 이로 인해 pH

나 EC 등 근권부의 화학성 변화에 대한 완충력이 낮은 특징을 가진다.

수경재배를 위한 양액은 수질을 고려하여 조제하는데, 수질을 판단하는 여러 항목 중 중탄산(HCO_3^-)이 원수에 고농도로 존재하면 작물 재배 중 토양용액의 pH를 지속적으로 상승시켜 근권부에 존재하는 각종 무기이온을 불용화시키고 각종 생리장해가 발생하는 원인이 된다. Lindsay(2001)은 그의 저서에서 pH 변화에 따라 토양용액에 존재하는 각종 무기이온의 활성도(activity)가 변화되는 양상과 불용화 과정, 그리고 불용화 과정에서 다

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

Received March 10, 2018; Revised April 13, 2018;

Accepted April 16, 2018

른 이온과의 결합 등에 관해 보고한 바 있다. 토양용액의 pH가 상승할 때 토양용액의 인산이나 Fe, Mn, Zn, Cu 및 B 등 각종 미량원소가 불용화되어 흡수량이 감소하고 각종 생리장해가 발생하는 것은 다수의 저자에 의해 확인되었고, 이미 식물영양학을 연구하는 연구자들에게는 보편적으로 받아들이는 사실이다(Bertoni 등, 1992; Romera 등, 1992; Styer와 Koranski, 1996).

상토의 중탄산 농도는 생장이 왕성한 시기에 토양 통기성이 불량할 경우에도 높아진다. 즉, 작물 생장이 왕성하여 뿌리의 호흡량이 많은 경우 뿌리에서 발생한 CO₂가 적절한 시기에 상토 밖으로 배출되어야 하지만, 관수를 지나치게 자주하여 상토 내의 토양수에 CO₂가 집적되면 CO₂가 물과 반응하여 중탄산으로 변하여 피해를 유발한다. 상토 내의 중탄산은 근권온도가 높아지는 시기에 문제가 되며 일반적으로 10°C부터 40°C까지 온도가 높아질수록 호흡량이 증가하여 상토 내 CO₂ 집적량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Atkin과 Tjoelker, 2003).

‘싼타’ 딸기의 수정재배에서 고농도 중탄산에 의한 문제점을 해결하기 위해 연구가 수행된 바 있다. Lee 등(2014)은 양액의 적정 중탄산 농도가 60-90mg·L⁻¹ 수준이며, 이들 농도 범위에서는 각종 무기원소의 결핍증상이 관찰되지 않았고 모주 및 자묘의 생장이 양호하였다고 보고하였다. 그들은 고농도 중탄산에 의해 발생하는 피해를 경감하기 위해 기비로 혼합되는 고토석회의 양을 감소시키거나(Lee 등, 2016a), 관개수에 질산과 인산 등 각종 산을 주입하여 영양변식 중인 딸기의 생장 및 자묘 발생을 촉진시킨 바 있다(Lee 등, 2016b). 상토에 유황분말을 처리하여 피해를 줄이는 방법도 보고된 바 있으며, 유황을 상토에 처리하면 유황이 산화되어 황산(H₂SO₄)이 형성되며(Plaster, 2003), 황산이 2H⁺와 SO₄²⁻로 분해되어 pH를 낮추고 중탄산을 중화시킨다(Gerald와 Hanlon, 2012). 그러나 유황의 처리수준은 작물의 흡수특성을 고려하여 결정해야 한다. Lee 등(2014)이 실험 대상으로 삼았던 ‘설향’ 딸기는 양이온 흡수량이 많고 다른 국내육성 딸기 품종보다 토양 pH를 산성으로 변화시키는 독특한 흡수특성을 가지며(Choi 등, 2012), 이로 인해 관개수의 중탄산 농도가 동일할 경우 다른 품종보다 유황 처리량을 적게 조절하는 것이 가능하다. 한편 재배면적이 많은 ‘설향’ 딸기에 처음으로 중탄산의 피해를 줄이기 위한 방법으로 유황처리를 도입한 바 있지만(unpublished), 상대적으로 재배면적이 적은 티품종에서는 아직 연구된 바 없고 ‘싼타’ 딸기 또한 중탄산 피해 경감을 위해 수행된 연구결과가 없다.

