RESEARCH ARTICLE

산성 혼합상토의 고토석회 시비수준이 영양생장 중인 '설향' 딸기의 중탄산 피해 경감에 미치는 영향

이희수[1] · 최종명[2*] · 김대영[1] · 김승유[1]

[1]국립원예특작과학원 채소과, [2]충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

Influence of Application Rates of Dolomitic Lime in the Acid Substrate on the Reduction of Bicarbonate Injury during Vegetative Growth of the 'Seolhyang' Strawberry

Hee Su Lee[1], Jong Myung Choi[2*], Dae Young Kim[1], and Seung Yu Kim[1]

[1]Vegetable Research Division, National Institute of Horticulture & Herbal Science, Wanju 55365, Korea
[2]Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

Abstract

The objective of this research was to investigate the influence of application rates of dolomitic lime in the acid substrate on the mitigation of high bicarbonate damage in 'Seolhyang' strawberry. For this purpose, an acid substrate was formulated by mixing of sphagnum peat moss and pine bark with the ratio of 5:5 (v/v). The pH, EC and CEC of the substrate analyzed before application of dolomite were 4.07, 0.46 $dS \cdot m^{-1}$, and 91.3 $cmol+/kg^{-1}$, respectively. To adjust the pH of substrate, various amounts of dolomitic lime [$CaMg(CO_3)_2$] such as 0 (control), 1, 2, 3, and 4 $g \cdot L^{-1}$ were added during substrate formulation. Then, seedlings with 3 leaf stage were transplanted as mother plants and those were fed with Hoagland solution containing 240 $mg \cdot L^{-1}$ of the HCO_3^-. The growth parameters of mother plants 140 days after transplanting, such as plant height, chlorophyll content, and fresh weight were the highest in the treatments of 2 and 3 $g \cdot L^{-1}$ of dolomitic lime. The physiological disorders in mother plants were not observed in the 1, 2 and 3 $g \cdot L^{-1}$ treatments, but the symptoms of Ca, K and B deficiencies were observed in the 0 and 4 $g \cdot L^{-1}$ treatments. During the propagation period, the number of daughter plants derived from each mother plant were 21.0, 29.5, 35.8, 27.3 and 16.0 in the treatments of 0, 1, 2, 3 and 4 $g \cdot L^{-1}$, respectively. The substrate pH during cultivation of mother plants were maintained at appropriate levels for the 1 and 2 $g \cdot L^{-1}$ treatments, whereas it was the highest in 4 $g \cdot L^{-1}$ treatment. The contents of macro- and micro-elements in the above ground tissue were the highest in 2 $g \cdot L^{-1}$ and the lowest in 4 $g \cdot L^{-1}$ lime treatments. Above results suggest that the bicarbonate injury originated from ground water can be mitigated by adjusting the amount of dolomitic lime incorporated into the acid substrate.

Additional key words: growth, nutrient contents, peat moss, pH, pine bark

Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(2):220-227, 2016
http://dx.doi.org/10.12972/kjhst.20160022

pISSN : 1226-8763
eISSN : 2465-8588

Received: July 14, 2015

Revised: August 29, 2015

Accepted: September 24, 2015

Copyright©2016 Korean Society for Horticultural Science.

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ907039)", Rural Development Administration, Republic of Korea

서 언

국내 재배면적의 80% 이상을 점유하는 '설향' 딸기는 대부분 촉성재배 방법으로 재배된다. 충남 논산 지역의 경우 모주 재배용 베드에 상토를 충전한 후 3월 중·하순에 모주를 정식하여 런너 및 자묘의 발생을 유도하고, 일정 크기로 생장한 자묘를 모주로부터 분리하여 개별 식물체로 육성한 후, 9월 중순경 본 포장에 정식한다.

대부분 딸기 재배 농가는 관수 또는 관비 시 지하수를 이용하는데, 화학적 완충력이 낮은 혼합상토에서 관개수의 수질이 모주 생육과 자묘의 발생 및 생장에 큰 영향을 미친다. 관개수의 질을 판단하는 여러 항목 중 중탄산은 적절한 농도 범위일 때 물의 화학적 완충력을 높여 근권부의 급격한 pH 변화를 방지한다. 그러나 중탄산 농도가 20–30mg·L^{-1}으로 너무 낮을 경우 관개수의 완충력이 낮아져 근권부의 pH가 비료 조성에 쉽게 영향을 받고 급변하는 원인이 되며, 보편적으로 근권부 pH가 낮아져 작물에 Ca 및 Mg 결핍 증상이 발생하는 원인이 된다.

