

혼합상토의 pH 저하가 영양생장 중인 '싼타' 딸기의 중탄산 피해 경감에 미치는 영향

이희수¹ · 정종도² · 최종명^{3*}

¹국립원예특작과학원 채소과, ²경북성주참외과채류연구소, ³충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

Lowered Substrate pH Reduced the Bicarbonate Injury during Vegetative Growth of 'Ssanta' Strawberry

Hee Su Lee¹, Jong Do Cheung², and Jong Myung Choi^{3*}

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

²Seongju Korean Melon Fruit Vegetable Research Institute, Seongju 40054, Korea

³Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract. Objective of this research was to investigate the influence of lowered substrate pH on the reduction of bicarbonate injury in the vegetative growth of 'Ssanta' strawberry. The acid substrate was formulated by mixing sphagnum peat moss with pine bark (5:5, v/v) and the pH, EC, and CEC of the substrate were 4.07, 0.46 dS·m⁻¹, and 91.3 cmol⁺·kg⁻¹, respectively. To adjust the pH of acid substrate, various amount of dolomitic lime [CaMg(CO₃)₂] were incorporated with the rate of 0 (untreated), 1, 2, 3, and 4 g·L⁻¹. Then, mother plants were transplanted and grown with fertilizer solution containing 240 mg·L⁻¹ of the HCO₃⁻ and equal concentrations of essential nutrients to Hoagland solution. In growth of 'Ssanta' strawberry, fresh weight of mother plants were the highest in the treatment of 2 g·L⁻¹ dolomitic lime such as 102.1 g followed by 94.7 g in 1 g·L⁻¹, 91.2 g in 3 g·L⁻¹, 75.7 g in 0 g·L⁻¹ and 72.3 g in 4 g·L⁻¹ treatments. The dry weight showed a similar tendency to fresh weight. At 140 days after transplanting, 5.8, 9.8, 11.8, 8.8, and 5.0 daughter plants were derived from each of the mother plants in the treatments of 0, 1, 2, 3, and 4 g·L⁻¹ dolomitic lime, respectively. The highest occurrence of daughter plants were observed in the treatments 2 g·L⁻¹ dolomitic lime. The substrate pH and bicarbonate concentration of 'Ssanta' strawberry seedlings in the 1 and 2 g·L⁻¹ dolomitic lime treatments were maintained at a proper range such as 5.6 to 6.2. The micro-nutrient contents of above ground tissue in mother plants were the highest in 2 g·L⁻¹ and the lowest in 4 g·L⁻¹ dolomitic lime treatment. The above results indicate that incorporation rate of dolomitic lime in acid substrate with the pH of around 4 is 2 g·L⁻¹ to raise the 'Ssanta' strawberry in propagation.

Additional key words : chemical property, dolomitic lime, pre-planting fertilizer, tissue analysis

서 론

수경재배를 위한 원수에 적당한 농도의 중탄산(HCO₃⁻) 이 존재하면 중탄산이 토양용액의 H⁺와 결합을 하므로 (H⁺ + HCO₃⁻ ⇒ H₂O + CO₂), 관개수의 완충력을 높임으로써 H⁺에 의한 pH의 급격한 변화를 막는 큰 장점을 갖는다. 관개수의 적절한 중탄산 농도는 60-80mg·L⁻¹로 알려져 있지만 농도가 과도하게 높은 관개수로 수경재배를 할 경우, pH가 상승하여 식물체에 각종 미량원소 결핍증상의 발생 및 생장이 억제되는 원인이 된다(Styer와

Koranski, 1996).

수경재배용 상토의 중탄산 농도가 높아지는 원인은 상토의 통기성 불량으로 토양용액의 이산화탄소 농도가 증가하거나 중탄산 농도가 높은 해수가 유입된 지하수를 작물 재배에 이용하는 경우 등이다. 토양용액의 이산화탄소 농도는 뿌리에서 호흡작용이(포도당 + O₂ ⇒ CO₂ + H₂O + energy) 발생하기 때문에 높아진다. 식물의 싹이 트거나 꽃이 필 때와 같이 생장이 활발할 때는 뿌리의 호흡률이 급격히 상승한다. 또한 온도가 상승할 때에도 호흡률이 증가하는데 0-30°C의 대기온도 범위에서는 온도가 높을수록 일반적으로 호흡률이 증가하며, 40-50°C에서 정체되고, 50°C 이상의 높은 온도에서는 호흡 기구의 불활성화로 인해 호흡률이 감소한다(Atkin과 Tjoelker, 2003). 열대와 한

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

Received February 7, 2017; Revised March 14, 2017;

Accepted March 20, 2017

대 지역보다 온대 지역에서 또한 겨울철보다 여름철에 지하수의 중탄산 농도가 높은 이유도 이 때문이다.