따라서 코이어 더스트에 소나무 수피를 혼합한 상토를 조제하고, 기비로 혼합되는 유황의 시비수준을 변화시킨

후 ‘싼타’ 딸기를 재배하면서 상토의 pH 변화와 모주 및 자묘의 생장에 미치는 영향을 구명하고, 이를 통해 중탄산 피해를 경감시킬 수 있는 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험을 위해 코이어 더스트(Shinsung Mineral, Goesan, Korea)와 소나무 수피(Keumjeongwon, Yeongi, Korea)를 5:5(v/v)로 혼합한 상토를 조제하였고, 이 상토의 화학성을 분석한 결과 EC 0.82dS·m⁻¹, pH 5.67, CEC 102.5cmol⁺·kg⁻¹였다. 필수원소를 공급하기 위한 기비 혼합량은 Nelson(2012)의 방법을 따랐고, 기비 처리하는 과정에서 유황을 0(무처리), 0.23, 0.45, 0.90 및 1.80g·L⁻¹으로 수준을 달리하여 상토에 혼합하였다.

기비가 포함된 혼합상토를 충남대학교 내 유리온실의 딸기전용 고설베드에 충전하고, 본엽 3매의 ‘싼타’ 딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.) 묘를 2014년 3월 20일에 정식하였고, 정식한 후 2주간 지하수만 관수하였다. 지하수의 화학성은 pH 6.7, EC 0.23dS·m⁻¹, HCO₃⁻ 90mg·L⁻¹였고 주요 무기원소 농도(mg·L⁻¹)는 NO₃-N 10.2, K 0.5, Ca 22.8, Mg 2.2, Na 11.8, SO₄ 12.6이었다. 이후 신엽 3매를 제외한 모든 하위엽을 제거하고, KHCO₃를 이용하여 중탄산을 240mg·L⁻¹으로 조절한 Hoagland 용액(Raviv와 Lieth, 2008)을 점적관수하였다. 양액의 공급량과 횟수는 기상환경 조건에 따라 조절하였으며, 점적관수할 때 배수율(leaching percentage)은 20-30% 이었다. 실험기간 중 온실 내 기상환경은 주/야간 평균온도 26°C/16°C, 상대습도 30-70%, 오후 2시 기준의 광도 330-370μmol·m⁻²·s⁻¹ 그리고 일장 약 15시간이었다.

모주 및 자묘의 생육조사는 양액 공급 140일 후 수행하였으며, 조사항목 및 방법은 Lee 등(2014)에 준하였다. 혼합상토는 매 2주 간격으로 양액처리 2시간 후 시료를 채취하였고 시료의 추출, 추출액의 pH와 EC 측정 및 무기이온 농도 분석 그리고 추출액의 중탄산 농도 분석은 Lee 등(2014)의 방법과 동일하였고 사용한 기자재 역시 동일하였다. 또한 양액처리 140일 후에 수확한 지상부 전체의 무기원소 함량을 분석하였으며, Lee(2015)의 방법에 준하여 수확한 식물체의 수세, 건조, 분쇄 및 분석을 하였고 분석을 위한 기자재 역시 그들과 동일하였다.

식물 생육조사 및 무기물 함량 분석을 통해 얻은 결과는 Duncan의 다중검정방법으로 처리구 간 차이를 비교하였으며, 통계분석은 CoStat 프로그램(Ver. 6.3, CoHort Software, CA, USA)으로 수행하였다.

Table 1. Influence of the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of mother plants 140 days after nutrient solution treatment in vegetative propagation of 'Ssanta' strawberry.