그러나 관개수의 중탄산 농도가 100mg·L^{-1}이상으로 과도하게 높으면 근권부의 pH 상승의 원인이 되는데, pH가 상승하면 Fe, Mn, Zn, Cu 및 B 등 미량원소와 인산이 불용화되어 식물체가 흡수할 양이 감소하고 식물체에 이들 원소의 결핍증상이 발현되고 생장이 저조해 진다(Hanan, 1998; Nelson, 2003). 따라서 중탄산 농도가 높을 경우 이를 제거한 후 작물 재배에 이용해야 하며, 가장 보편적인 방법이 질산, 인산 및 황산 등 산을 혼합하는 방법이지만 위험성과 번거로움이 문제가 된다(Nelson, 2003; Styer and Koranski, 1997).

피트모스는 국내·외에서 혼합상토 구성 재료로 가장 많이 이용된다. 원산지나 종류에 따라 차이가 있지만 pH가 3.5–4.5 범위에 포함되는 강산성 물질이며, 보편적으로 상토 조제과정에서 고토석회를 혼합하여 pH를 교정한 후 작물 재배에 이용한다(Choi et al., 2009; Nelson, 2003). 중탄산에 의한 문제의 핵심은 근권부 토양용액의 pH 상승이며, 강산성인 혼합상토를 조제하고 관개수 중탄산에 의한 pH 상승 폭 만큼 조제과정에서 혼합되는 고토석회의 시비량을 줄일 경우 근권부 pH를 적절한 범위로 조절하고 유지하는 것이 가능할 것으로 예상하였다.

따라서 관개수에 함유될 수 있는 중탄산 피해경감을 위해 산성 혼합상토를 조제하고, pH 조절을 위해 기비로 혼합되는 고토석회 시비수준이 영양번식 중인 '설향' 딸기의 모주와 자묘의 생육, 무기물 함량 및 근권부 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

'설향' 딸기를 대상으로 충남대학교에 있는 유리온실에서 본 연구를 수행하였다. 실험을 위해 피트모스(Shinsung Mineral Co., Ltd., Korea)와 수피(Keumjeongwon Co., Ltd., Korea)를 5:5(v/v)로 혼합한 상토를 조제하였으며, 조제 후 분석한 혼합상토의 화학적 특성은 다음과 같았다: pH 4.07, EC 0.46dS·m^{-1}, CEC 91.3cmol+/kg^{-1}. 이후 pH 조절을 위해 기비로 처리되는 고토석회[$CaMg(CO_3)_2$]를 0(무시용), 1, 2, 3 및 4g·L^{-1}의 5처리를 둔 후 베드에 충전하였다.

본엽이 3매인 '설향' 딸기 유묘를 충남농업기술원 논산딸기시험장에서 확보한 후 뿌리 부분을 수세하고 베드에 정식하였다. 정식 후 비료를 포함하지 않은 지하수를 2주간 관수하여 식물체 내의 무기원소 함량을 최저 수준으로 낮추었다. 지하수의 화학적 특성은 다음과 같았다: pH 6.7, EC 0.23dS·m^{-1}, HCO_3^- 90mg·L^{-1}, 무기이온 농도(mg·L^{-1}) NO_3–N 10.2, Na 11.8, K 0.5, Ca 22.8, Mg 2.2 및 SO_4 12.6.

정식 2주 후 신엽 3매만 남긴 채 식물체의 하위엽을 모두 제거하고 배양액을 공급하기 시작하였다. 중탄산은 $KHCO_3$를 이용하여 농도를 240mg·L^{-1}으로 조절하였고, 변형된 Hoagland 용액(Jones, 2005)으로 배양액을 조제하였으며, 관수가 필요한 시점에 조제된 양액을 공급하였다. 조성된 처리용액은 EC를 0.6–0.7dS·m^{-1}로 조절하여 점적호스로 공급하였으며, 기상환경 조건에 따라 타이머로 급액 횟수와 급액량을 조절하였다. 배양액을 관주할 때 배수율(leaching percentage)을 20–30%로 유지하여 무기염의 상토 내 집적을 방지하였다.

실험기간 중 온실의 평균 온도는 주간 26℃, 야간 16℃였고, 상대습도 30–70%, 광도 330–370μmol · m^{-2} · s^{-1}, 그리고 평균 일장은 약 15h/d였다.

정식 140일 후 모주와 자묘의 생장을 조사하였다. 모주의 조사 항목은 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소함량, 관부직경, 지상부 생체중 및 건물중이었다. 관부직경은 지제부 상단 1cm를 측정하였고, 지상부 생체중을 측정한 후 80℃ 건조기에서 48시간 건조하여 건물중을 측정하였다. 엽록소 함량은 가장 최근에 완전히 전개된 잎 (3번째 신엽)을 엽록소 측정계(Model SPAD–502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 모주로부터 발생한 런너의 길이와 개수를 조사하였으며, 런너에 착생한 자묘는 첫 번째와 두 번째 묘의 생체중과 건물중을 조사하여 비교하였다.