해수에 용존하는 이온 중 가장 고농도로 존재하는 물질은 Na^+ 이고, K^+ , Mg^{2+} 그리고 Ca^{2+} 의 순으로 농도가 낮아진다. Ca은 탄산칼슘(CaCO_3)의 형태로 해수에 존재하는데, 순수 해수에서의 탄산칼슘은 $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$ 의 반응으로 용해되고(Lucena, 2000), 생성된 탄산(CO_3^{2-})은 다시 물 및 이산화탄소와 결합하여 중탄산(HCO_3^-)으로 변환다($\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCO}_3^-$). 이와 같은 반응으로 해수에 중탄산이 고농도로 존재하고 해수가 인접한 지하수로 흘러 들어감으로써 해안가에 인접한 지역에서 지하수의 중탄산 농도가 높아지고, 지하수를 이용한 딸기 수경재배에서 중탄산에 의한 피해가 보고되었다(Lee, 2015).

토양입자를 피막형태로 둘러싼 토양수에 존재하는 H^+ 는 중탄산과 반응하여 그 양이 감소한다. 이 반응을 통해 토양수의 중탄산 농도가 낮아지면 토양수의 H^+ 와 토양의 양이온치환 부위에 흡착된 H^+ 가 평형을 이루기 위해 양이온치환 부위에 흡착되어 있던 H^+ 가 탈착되어 토양수로 밀려나온 후 중탄산과 반응한다(Raviv와 Lieth, 2008; Kim 등, 2013). 따라서 관개수에 중탄산이 고농도로 존재할 경우 상토의 pH 상승을 억제시키기 위해서는 양이온치환 부위에 흡착된 H^+ 의 양이 많은 강산성 혼합상토를 사용하는 것이 바람직하다.

상토의 구성재료로써 강산성을 띠는 물질은 피트모스와 수피 등이며(Bailey, 1996), 이들 물질이 포함된 혼합상토는 작물재배 시 Ca^{2+} 나 Mg^{2+} 결핍이 발생하므로 혼합상토 조제과정에서 고토석회를 혼합하여 상토 pH를 5.6-6.2의 범위로 조절하는 것이 일반적이다(Nelson, 2003). 그러나 재배기간에 따라 다르지만 pH를 상승시키기 위해 혼합되는 고토석회의 양을 조절하여 상토의 pH를 적절한 수준보다 낮게 조절한다면 고농도 중탄산 피해를 경감시키는 데 유리하게 작용할 수 있다(Park과 Choi, 2014).

위와 같은 내용을 배경으로 산성 혼합상토를 조제하고, pH 조절을 위해 기비로 혼합되는 고토석회의 시비수준을 변화시킨 후 ‘싼타’ 딸기를 재배하면서 중탄산 피해 경감에 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험을 위해 강산성 물질인 피트모스(Shinsung Mineral, Jincheon, Korea)와 소나무 수피(Keumjeongwon, Yeongi, Korea)를 5:5(v/v)로 혼합한 상토를 조제하였고, 고토석회를 혼합하기 전 화학적 특성을 분석한 결과 EC $0.46\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 4.07, CEC $91.3\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ 였다. 조제된 상토의 pH 조절을 위한 고토석회[$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] 혼합량

을 0(무처리), 1, 2, 3 및 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 수준을 다르게 조절하였고, 고토석회 이외의 필수원소를 공급하기 위한 비료의 종류 및 양은 Lee 등(2014)이 보고한 바와 같이 다량원소(mM: 12 NO_3^- -N, 3 NH_4^+ -N, 1 PO_4 -P, 6 K^+ , 5 Ca^{2+} , 2 Mg^{2+} 및 2 SO_4^{2-} -S)와 미량원소(μM : 20 B, 0.5 Cu, 20 Fe, 10 Mn, 0.5 Mo 및 4 Zn)로 동일하였다. 비료를 포함한 상토는 충남대학교에 위치한 유리온실 내에 설치된 딸기재배용 고설베드에 충전하고, 본엽 3매의 ‘싼타’ 딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)를 정식하였다.

정식한 유묘는 2주간 비료를 포함하지 않은 지하수만 관수하였으며, 지하수는 EC $0.23\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 6.7, HCO_3^- $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 그리고 주요 무기원소 농도($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)는 K 0.5, Ca 22.8, Mg 2.2, Na 11.8, NO_3 -N 10.2, SO_4 12.6였다. 2주간 관수 후 3매의 신엽을 남긴 채 하위엽을 제거하고, 중탄산 농도를 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절한 Hoagland 용액(Raviv와 Lieth, 2008)을 조제하여 점적호스로 공급하였다. 기상환경 조건에 따라 타이머로 급액 횟수와 급액량을 조절하였으며 배양액을 관수처리할 때 배수율(leaching percentage)을 20-30%로 유지하였다. 연구기간 중 평균 주야간 온도는 $26^\circ\text{C}/16^\circ\text{C}$ 였고, 상대습도는 30-70%, 오후 2시를 기준으로 한 광도는 $330\text{-}370\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 평균일장은 약 15h·day였다.