Sulfur (g·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	No. of leaves (each/plant)	Petiole length (cm)	Chlorophyll content (SPAD value)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0	24.1 c ^z	15.3 b	16.8 b	17.0 b	38.4 a	48.9 c	9.3 c
0.23	25.8 bc	16.8 b	18.1 ab	18.3 b	42.0 a	66.2 bc	12.9 bc
0.45	28.7 abc	19.5 ab	19.3 ab	19.8 ab	42.9 a	73.1 abc	14.3 abc
0.90	31.5 ab	24.8 a	21.5 ab	21.3 ab	42.4 a	82.3 ab	16.4 ab
1.80	33.3 a	26.5 a	23.0 a	23.1 a	43.2 a	97.2 a	18.8 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Influence of the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth and occurrence of daughter plants 140 days after nutrient solution treatment in vegetative propagation of 'Ssanta' strawberry.

Sulfur (g·L ⁻¹)	Runner length (cm/plant)	No. of runners (each/plant)	No. of daughter plants (each/plant)	FW. of 1st daughter plant (g/plant)	DW. of 1st daughter plant (g/plant)
0	178.0 c ^z	2.3 c	4.3 c	18.3 c	4.6 c
0.23	239.8 b	2.8 c	6.3 c	23.1 c	5.9 b
0.45	276.8 b	3.0 bc	9.0 b	30.8 b	7.4 a
0.90	400.3 a	4.3 ab	11.3 a	39.4 a	8.3 a
1.80	405.3 a	4.5 a	12.0 a	41.7 a	8.5 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

**Fig. 1.** Influence of the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of 'Ssanta' strawberry mother plants 140 days after nutrient solution treatment (A, 0; B, 0.23; C, 0.45; D, 0.90; E, 1.80 g·L⁻¹).

결과 및 고찰

혼합상토에 기비로 혼합된 유황의 수준 차이가 '싼타' 딸기의 모주 생육에 미치는 영향을 Table 1에 나타내었다. 기비로 혼합된 유황의 양이 많아질수록 초장, 초폭, 엽병장 및 생체중이 길어지거나 무거워졌다. 그러나 유황 0.45g·L⁻¹ 이상의 세 처리구 간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 모주의 전반적인 생육을 판단할 때 무처리(0g·L⁻¹)구에서 가장 저조하였으며, 유황 첨가량이 0.23g·L⁻¹ 이하인 처리구들도 무처리구와 통계적인 차이가 인정되지 않아 모주의 생육에 뚜렷한 효과가 없음을 알 수 있었다.

상토에 유황의 혼합량 차이가 '싼타' 딸기의 런너 및

자묘 발생에 미치는 영향은 Table 2와 같다. 유황 무처리구에서 런너의 길이가 가장 짧고 1번 자묘의 건물중이 가장 가벼웠다. 그러나 유황의 혼합량이 많아질수록 런너 발생과 자묘 생장이 촉진되는 경향을 보였으며, 0.90과 1.80g·L⁻¹ 처리구는 더 적은 유황 처리구보다 자묘 생장이 우수하였지만 두 처리구 간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 두 처리구에서 모주 식물체당 발생한 자묘의 수는 11-12개였고, 1번 자묘의 생체중은 약 40g 이었다. 이상의 생장에 미치는 영향을 고려할 때 중탄산 농도가 240mg·L⁻¹인 양액으로 '싼타' 딸기를 재배할 때 모주와 자묘의 생리장해 발생을 방지하고 생장을 촉진시키기 위해서는 0.90g·L⁻¹의 유황을 처리하는 것이 필요하다고 판단하였다.



Fig. 2. Influence of the various incorporation rates of sulfur ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of 1st daughter plants of ‘Ssanta’ strawberry 140 days after nutrient solution treatment (A, 0; B, 0.23; C, 0.45; D, 0.90; E, 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).