근권부 화학성을 분석하기 위하여 관비 후 2시간이 지난 다음 상토 시료를 채취하였다. 포화추출법(Warncke, 1986)으로 상토를 추출한 용액의 pH와 EC를 측정(WM–22EP, TOA, Japan)한 뒤, 0.01N 황산으로 pH가 4.5에 도달할 때까지 적정하였고, 소요된 황산 용액에 중탄산 상수인 6.1을 곱하여 중탄산 농도(mg·L^{-1})를 구하였다(Styer and Koranski, 1997). 미생물에 의한 용액 내 NH_4의 산화를 방지하기 위하여 포화된 phenyl mercuric acetate(1g/18mL)를 2–3방울 첨가하였고, Ion chromatography (883 Basic IC plus, Metrohm, Switzerland)를 사용하여 K, Ca, Mg, NO_3, PO_4 및 SO_4 등 무기원소 농도를 분석하였다.

정식 140일 후 수확한 지상부 식물체의 무기원소 함량을 분석하였다. 식물체는 수확 후 0.01N HCl 용액에 1분간 침지하고 다시 증류수로 수세하여 이물질을 제거하였으며, 80℃의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 분쇄하여 무기원소 함량 분석에 이용하였다.

분쇄된 시료의 전질소(T–N) 함량은 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 분석하였다. 그리고 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량을 분석하기 위해 500℃의 회화로에 시료를 건식회화시키고, 0.5N HCl 용액으로 회화된 시료를 포집하였다. 이들 원소는 원자 흡광분석계(AA–7000, Shimadzu, Japan)로 분석하였으며, 포집된 용액의 인산함량을 Carter(1993)의 방법을 따라 분광광도계(UV MINI–1240, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

본 연구는 완전임의배치법 5반복(각 반복당 4식물체)으로 수행하였고, 생육 및 식물체내 무기물 함량의 분석 결과는 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 산성(pH 4.07)을 띠는 혼합상토에 기비로 혼합되는 고토석회의 시비수준을 달리하여 '설향' 딸기를 재배하면서 모주 생육에 미치는 영향을 정식 140일 후 조사하여 Table 1에 나타내었다. 초장은 고토석회 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 컸고, 0(무처리), 3 및 4g · L^{-1} 처리구에서 유의하게 작았다. 엽병장 및 엽록소 함량은 고토석회 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 길거나 많았다. 엽록소 함량의 경우 고토석회 2g · L^{-1} 처리구에 비해 4g · L^{-1} 처리구가 유의하게 낮았는데, 이는 고토석회 시비량이 증가하여 pH가 상승하였고(Fig. 3), pH 상승으로 인한 식물체 내 Mg 및 Fe의 함량이 감소(Table 3) (Lindsay, 2001)하였기 때문이라고 판단하였다. Marschner(2012)는 식물체 내 엽록소 생합성이 Mg–chelatase에 의해 촉진되며, Mg 함량이 높을 때 이 효소의 활성도가 증가한다고 하여 Mg 함량이 엽록소 생합성에 영향을 미침을 보고하였다. 그는 Fe의 경우 식물 세포에서 엽록소의 수를 증가시키지 않지만, 엽록체의 크기와 엽록체 내의 단백질 함량을 증가시킨다고 하여 Fe와 엽록소와의 관계를 설명하였다. 그의 보고 내용을 고려할 때 4g · L^{-1} 처리구에서 엽록소 함량이 낮아진 것을 이해할 수 있다. 생체중은 2g · L^{-1} 처리구에서 117.8g으로 가장 무거웠고, 1, 3, 0 및 4g · L^{-1} 처리구 순으로 가벼웠으며, 건물중도 생체중과 유사한 경향을 보였다.

고토석회 시비량에 따른 '설향' 딸기의 자묘 생육은 Table 2와 같다. 모주로부터 발생한 런너의 길이는 고토석회 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 길었고 1, 3, 0 및 4g · L^{-1} 처리구 순으로 짧아졌으며 런너수도 유사한 경향을 보였다. 자묘의 생체중은 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 무거웠고 4g · L^{-1} 처리구에서 유의하게 가벼웠다.

이상과 같이 기비로 혼합되는 고토석회의 시비수준을 0 또는 4g·L^{-1}으로 조절한 처리에서 모주 생육 및 자묘 발생이 저조하였던 것은 근권부의 pH 상승(Fig. 3)과 이에 따른 개별 원소 농도의 변화(Fig. 4)에서 원인을 찾을 수 있다. 고토석회는 $CaMg(CO_3)_2$의 구조를 갖고 있으며(Lim, 2005), 토양에 시비되어 토양수에 용해되면 Ca^{2+}, Mg^{2+} 및 CO_3^{2-}로 변화되며, Ca^{2+}과 Mg^{2+}은 필수원소로써 식물체에 흡수되고 CO_3^{2-}는 토양의 H^+와 반응하여 pH를 상승시키는 역할을 한다($2H^+ + CO_3^{2-} = H_2O + CO_2$) (Styer and Koranski, 1997). 그러므로 0g·L^{-1} 처리는 고토석회가 시비되지 않아 Ca^{2+}과 Mg^{2+}의 공급이 부족하였고, pH가 낮게 유지되어 생육이 저조하였다고 판단한다. 또한 4g·L^{-1} 처리는 고토석회의 용해를 통해 발생된 CO_3^{2-}가 토양 pH를 과도하게 상승시켜 Fe, Mn, Zn, Cu 및 P 결핍을 초래하여 생육이 저조하였다고 생각하였다. 이와 같은 결과의 판단은 중탄산 또는 탄산에 의한 근권부 pH 상승에 관한 Lindsay(2001) 및 Sposito(1994)의 보고와 pH 변화에 따른 무기원소 흡수량 차이에 관한 Hanan(1998) 및 Nelson(2003)의 보고 내용을 고려할 때 쉽게 이해할 수 있다.