모주의 지상부 생육조사를 위한 항목 및 조사 방법은 Lee 등(2014)과 Lee 등(2016)의 방법에 준하여 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소 함량, 관부직경, 지상부 생체중 및 건물중 이었다. 관부직경은 지제부 상단 1cm를 측정하였고, 지상부 생체중을 측정 후 건조기에서 80°C , 48시간 말린 후 건물중을 측정하였다. 엽록소 함량은 완전히 전개된 3번째 신엽을 기준으로 엽록소 측정계(Model SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 자료의 생장은 모주에서 발생한 런너의 길이, 런너의 개수, 모주 당 발생한 총 자료수, 그리고 첫번째 자료의 생체중과 건물중을 측정하여 처리구간 차이를 비교하였다.

상토의 화학성 분석을 위해 매 2주 간격으로 양액처리 2시간 후 상토 표면을 제거하고 식물체 근부 주변의 3곳을 채취, 혼합하여 포화추출법(Warncke, 1986)으로 추출하였다. 이 용액의 pH와 EC를 측정(WM-22EP, DKK-TOA, Japan)하고, 이온 크로마토그래피(883 Basic IC Plus Metrohm, Switzerland)를 사용한 무기이온 농도를 분석하였다. 추출한 용액의 중탄산 농도는 0.01N 황산으로 pH가 4.5에 도달할 때까지 적정하였고, 이때 소요된 황산 용액에 중탄산 상수인 6.1을 곱하여 농도($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)를 구하였다(Styer and Koranski, 1997).

식물체의 무기원소 함량분석은 정식 140일 후에 수확한 지상부 전체를 대상으로 하였다. 분석시료는 수확한 식물체를 세척하고 건조한 후 분쇄하여 사용하였다. 전질

소(T-N) 함량은 분쇄된 시료 0.5g을 정량하여 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 분석하였다. Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량을 분석하기 위해 500°C의 회화로에 시료를 정량한 후 건식회화시키고, 0.01N HCl로 회화된 시료를 포집하였다. 이들 원소는 원자흡광분석계(AA-7000, Shimadzu, Japan)로 분석하였고, P는 포집된 시료를 이용하여 Carter (1993)의 방법을 따라 분광광도계(UV MINI-1240, Shimadzu, Japan)를 사용하여 470nm에서 비색정량하였다.

식물 생육 조사 및 무기물 함량의 분석결과는 Duncan의 다중검정으로 처리구간 차이를 비교하였다. 통계분석은 CoStat 프로그램 Ver. 6.3(CoHort Software, CA, USA)으로 수행하였다.

결과 및 고찰

피트모스와 수피를 5:5(v/v)로 혼합하여 조제한 산성 혼합상토에 기비로 첨가한 고토석회 수준 변화가 ‘싼타’ 딸기의 모주 생육에 미치는 영향을 Table 1에 나타내었다. 생체중과 건물중을 포함한 모주의 생육은 1, 2 및 3g·L⁻¹ 처리구가 우수하였고, 0(무처리) 및 4g·L⁻¹ 처

리구에서 저조하였다. 고토석회 2g·L⁻¹ 처리구에서 생체중과 건물중은 각각 102.1g 및 23.2g으로 가장 무거웠지만, 1 및 3g·L⁻¹ 시비구와 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 4g·L⁻¹ 처리구는 각각 72.3g 및 15.1g으로 가장 가벼웠다.

모주 재배용 상토의 고토석회 시비량 변화가 자묘의 발생 및 생장에 미치는 영향을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 고토석회 2g·L⁻¹ 처리구에서 런너가 가장 길었고, 0과 4g·L⁻¹ 처리구에서 짧았다. 모주당 발생한 런너수와 총 자묘수도 1, 2 및 3g·L⁻¹ 처리구에서 많았고, 0과 4g·L⁻¹ 처리구에서 유의하게 적었다. 1차 자묘의 생체중과 건물중도 2g·L⁻¹ 처리구에서 무거웠고 0 및 4g·L⁻¹ 처리구에서 가벼웠다.