유황 처리에 의한 딸기 모주의 성장과 식물체에 발현된 생리장애 증상은 Fig. 1과 같다. 유황 0.90 및 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구의 모주는 정상적으로 생육한 반면 0 및 0.23 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서는 적은 양의 유황이 고농도의 중탄산을 중화하지 못해 각종 미량원소 결핍증상이 나타났다. 모주에서 발현된 증상 중 신엽이 엽맥간 황화된 후 신엽 전체의 황화로 변하는 Fe 결핍, 가장 최근에 완전히 전개된 잎이 엽맥간 황화증상을 나타내는 Mn 결핍, 신엽 가장자리가 톱니바퀴 형태의 푸른색을 띤 상태에서 엽맥이 푸른색을 유지한 채 엽신이 황화되는 Zn 결핍, 노엽에서 잎 중앙부가 표백된 것 같은 증상을 보이며 엽맥과 엽신은 푸르른 상태로 남아있는 Cu 결핍 그리고 신엽부위가 기형화되는 B 결핍이 발생하였다. 이와 같은 증상이 각종 미량원소의 결핍에 의해 유발되는 증상임은 Choi와 Lee(2012)의 보고내용을 근거로 판단하였다. 또한 근권부의 pH가 상승할 때 토양용액의 미량원소 활성도가 낮아지고 식물체에 의한 흡수량이 감소하며, 식물체에 미량원소 결핍증상이 나타난다고 보고한 Lindsay(2001) 및 Nelson(2012)의 내용도 본 연구결과를 뒷받침하고 있다. 즉, Fig. 3에 나타낸 바와 같이 본 연구의 유황 혼합량이 적은 처리는 작물 재배기간이 길어질수록 토양용액의 중탄산 농도가 높아지고 pH가 상승하였기 때문이다. ‘싼타’ 딸기 자묘의 성장 및 발현된 생리장애 증상은 Fig. 2와 같다. 유황 무처리구에 비해 0.45, 0.90 및 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 자묘 생장이 양호하였으며 특이한 결핍증상은 나타나지 않았다. 그러나 0 및 0.23 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 유황 처리구에서는 고농도의 중탄산이 중화되지 않아 pH가 상승하였고, 이러한 결과로 각종 미량원소 결핍증상이 나타났는데, 각종 증상의 종류 및 발생원인은 앞에서 설명한 것과 동일한 원인 때문이라고 생각한다.

유황 처리수준을 변화시킨 코이어 더스트와 수피(5:5, v/v) 혼합상토에서 토양용액의 중탄산 농도와 pH의 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 유황 0.90 및 1.80 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 시간이 경과할수록 처리 전보다 토양용액 중탄산 농도와 pH가 낮아졌으나, 0 및 0.23 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구는 지속적으로 높아지는 경향이었고, 0.45 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구는 중탄산

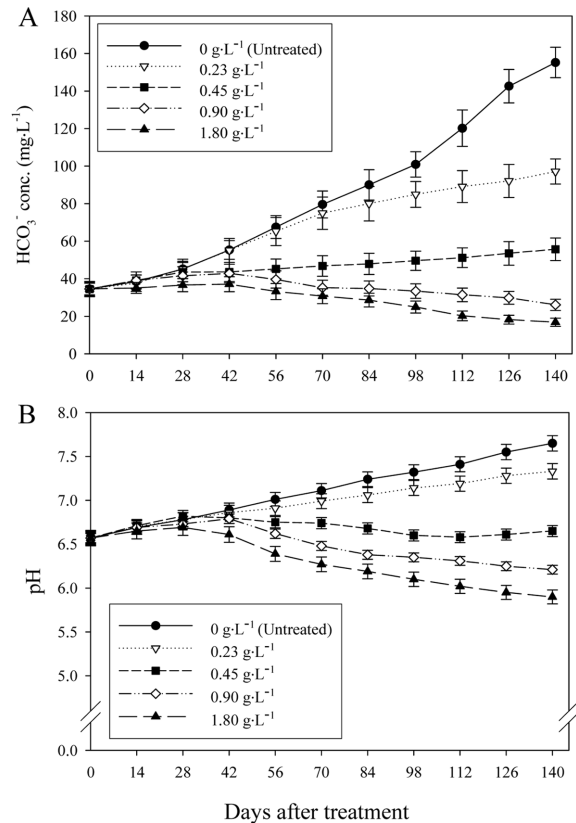


Fig. 3. Changes in the concentrations of bicarbonate (A) and pH (B) in soil solution of root media during the vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry as influenced by the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer. Vertical bars represent standard error of the mean of 5 replications.