Table 1. Growth of mother plants 140 days after treatment in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry as influence by the various application rates of dolomitic lime in peatmoss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer.

Dolomitic lime (g·L^{-1})	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves (each/plant)	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0(Untreated)	37.4 b[z]	19.0 b	18.2 bc	24.5 ab	5.9 ab	41.8 b	86.7 ab	18.7 ab
1	41.4 ab	33.0 a	23.0 ab	26.2 a	5.8 ab	47.0 a	101.7 ab	21.7 ab
2	44.3 a	28.8 a	24.0 a	28.8 a	6.0 ab	47.7 a	117.8 a	24.7 a
3	37.5 b	26.5 ab	23.0 ab	25.2 ab	6.5 a	44.0 ab	99.0 ab	21.3 ab
4	35.8 b	18.5 b	15.5 c	21.1 b	5.0 b	40.4 b	82.4 b	17.5 b

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$

Table 2. Growth and occurrence of daughter plants 140 days after treatment in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry as influenced by the various application rates of dolomitic lime in peatmoss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer.

Dolomitic lime (g·L^{-1})	Runner length (cm/plant)	Nunber of runners (each/plant)	Number of daughter plants (each/plant)	Fresh weight of 1st daughter plant (g/plant)	Dry weight of 1st daughter plant (g/plant)
0(Untreated)	619.5 c[z]	5.5 b	21.0 c	46.4 c	9.4 c
1	767.5 b	6.8 b	29.5 b	56.5 b	11.9 b
2	926.8 a	8.3 a	35.8 a	62.6 a	13.3 a
3	728.3 b	6.5 b	27.3 b	54.6 b	11.4 b
4	532.0 d	3.5 c	16.0 d	39.5 d	8.1 d

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$

Table 3. Tissue nutrient contents of 'Seolhyang' strawberry based on the dry weight of whole above ground plant tissue collected 140 days after treatment as influenced by the various application rates of dolomitic lime in peatmoss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer.

Dolomitic lime (g·L^{-1})	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	%					mg·kg^{-1}			
0(Untreated)	1.19 b[z]	0.31 a	3.54 a	1.13 bc	0.40 bc	167.3 cd	105.7 c	39.6 bc	5.61 bc
1	1.68 a	0.36 a	3.70 a	2.06 a	0.59 a	230.6 b	142.9 b	50.3 ab	8.71 a
2	1.98 a	0.39 a	3.84 a	2.15 a	0.59 a	281.3 a	168.7 a	53.8 a	9.63 a
3	1.78 a	0.34 a	3.57 a	1.48 b	0.46 b	179.5 c	118.1 c	42.8 abc	6.63 b
4	0.96 b	0.25 a	2.67 b	0.77 c	0.35 c	140.9 d	97.2 c	31.5 c	4.42 c

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

'설향' 딸기 모주의 지상부 생장 및 생리장해 증상은 Fig. 1과 같다. 고토석회 1, 2 및 3g · L^{-1} 처리구는 모주에 생리장해 증상이 발현되지 않았고 정상적인 생육을 하였다. 그러나 0 및 4g·L^{-1}처리구에서는 노엽의 가장자리부터 안쪽으로 황화되는 증상이 확산되었을 뿐만 아니라 초장 및 엽수 등 전체적인 생육이 저조하였다. 4g · L^{-1} 처리구에서 발생한 증상을 Choi et al.(2010)이 보고한 내용과 비교할 때 근권부 pH의 과도한 상승이 원인이 된 N, P, K 및 Mg 등의 흡수량 저하에 따라 발생한 증상들이 복합적으로 나타난 결과라고 판단하였다. Nelson (2003)도 상기 다량원소의 흡수량이 저하될 때 노엽에서 결핍증상이 나타난다고 하였으며, Table 3에 나타낸 모주의 무기원소 분석 결과에서도 4g · L^{-1} 처리구에서 상기한 네 종류 무기원소 함량이 고토석회 1 또는 2g · L^{-1} 처리구 보다 유의하게 낮아 이 같은 판단을 뒷받침하였다.