혼합상토에 기비로 혼합되는 고토석회[CaMg(CO₃)₂]나 탄산석회(CaCO₃)는 토양수에 용해된 후 발생한 탄산(CO₃²⁻)이 pH를 상승시키고, 이온으로 변한 Ca²⁺이나 Mg²⁺은 비료로서의 역할을 한다. 실험 시작 전 관개수에 존재하는 중탄산이 상토의 pH를 높이므로 Ca과 Mg을 공급하기 위한 최소한의 고토석회를 혼합하여도 작물 생육에 큰 문제가 없을 것으로 예상하고 본 실험을 시작하였었다. 즉, pH가 낮은 혼합상토로 인해 잠산성과 활

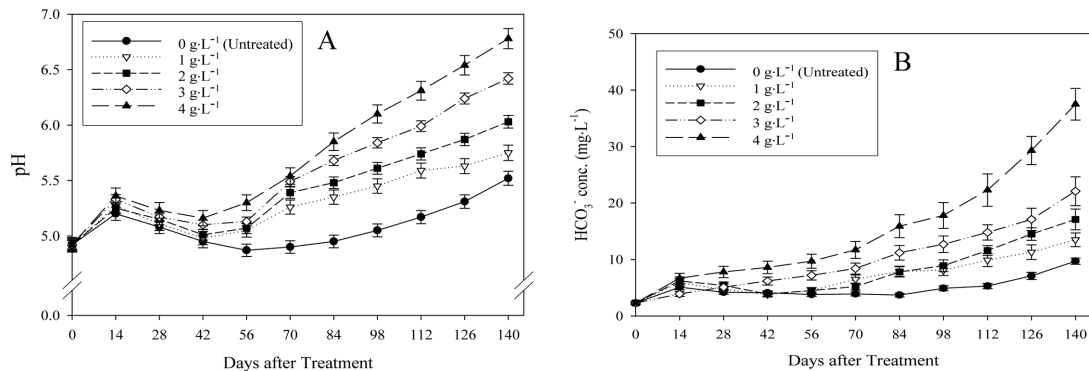


Fig. 1. Changes in pHs (A) and bicarbonate concentrations (B) of root medium as influenced by the various incorporation rates of dolomitic lime into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer during the vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry. Vertical bars represent standard error of the mean of 5 replications.

Table 1. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of mother plants 140 days after treatment in vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry.

Dolomitic lime (g·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	No. of leaves	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0 (Untreated)	29.9 c ^z	16.5 b	16.2 b	21.4 bc	5.4 ab	38.3 bc	75.7 b	15.1 b
1	36.5 ab	31.0 a	21.5 a	24.5 ab	5.5 ab	45.0 a	94.7 ab	20.2 ab
2	40.1 a	27.1 a	22.7 a	27.3 a	5.8 a	45.9 a	102.1 a	23.2 a
3	31.9 bc	24.2 ab	21.2 a	23.2 ab	6.2 a	41.9 ab	91.2 ab	19.7 ab
4	28.0 c	15.7 b	13.5 b	18.1 c	4.5 b	36.8 c	72.3 b	15.1 b

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

산성의 양이 높게 유지되고, 배양액에 중탄산 농도가 높아도 pH가 과도하게 상승하지 않을 것이라고 예상한 바 있다. 예상했던 바와 같이 본 연구의 0g·L⁻¹ 처리구는 고토석회(가) 혼합되지 않아 pH가 생육에 적절한 범위까지 상승하지 못하였을 뿐만 아니라 Ca와 Mg도 공급되지 않아 생육이 저조하였다. 그러나 4g·L⁻¹ 처리구는 고토석

회 처리 70일째부터 중탄산 농도가 급격하게 상승하면서 pH가 높아졌고, 높은 pH가 생육을 감소시킨 주된 원인이 되었다고 생각한다(Fig. 1).

모주의 지상부 성장과 식물체에 나타난 생리장해 증상은 Fig. 2와 같다. 고토석회 2g·L⁻¹ 처리구의 생장이 우수하였고, 0g·L⁻¹ 처리구에서는 Choi와 Lee(2013)와 Lee

Table 2. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth and occurrence of daughter plants 140 days after treatment in vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry.

Dolomitic lime (g·L ⁻¹)	Runner length (cm/plant)	No. of runners (each/plant)	No. of daughter plants (each/plant)	Fresh weight of 1st daughter plant (g/plant)	Dry weight of 1st daughter plant (g/plant)
0 (Untreated)	180.8 c ^z	2.3 b	5.8 c	22.0 c	5.6 bc
1	320.0 b	3.0 ab	9.8 ab	31.9 b	7.5 a
2	417.8 a	3.8 a	11.8 a	44.7 a	8.6 a
3	315.8 b	3.3 ab	8.8 b	32.1 b	6.9 ab
4	182.3 c	2.3 b	5.0 c	18.6 c	4.8 c