농도와 pH가 전체 영양생장 기간 중 큰 변화없이 일정한 수준을 유지하였다. 유황을 0.90 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 시비한 처리구의 근권부 pH가 낮아진 이유는 유황으로부터 발생한 H^+ 이온이 HCO_3^- 를 물과 이산화탄소로 중화($\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$)시켜 근권부의 중탄산 농도를 감소시켰으며, 이와 같은 방법으로 근권부 pH가 적절한 범위를 유지한 처리에서 ‘싼타’ 딸기의 생장이 우수하였다고 판단한다.

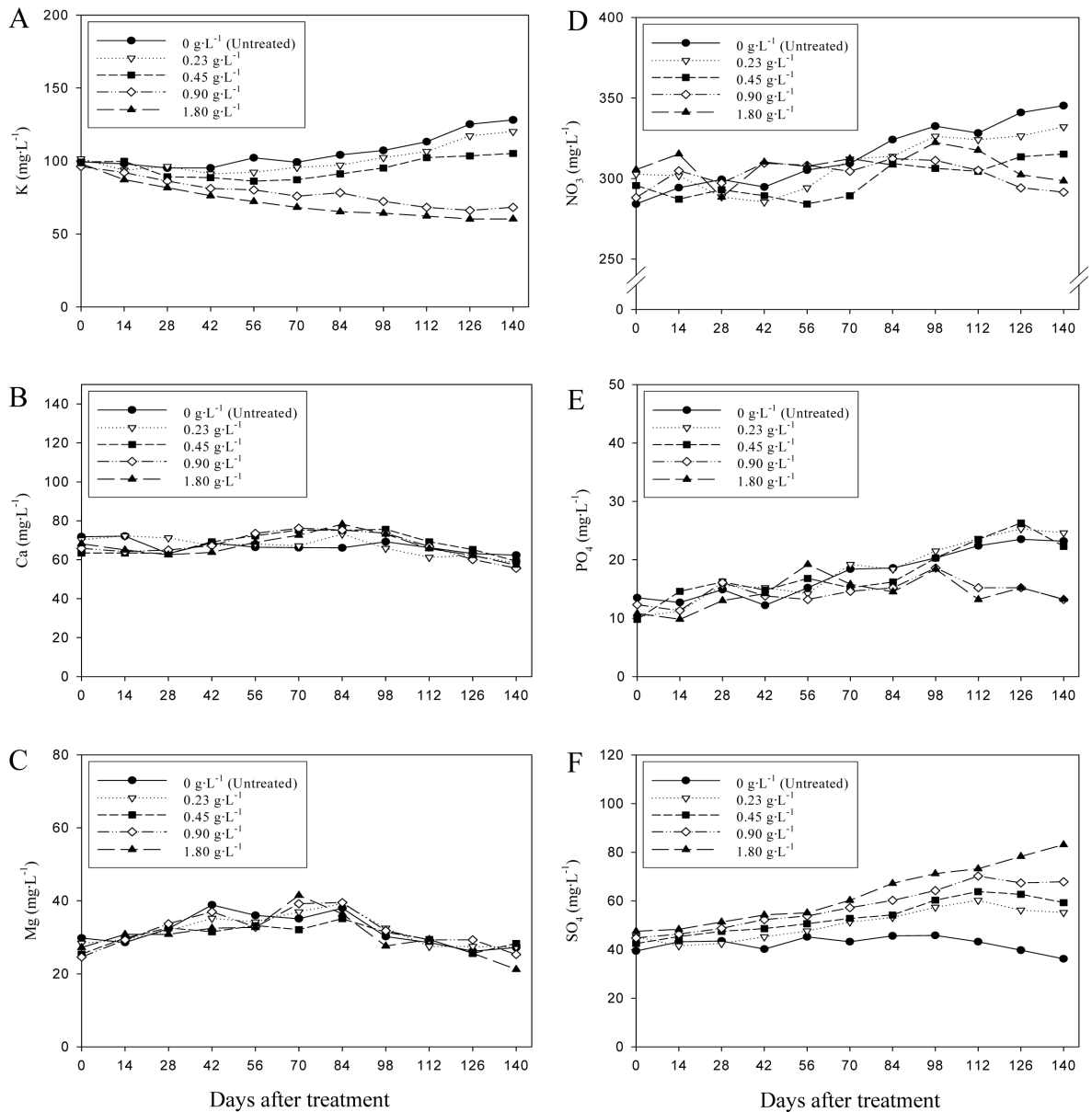


Fig. 4. Changes in the concentrations of macroelements in soil solution of root media during the vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry as influenced by the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer (A, K; B, Ca; C, Mg; D, NO₃; E, PO₄; F, SO₄).

‘싼타’ 딸기의 토양용액 무기원소 농도는 Fig. 4에 나타내었다. K 농도는 유향 0(무처리) 및 0.23g·L⁻¹ 처리구에서 약간 상승했고, 0.90 및 1.80g·L⁻¹ 처리구에서 낮아졌다. 이는 유향처리에 의한 pH의 변화에 기인하며, 약산성이었던 처리구(0.90과 1.80g·L⁻¹)는 토양용액의 H⁺ 농도가 높아짐으로써 상토의 양이온 치환부위를 점유한 H⁺의 양이 증가하고, 흡착되지 못한 K이 매 관수 시 배수공을 통해 용탈됨으로써 토양용액 농도가 낮아졌다고 판단하였다. Ca 및 Mg 농도는 유향의 처리수준에 따른