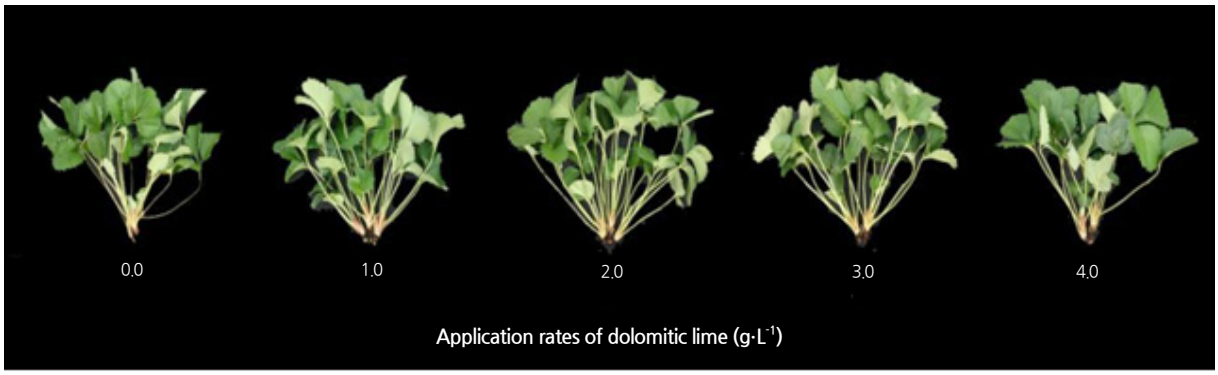

Fig. 1. Influence of the various application rates of dolomitic lime (g·L^{-1}) in peatmoss + pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of mother plants 140 days after treatment of 'Seolhyang' strawberry.

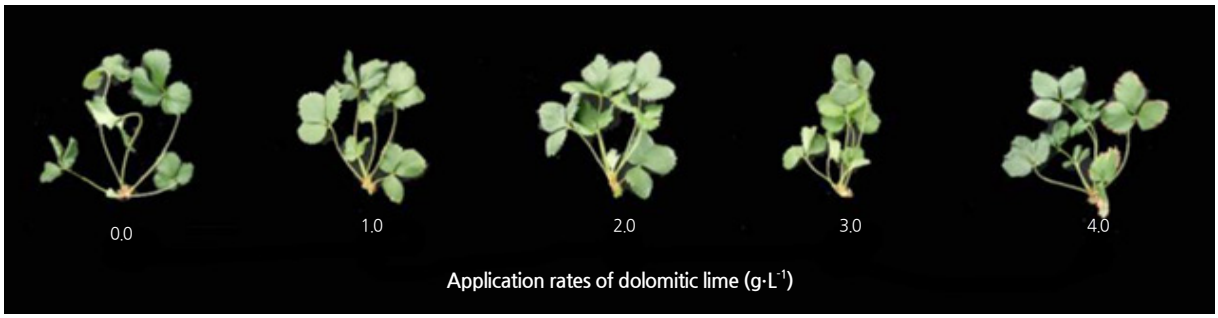

Fig. 2. Influence of the various application rates of dolomitic lime (g·L^{-1}) in peatmoss+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer on the growth of 1st daughter plants 140 days after treatment of 'Seolhyang' strawberry mother plants.

'설향' 딸기 자묘의 지상부 생장 및 생리장해 증상은 Fig. 2와 같다. 고토석회 1, 2 및 3g · L^{-1} 처리구의 생육이 우수하였으며, 0 및 4g · L^{-1} 처리구에서는 저조하였다. 모주로부터 발생한 런너를 절단하기 전까지는 모주의 영양 상태에 따라 자묘의 영양 및 생장이 심하게 영향을 받으며, 이는 앞에서 언급한 것과 동일한 원인에 의해 발생한 결과라고 생각한다.

고토석회 시비수준을 달리한 피트모스 + 수피 (5:5, v/v) 혼합상토에서 모주를 재배하면서 근권부의 중탄산 농도와 pH 변화를 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 고토석회 4g · L^{-1} 처리구는 시간이 지날수록 중탄산 농도가 급격하게 상승하였다. 고토석회 3 및 4g·L^{-1} 처리구에서 pH와 HCO_3^- 농도의 급격한 변화가 발생한 것은 토양 용액에 존재하던 활산성과 혼합상토의 양이온 교환부위에 흡착되어 있던 잠산성이 6주까지 모두 소진되고, 6주 이후에는 HCO_3^-를 중화시킬 H^+가 더 이상 혼합상토에 존재

하지 못하였으며, 이로 인해 근권부의 HCO_3^- 농도와 pH가 상승한 원인이 되었다고 판단한다.