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

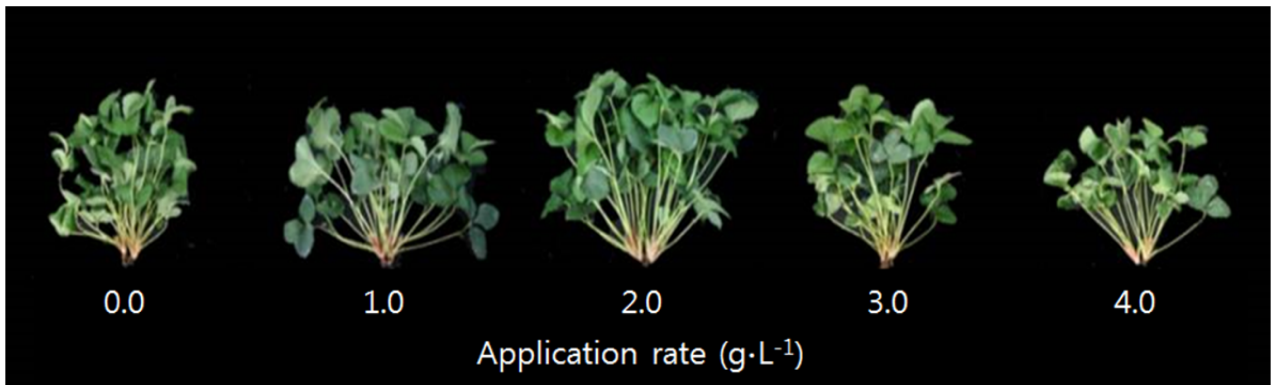


Fig. 2. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime (g·L⁻¹) into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of mother plants collected on 140 days after treatment in ‘Ssanta’ strawberry.

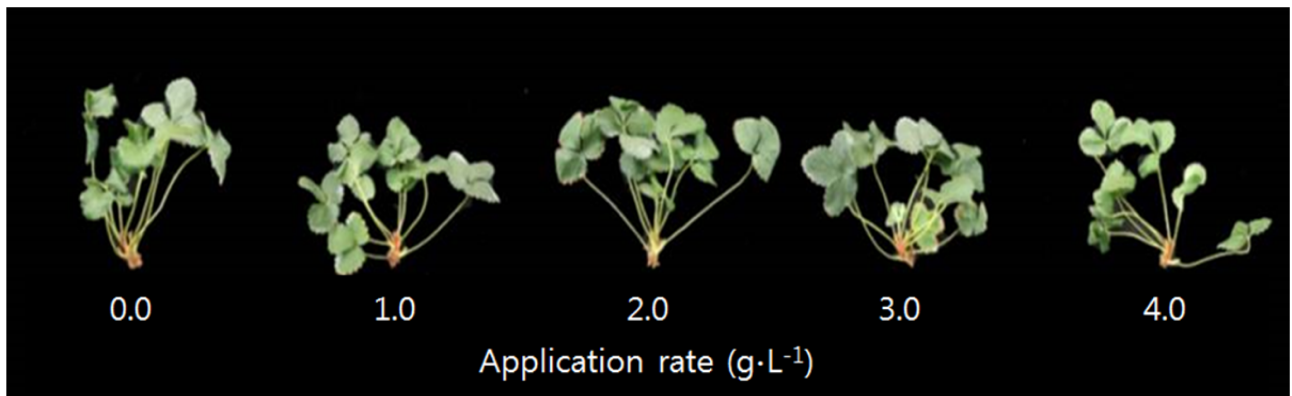


Fig. 3. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime (g·L⁻¹) into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of 1st daughter plants collected on 140 days after treatment in ‘Ssanta’ strawberry.

등(2014)이 보고한 Ca 및 Mg 결핍증상이 발생하였다. 그들은 새롭게 발생하는 잎이나 런너 끝부분이 갈변하면서 괴사하는 현상이 전형적인 Ca 결핍증상이고, 하위엽의 엽맥 사이가 반점 형태로 황화되는 형상을 Mg 결핍

증상이라고 보고한 바 있으며, 본 연구에서 발생한 생리 장애가 Ca 및 Mg 결핍증상이라고 판단하였다. 0g·L⁻¹ 처리구는 고토석회를 시비하지 않았을 뿐만 아니라 생육 기간의 낮은 pH가 Ca과 Mg 흡수량이 감소하고 결핍증