일정한 경향을 찾을 수 없었다. NO₃ 및 PO₄ 농도는 유향 0 및 0.23g·L⁻¹ 처리구가 0.90 및 1.80g·L⁻¹ 처리구에 비해 높게 분석되었고, 유향 처리수준이 높을수록 SO₄ 농도가 높아지는 경향을 보였다. 이러한 결과 또한 근권부의 pH 변화에 기인한 결과라고 판단한다. 즉, pH가 높아질 경우 토양용액에 존재하는 H⁺ 농도가 낮아지고 OH⁻ 농도가 높아진다. 따라서 유향 무처리구의 NO₃ 농도가 높아진 것은 상토의 음이온 부위에서 OH⁻와 NO₃⁻가 길항작용을 하여 NO₃⁻의 흡착량이 감소하고 OH⁻의

Table 3. Influence of the various incorporation rates of sulfur into coir dust+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the tissue nutrient contents of ‘Ssanta’ strawberry based on the dry weight of whole above ground plant tissue 140 days after nutrient solution treatment.

Sulfur (g·L ⁻¹)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
0	0.74 c ^z	0.19 c	2.61 c	0.76 c	0.25 e	121.7 c	83.4 d	25.6 c	4.54 c
0.23	1.15 b	0.27 bc	3.05 b	1.18 bc	0.33 d	155.8 bc	93.1 cd	34.5 b	5.03 bc
0.45	1.46 ab	0.28 bc	3.45 ab	1.59 ab	0.38 c	168.9 b	106.4 c	34.3 b	6.01 ab
0.90	1.54 a	0.38 b	3.59 a	1.64 ab	0.45 b	190.4 ab	128.4 b	39.6 ab	6.52 a
1.80	1.69 a	0.53 a	3.74 a	1.80 a	0.51 a	212.0 a	144.2 a	43.7 a	6.72 a