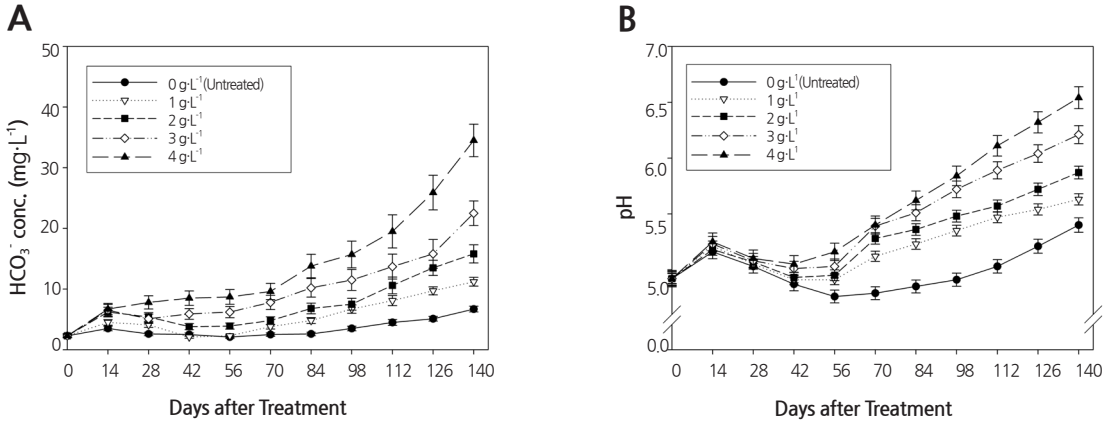

Fig. 3. Changes of bicarbonate concentrations (A) and pH (B) in soil solution of root media as influenced by the various application rates of dolomitic lime in peatmoss+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. Vertical bars represent standard errors of the mean of 5 replications.

혼합상토를 이용한 작물 재배에서 적절한 pH 범위는 5.6–6.2로 알려져 있으며(Hanan, 1998; Nelson, 2003) 관개수의 수질이 큰 문제가 없을 경우 피트모스 + 수피(5:5, 최초 pH 4.07) 상토에 기비로 혼합되는 고토석회의 양을 1L당 5.0–6.0g으로 조절하여야 한다(Choi et al., 2009; Sonneveld and Voogt, 2009). 그러나 본 연구에서 관비용액의 중탄산 농도가 240mg · L^{-1}로 과도하게 높았으며, 고토석회 3 및 4g · L^{-1}처리의 근권부 pH가 지속적으로 상승하여 Nelson(2003)이 제시한 적정 범위 보다 높게 형성되었다. 그러나 1 및 2g · L^{-1} 처리에서는 pH가 적절한 범위에 포함되었고 Table 1에 나타낸 바와 같이 작물 생육도 우수하였다.

'설향' 딸기 모주를 재배하면서 근권부 무기원소 농도를 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 정식 후 시간이 경과할수록 K^+ 및 Mg^{2+} 농도가 완만하게 상승하였으며, 근권부의 K^+ 농도도 고토석회의 시비수준이 높아질수록 뚜렷하게 처리간 차이를 보이며 높아졌다. 고토석회의 시비수준이 높은 처리에서 근권부의 Ca^{2+} 농도도 높았으며, 모든 처리의 Ca^{2+} 농도가 정식 98일 후까지 상승하다가 이후 완만하게 낮아졌다. 고토석회 시비수준이 높아짐에 따라 근권부의 K^+ 농도가 높아진 것은 혼합상토의 양이온교환부위와 흡수과정에서의 길항작용에 기인한 결과라고 생각한다. Bunt(1988)는 생석회나 고토석회 등의 시비량이 증가할 때 상토의 양이온교환부위에 흡착되어 있던 K^+이 석회물질로부터 이온화된 Ca^{2+}에 의해 탈착되고, 대신 Ca^{2+}이 흡착된다고 하였다. 또한, Nelson(2003)은 양이온 간 흡수과정에서 길항작용이 발생하여 석회물질의 시비량 증가로 Ca^{2+} 흡수량이 증가하면 다른 양이온인 K^+ 등의 흡수량이 저하된다고 하였다. 본 연구에서도 고토석회의 시비수준이 높아질수록 근권부의 K^+ 농도가 높아졌지만, 식물체가 흡수한 K^+ 양은 감소하여 양이온교환부위에서 탈착된 것과 흡수과정에서의 길항 작용이 근권부의 K^+ 농도가 높아진 원인이 되었다고 생각한다. 고토석회 시비수준이 높은 처리에서 근권부의 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 농도가 높았던 것은 고토석회에 포함된 Ca 및 Mg이 이온화되어 농도를 높였다고 생각하였다.