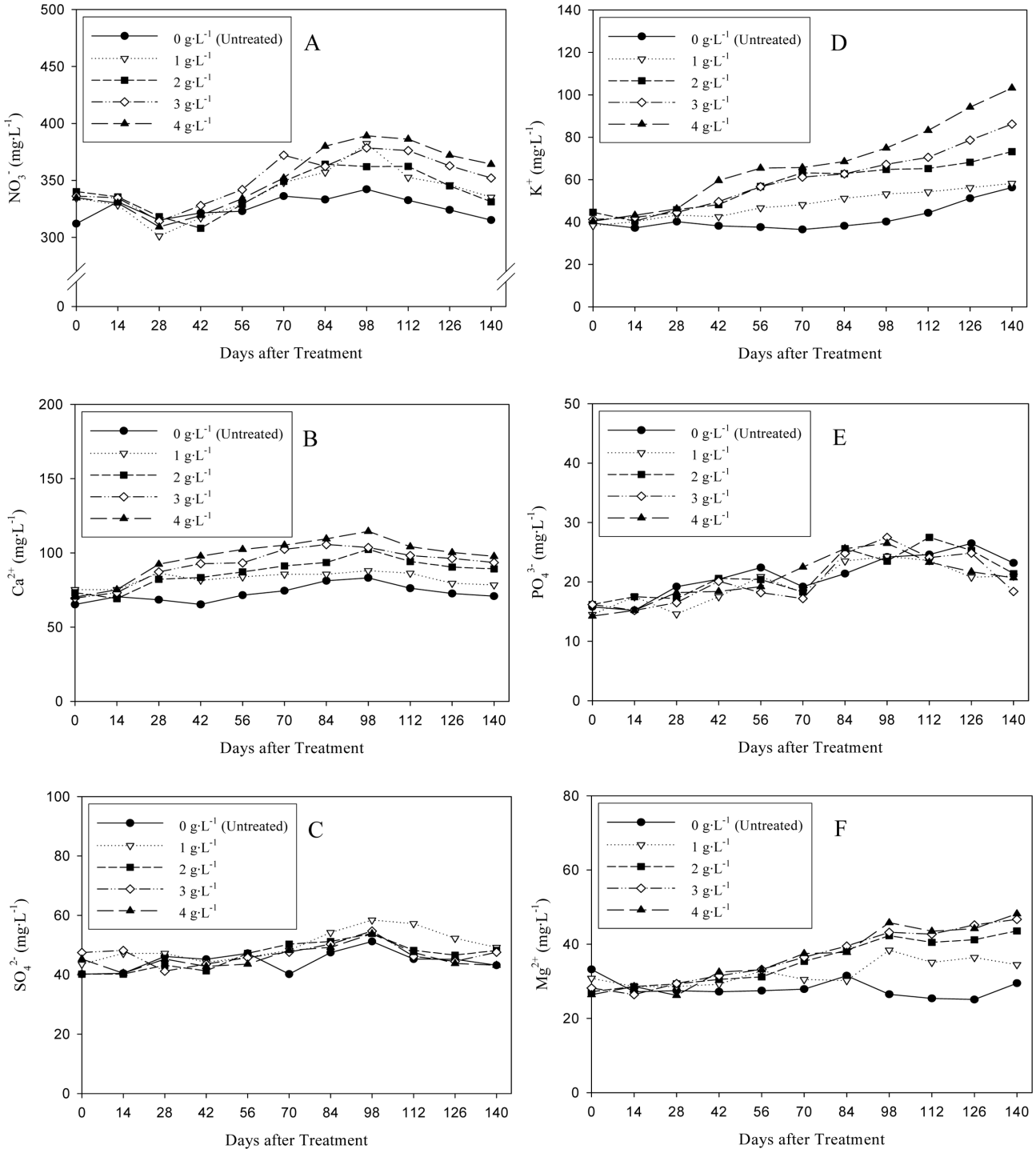


Fig. 4. Changes in the macro-element concentrations of root medium as influenced by the various incorporation rates of dolomitic lime into peat moss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer during the vegetative propagation of ‘Ssanta’ strawberry (A:NO₃⁻, B: Ca²⁺, C: SO₄²⁻, D: K⁺, E: PO₄³⁻, F: Mg²⁺).

상이 발현된 원인이 되었다고 생각한다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003).

자묘의 생장과 발현된 생리장해 증상은 Fig. 3과 같다. 고토석회 0 및 4g·L⁻¹ 처리구에서 생리장해 증상이 나타났으나, 1, 2 및 3g·L⁻¹ 처리구에서는 비교적 우수한 생육을 보였다. 고토석회 4g·L⁻¹ 처리구에서 나타난 증상은 상토의 높은 pH로 인해(Fig. 1) Fe, Mn, Zn, Cu 및 B의 불용화가 촉진되고, 이들 원소의 흡수량 감소가 원인이라고 판단하였다. Lindsay(2001)와 Nelson(2003)은 상토의 pH가 높을 때 미량원소의 불용화를 보고한 바 있으며, Marschner(2012)는 상기한 미량원소의 식물체 내 이동성이 낮아 신엽 부위에서 결핍증상이 나타난다고 본 연구의 결핍증상 발현과 유사한 보고를 한 바 있다. 아울러 Choi와 Lee(2012)이 보고한 미량원소 결핍증상의 특징을 고려할 때 본 연구의 식물체에 발생하는 증상이 미량원소 결핍에 의한 것임을 확신할 수 있었다.