^zMean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

흡착량이 증가하였으며(Nelson, 2012) 토양용액에 자유이온 상태로 존재하는 NO₃⁻의 양이 증가한 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 토양용액 pH가 알칼리쪽으로 변할 경우 인산의 형태가 H₂PO₄⁻ ↔ HPO₄²⁻ ↔ PO₄³⁻로 변하며 H₂PO₄⁻에 비해 HPO₄²⁻와 PO₄³⁻은 다른 원소와 결합하여 불용화되고 식물체에 흡수되지 못하는 형태이다(Linsay, 2001). 따라서 유황 시비수준이 낮은 처리구는 pH가 높게 유지되어 식물체에 의한 흡수량이 적었지만 토양용액 pH가 약산성으로 유지된 0.90 및 1.80g·L⁻¹ 처리구들에서는 흡수량이 많다. 토양용액 내 농도가 낮게 유지되고, pH가 높았던 처리구들에서는 식물체의 흡수량이 적어 토양용액 내 농도가 높게 유지되었다고 판단한다. SO₄²⁻는 유황의 시비수준이 증가할수록 토양용액 내 산화된 황산의 양이 증가하여 농도가 높게 유지되었다고 생각한다.

작물을 재배한 후 지상부 식물체를 수확하여 지상부 무기원소 함량을 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 다량원소인 총 질소(T-N), P, K, Ca 및 Mg 함량은 유황 1.80g·L⁻¹ 처리구가 가장 많았고, 0.90g·L⁻¹ 처리구가 다음으로 많았으며, 0.23 및 0.45g·L⁻¹ 처리구에서 비슷하였고, 0g·L⁻¹에서 가장 낮은 함량을 보여주었다. 적절한 중탄산 농도와 pH를 유지한 유황 0.90 및 1.80g·L⁻¹ 처리구에서 이들 원소가 불용화되지 않았기 때문에 흡수량이 증가한 것으로 판단하였다. ‘싼타’ 딸기 식물체의 Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량은 유황 무처리구에서 가장 적었다. 이는 고농도의 중탄산으로 인해 토양용액 pH가 높아지고 이들 미량원소의 불용화를 촉진시켜(Alhendawi 등, 1997; Bertoni 등, 1992) 흡수량이 감소한 원인이 되었다고 생각한다(Fernández Falcón 등, 1986; Bertoni 등, 1992; Linsay, 2001).

본 연구결과를 종합할 때 ‘싼타’ 딸기의 고농도 중탄산 피해 방지와 적절한 생육을 위해서는 코이어 더스트와 수피(5:5, v/v) 혼합상토에 0.90-1.80g·L⁻¹의 유황을 기비로 혼합하는 것이 효과적이라고 생각한다.

적 요

코이어 더스트와 수피를 동일한 비율로 혼합한 상토로 ‘싼타’ 딸기를 수경재배할 때 기비로 혼합된 유황의 처리수준 차이가 토양용액의 중탄산 농도, pH, 식물체의 생육 및 무기원소 흡수량에 미치는 영향을 구명하기 위해 본 연구를 수행하였다. 혼합상토 조제시 유황분말을 0, 0.23, 0.45, 0.90 및 1.80g·L⁻¹으로 조절하여 혼합하였고, 작물 재배 중에는 중탄산 농도를 240mg·L⁻¹으로 조절한 Hoagland 용액을 관비하였다. 식물체의 생육조사 및 무기원소 함량 분석은 양액처리 140일 후에, 근권부의 화학성 분석은 매 2주 간격으로 수행하였다. 유황의 시비수준이 증가할수록 모주의 전반적인 생장이 우수하였다. 엽록소 함량을 제외한 모주의 성장조사 항목에서 무처리구가 가장 저조하였고, 0.45g·L⁻¹ 이상의 세 처리구 간에서 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 유황 처리수준이 높아질수록 런너 발생 및 자묘의 성장 역시 우수해지는 경향을 보였다. 런너 길이, 모주당 발생한 자묘수 및 1번 자묘의 생체중은 0.45g·L⁻¹ 보다 낮은 유황 처리구보다 0.90과 1.80g·L⁻¹ 처리구가 우수하였지만 두 처리구 간에는 통계적인 차이가 없었다. 유황 0과 0.23g·L⁻¹ 처리구는 토양용액의 중탄산 농도와 pH가 지속적으로 상승한 반면 0.90g·L⁻¹ 이상 처리구에서 다소 낮아지는 경향이였다. 토양용액 내 K과 PO₄³⁻의 농도는 0.90과 1.80g·L⁻¹가 다른 처리구보다 낮았으며, Ca과 Mg의 농도는 처리구 간에 차이가 없었다. 유황 무처리구에서 분석한 무기원소 함량이 가장 적었으며, 유황 처리수준이 높아질수록 증가하였다. 이상의 결과, 코이어 더스트와 수피 혼합상토(5:5, v/v)에서 ‘싼타’ 딸기를 수경재배할 때 양액의 중탄산 피해를 방지하고 식물 생육을 촉진시키기 위해서는 유황을 0.90g·L⁻¹ 이상 기비처리하는 것이 효과적이라 판단하였다.