고토석회의 시비수준이 높을수록 근권부의 NO_3^- 농도는 높아지는 경향이었고, PO_4^{3-}와 SO_4^{2-} 농도는 낮아지는 경향이었다. NO_3^- 농도가 높아진 것은 혼합상토의 음이온교환부위에서 NO_3^-와 OH^-가 경합하고 OH^- 농도가 높아질수록 흡착되지 못한 NO_3^-의 양이 증가하여 토양 용액 내 농도가 높아진 원인이 되었다고 생각하며 Nelson(2003)과 Lindsay(2001)도 유사한 보고를 한 바 있다. 그러나 고토석회 시비수준이 높아질수록 PO_4^{3-}와 SO_4^{2-} 농도가 낮아진 것은 고토석회로 부터 용해되어 이온화된 Ca^{2+} 또는 Mg^{2+}이 PO_4^{3-} 및 SO_4^{2-}와 결합하여 불용성의 $Ca_3(PO_4)_2$, $Ca_4(HPO_4)_3$, $MgHPO_4$, 및 $CaSO_4$ 등으로 변화된 것이 원인이라고 판단되었다(Lindsay, 2001; Sposito, 1994).

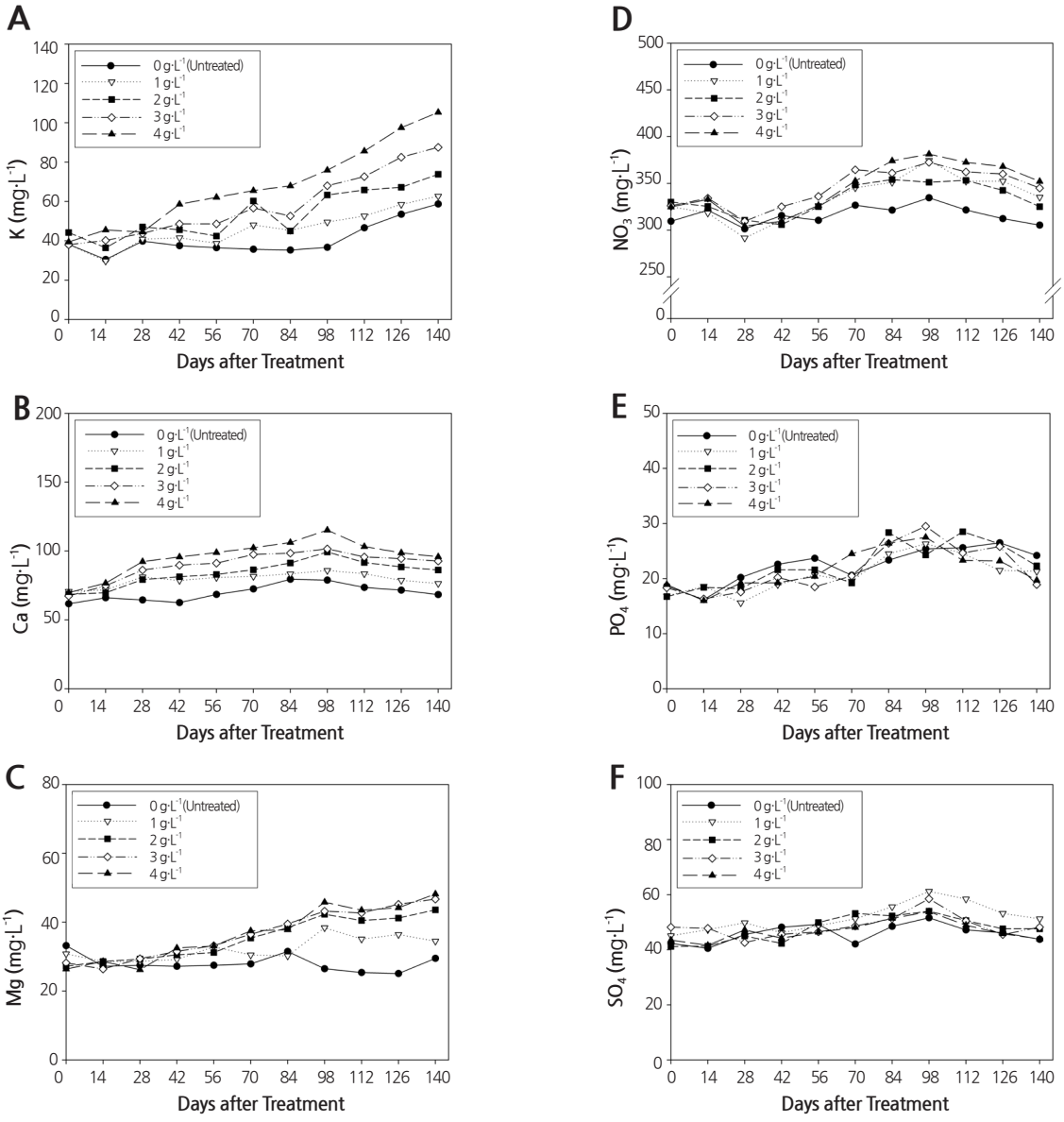

Fig. 4. Changes in the concentrations of macro-elements in soil solution of root media during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry as influenced by the various application rates of dolomitic lime in peatmoss+pine bark (5:5, v/v) medium as pre-planting nutrient charge fertilizer. (A) K, (B) Ca, (C) Mg, (D) NO_3, (E) PO_4, (F) SO_4.