고토석회 시비수준을 변화시킨 피트모스와 수피 5:5(v/v) 혼합상토에서 상토의 중탄산 농도와 pH 변화는 Fig. 1과 같다. 상토의 중탄산 농도는 모든 처리구에서 상승하는 경향을 보였으며, 특히 4g·L⁻¹ 처리구가 가장 높았다. 고토석회 시비량이 증가하여도 처리 후 42일까지는 상토 pH의 처리별 차이가 크지 않았다. 그러나 56일부터 처리구간 뚜렷한 차이가 발생하였고, 처리 140일 후 0g·L⁻¹ 처리구는 pH가 약 5.5로 낮았지만 4g·L⁻¹ 처리구는 약 6.8까지 상승하였다. Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 혼합상토를 이용한 작물 재배에서 적절한 pH 범위를 5.6-6.2로 간주한다면 2 또는 3g·L⁻¹ 처리구가 적절한 pH 범위에 포함되었으며, 이들 처리구의 모주 및 자묘의 생육이 우수한 원인이 되었다고 생각한다(Table 1과 2).

상토의 pH는 토양용액의 H⁺ 이온 활성(activity)을 나타내며 양이온치환 부위에 흡착된 잠산성과 토양수에 이온 상태로 존재하는 활산성으로 구분할 수 있고, 잠산성의 양이 활산성의 양 보다 월등히 많다(Kim 등, 2013). 토양수의 H⁺가 중탄산과 반응하여(H⁺ + HCO₃⁻

⇒ H₂O + CO₂) 그 양이 감소하면 점차 양이온치환 부위의 잠산성이 탈착된 후 중탄산과 반응한다. 이 과정에서 pH가 상승하면서 H⁺가 흡착되어 있던 양이온치환 부위는 K⁺, Ca²⁺ 및 Mg²⁺ 등 알칼리성 이온이 점유하여 염기포화도가 상승한다(Raviv와 Lieth, 2008; Kim 등, 2013). 본 연구에서 고토석회 0g·L⁻¹ 처리구는 산성 혼합상토에 존재하는 많은 잠산성이 고농도 중탄산을 중화시켜 과도한 pH 상승을 억제하였으나, 4g·L⁻¹ 처리구는 고토석회에서 용해된 많은 탄산과 고농도 중탄산이 혼합상토에 존재하는 잠산성의 양을 초과함으로써 근권부의 pH를 상승시킨 원인이 되었다고 생각한다.

‘싼타’ 딸기 모주를 재배하면서 고토석회 시비수준에 영향을 받은 상토의 무기원소 농도는 Fig. 4와 같다. 근권부의 K⁺ 농도는 모든 처리구에서 완만하게 상승하였으며, 고토석회 시비량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다. 이는 혼합상토의 양이온교환 부위에 흡착되어 있던 K⁺이 고토석회로부터 용해된 Ca²⁺에 의해 치환되었고(Bunt, 1988), 식물체에 의한 흡수과정에서 양이온간 길항작용(Marschner, 2012)이 발생하였다고 판단하였다. 즉, 고토석회에서 용해된 Ca²⁺ 및 Mg²⁺의 농도가 증가하므로써 K⁺의 흡수량이 감소해 근권부의 K 농도가 높아진 원인이 되었다고 판단한다. 고토석회 시비량이 증가할수록 Ca²⁺ 및 Mg²⁺ 농도가 증가하였는데, 이는 고토석회에서 용해된 Ca²⁺ 및 Mg²⁺ 이온의 양이 증가했기 때문이라고 판단하나 음이온인 PO₄³⁻와 SO₄²⁻의 농도는 일정한 경향을 보이지 않았다.

고토석회 시비수준에 영향을 받은 ‘싼타’ 딸기 모주의 식물체 무기원소 함량은 Table 3에 나타내었다. ‘싼타’ 딸기 모주의 T-N, P, K, Ca 및 Mg 함량은 고토석회 1 및 2g·L⁻¹ 처리구에서 많았는데, 두 처리구의 pH가 5.0-6.0의 범위로 유지된 것이(Fig. 1) 이들 원소의 흡수량 증가와 모주 및 자묘의 생육이 우수한 원인이 되었다고 판단한다. 또한 Mo를 제외한 미량원소의 경우 유효도가 높은 적정 pH 범위는 5.5-6.2이며, 상토의 pH가 상승하

Table 3. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime into peat moss + 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 treatment.

Dolomitic lime (g·L ⁻¹)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg·L ⁻¹)-----			
0 (Untreated)	1.06 b ^z	0.24 bc	3.02 a	1.00 cd	0.29 bc	146.8 cd	94.9 cd	29.6 bc	5.12 cd
1	1.61 a	0.34 ab	3.20 a	1.97 ab	0.49 a	210.7 b	133.7 b	40.5 ab	7.96 ab
2	1.91 a	0.39 a	3.36 a	2.11 a	0.52 a	260.7 a	158.5 a	44.0 a	9.04 a
3	1.69 a	0.29 abc	3.10 a	1.47 bc	0.37 b	160.7 c	109.1 c	32.7 abc	6.11 bc
4	0.89 b	0.19 c	2.17 b	0.71 d	0.25 c	122.3 d	88.6 d	21.7 c	4.02 d

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

면 불용화에 따른 식물체 흡수량이 감소한다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003). 본 연구의 고토석회 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 미량원소인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체 내 함량이 가장 적었는데, 이 처리구의 pH가 가장 높았던 것이 원인이라고 생각한다.