추가 주제어 : 자묘, 무기원소, 모주, pH, 생리장해

사 사

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01188602)”, Rural Development Administration, Republic of Korea

Literature cited

- Atkin, O.K. and M.G. Tjoelker. 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *Trends Plant Sci.* 8:343-351.
- Alhendawi, R.A., V. Römheld, E.A. Kirkby, and H. Marschner. 1997. Influence of increasing bicarbonate concentrations on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. *J. Plant Nutr.* 20:1731-1753.
- Bertoni, G.M., A. Pissaloux, P. Morad, and D.R. Sayag. 1992. Bicarbonate-pH relationship with iron chlorosis in white lupine. *J. Plant Nutr.* 15:1509-1518.
- Choi, J.M. and C.W. Lee. 2012. Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system. *J. Plant Nutr.* 35:1349-1358.
- Fernández Falcón, M., C.E. Alvarez González, V. Garcia, and J. Báez. 1986. The effect of chloride and bicarbonate levels in irrigation water on nutrient content, production and quality of cut roses ‘Mercedes’. *Sci. Hort.* 29:373-385.
- Gerald, K. and E.A. Hanlon. 2012. Neutralizing excess bicarbonates from irrigation water. Univ. of Florida IFAS Ext. Publ. #SL142
- Lee, H.S. 2015. Effect and management of bicarbonate concentration in nutrient solution for the growth and physiological disorders in strawberry seedling production. Ph.D. Diss., Chungnam Nat’l Univ., Daejeon, Korea.
- Lee, H.S., J.M. Choi, D.Y. Kim, and S.U. Kim. 2016a. Influence of application rates of dolomitic lime in the acid substrate on the reduction of bicarbonate injury during vegetative growth of the ‘Seolhyang’ strawberry. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34:220-227 (In Korean).
- Lee, H.S., J.M. Choi, T.I. Kim, H.S. Kim, W.S. Jang, H.C. Lee, I.H. Lee, and M.H. Nam. 2016b. Influence of various acids added to irrigation water on the reduction of bicarbonate injury during vegetative growth of the ‘Seolhyang’ strawberry. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 34:607-615 (In Korean).
- Lee, H.S., J.M. Choi, T.I. Kim, H.S. Kim, and I.H. Lee. 2014. Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the growth, occurrence of daughter plants and nutrient uptake in vegetative propagation of ‘Seolhyang’ strawberry. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 32:149-156 (In Korean).
- Lindsay, W.L. 2001. Chemical equilibria in soils, The Blackburn Press, Caldwell, NJ, USA.
- Nelson, P.V. 2012. Greenhouse operation and management. 7th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Plaster, E.J. 2003. Soil science and management, 4th ed. Delmar Learning, NY, USA.
- Raviv, M. and J.H. Lieth. 2008. Soilless culture; Theory and practice, Elsevier, NY, USA.
- Romera, F.J., E. Alcántara, and M.D. de la Guardia. 1992. Effects of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of Fe-deficient sunflower and cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 15:1519-1530.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1996. Plug & transplant production: a grower’s guide, Ball Publishing, Batavia, IL, USA.