이상의 결과를 요약하면 중탄산 농도가 높은 원수를 이용하여 ‘싼타’ 딸기를 수경재배할 때 피트모스+수피(5:5, v/v)의 산성 혼합상토에 고토석회 1 및 $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 기비로 혼합하는 것이 모주 및 자묘의 생장, 식물체 무기물 함량 그리고 상토의 화학성 변화에 유리하다고 판단하였다.

초 록

중탄산이 고농도인 수경재배용 원수의 피해를 경감시키기 위한 목적으로 혼합상토의 pH를 조절할 때 영양면 식중인 ‘싼타’ 딸기의 생장에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 연구수행을 위해 피트모스와 수피를 5:5(v/v)로 혼합한 산성상토를 조제하였고, 조제된 상토의 pH를 교정하기 위해 혼합하는 고토석회 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 의 양을 0(무처리), 1, 2, 3 및 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절하였다. 이 후 중탄산 농도가 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절된 Hoagland 용액을 공급하면서 모주와 자묘의 생육, 상토의 화학성 변화, 그리고 식물체의 무기원소 함량을 조사 및 분석하였다. ‘싼타’ 딸기의 모주 생체중은 고토석회 $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 102.1g 으로 가장 무거웠고, $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리, 94.7g , $3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리, 91.2g , $0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리, 75.4g , $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리, 72.3g 처리 순으로 가벼워졌으며, 건물중도 생체중과 같은 경향이였다. 모주당 발생한 자묘수는 고토석회 0, 1, 2, 3 및 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 각각 5.8, 9.8, 11.8, 8.8 및 5.0개체였으며, 고토석회를 $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 혼합한 처리구에서 자묘 발생이 가장 많았다. ‘싼타’ 딸기 모주를 재배하면서 측정된 상토의 pH는 고토석회 1 및 $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 5.6-6.2의 적정 범위에 포함되었고, 3 및 $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구는 이보다 높았다. 모주의 지상부 무기물 함량은 고토석회 $2\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 가장 많았으며, $4\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리구에서 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 미량원소 함량이 감소하고 모주 및 자묘에 이들 원소의 결핍 증상이 발생하였다. 이상의 내용을 종합할 때 원수의 중탄산 농도가 높아 발생하는 피해를 경감하기 위해서는 pH가 약 4인 산성 상토를 조제한 후 기비로서 고토석회를 2g 혼합한 후 ‘싼타’ 딸기를 육묘하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

추가 주요어: 화학성, 고토석회, 기비, 식물체 분석

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.
- Bailey, D.A. 1996. Alkalinity, pH, and acidification. In: Reed, D.W. (ed), *A grower's guide to water, media, and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, Batavia, IL., USA.
- Bunt, A.C. 1988. *Media and mixes for container grown plants*. Unwin Hyman, London.
- Carter, M.R. 1993. Soil sampling and methods of analysis. *Canadian Soc. Soil Sci.* Lewis Publishers, London, pp 75-84.
- 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.
- Choi, J.M. and H.S. Lee. 2013. Influence of Ca containing fertilizers on the growth of mother and daughter plants, and physiological disorders in propagation of ‘Seolhyang’ strawberry through plastic bag cultivation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31:50-55.
- Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. *Ann. Biochem.* 85:591-594.
- Kim, I.Y., S.D. Hong, and G.C. Shin. 2013. *Practical soil science*. 2nd ed. The book garden. Seoul, Korea.
- Lee, H.S., J.M. Choi, D.Y. Kim, and S.Y. Kim. 2016. 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. Hort. Sci. Technol.* 34:220-227.
- 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. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32:149-156.
- Lindsay, W.L. 2001. *Chemical equilibria in soils*. The Blackburn Press. Caldwell, NJ, USA.
- Lucena, J.L. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *J. Plant Nutr.* 23:1591-1606.
- Marschner, P. 2012. *Mineral nutrition of higher plants*. 3rd ed. Academic Press. Inc. San Diego, USA.
- Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management*. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.

- Park, E.Y. and J.M. Choi. 2014. Development of root media containing pine bark for cultivation of horticultural crops. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 32:499-506.
- Raviv, M. and J.H. Lieth. 2008. *Soilless culture; Theory and practice*. Elsevier, NY, USA.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1996. *Plug & transplant production: a grower's guide*. Ball Publishing, Batavia, IL, USA
- Warncke, P.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 21:223-225.