고토석회 시비수준을 달리한 피트모스 + 수피(5:5, v/v) 혼합상토에서 '설향' 딸기의 지상부 무기원소 함량을 Table 3에 나타내었다. 모주의 T-N, P, K, Ca 및 Mg 함량은 고토석회 1 및 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 많았고, 4g·L^{-1} 처리구에서 가장 적었다. 미량원소인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체 내 함량은 고토석회 2g · L^{-1} > 1g · L^{-1} > 3g · L^{-1} > 0g · L^{-1} > 4g · L^{-1} 처리구 순으로 낮았다. 근권부 pH가 가장 높았던 고토석회 4g · L^{-1} 처리구에서 미량원소 함량이 가장 낮았던 것은 근권부의 pH 상승과 이에 따른 금속 미량원소의 불용화가 원인이라고 판단한다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003; Sposito, 1994). 그러나 고토석회를 시비하지 않았던 0g · L^{-1}처리구의 미량원소 함량이 낮았던 것은 토양 용액 내 pH가 적정 범위보다 낮아 낮은 pH 조건에서 금속원소의 활성도가 높아져, 인산과 결합하여 불용화된 금속원소의 양이 증가했기 때문이라고 생각한다. Choi and Lee(2012)는 관비 용액의 인산 농도가 높아질 경우 미량 금속원소와 결합하여 이들을 불용화시키고 식물체내 함량이 낮아져 결핍증상이 유발된다고

하였는데, 본 연구의 고토석회 무처리구에서 미량원소 함량이 낮아진 것을 뒷받침하고 있다.

이상의 결과를 종합할 때 고농도 중탄산 농도에서 피트모스 + 수피(5:5, v/v) 혼합상토에 '설향' 딸기를 수경재배하기 위해서는 고토석회를 2g · L^{-1} 수준으로 기비로 혼합하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

초 록

산성 혼합상토에 대한 고토석회 시비수준 변화가 영양생장 중인 '설향' 딸기의 고농도 중탄산 피해 경감에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 피트모스와 수피를 5:5(v/v)로 혼합한 산성 상토를 조제하고 화학적 특성을 분석한 결과 pH 4.07, EC 0.46dS · m^{-1}, CEC 91.3cmol+/kg^{-1}였다. 산성 상토의 pH를 조정하기 위해 혼합된 고토석회[$CaMg(CO_3)_2$]의 양을 0(무처리), 1, 2, 3, 및 4g · L^{-1}으로 조절하고 모주를 정식하였으며, 재배기간 중 관개수의 중탄산 농도가 240mg · L^{-1}으로 조절된 Hoagland 양액을 EC 0.6–0.7dS · m^{-1}로 조절하여 1일 또는 2일에 1회 공급하였다. 정식 140일 후 '설향' 딸기의 생육을 조사한 결과 고토석회를 2 및 3g · L^{-1} 시비한 처리의 초장, 엽록소 함량 및 생체중 등 지상부 생육이 우수하였다. 고토석회 1, 2 및 3g · L^{-1} 처리구에서는 '설향' 딸기 모주에 특별한 생리장해 현상이 나타나지 않았고 정상적인 생육을 하였으나, 0 (무처리) 및 4g · L^{-1} 처리구에서는 Ca 및 K 결핍 증상이 발생하였다. '설향' 딸기의 모주당 발생한 자묘수는 고토석회 0, 1, 2, 3 및 4g · L^{-1} 처리구에서 각각 21.0, 29.5, 35.8, 27.3 및 16.0개체였으며, 2g · L^{-1}으로 시비한 처리구에서 자묘 발생이 가장 많았다. 모주 재배 중 근권부 pH는 1 및 2g · L^{-1} 처리구에서 5.6–6.2의 적정 범위였으며, 4g · L^{-1} 처리구에서는 과도하게 상승하였다. '설향' 딸기 모주의 다량 및 미량원소 함량은 고토석회 2g · L^{-1} 처리구에서 가장 많았고, 4g · L^{-1} 처리구에서 가장 적었다. 이상의 결과는 중탄산 농도가 높은 관개수로 '설향' 딸기를 수경재배할 때 산성을 띠는 상토의 선택과 고토석회 시비량 조절을 통해 피해를 경감시킬 수 있음을 나타낸다.

추가 주요어 : 생육, 무기물 함량, 피트모스, pH, 수피

Literature Cited

Bunt AC (1988) Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London, pp 64-70. doi:10.1007/978-94-011-7904-1

Carter MR (1993) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Soc. Soil Sci. Lewis Publishers, London, pp 75-84

Choi JM, Lee CW (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. doi:10.1080/01904167.2012.684127

Choi JM, Kim IY, Kim BK (2009) Root substrates. Hackyesa. Daejeon, Korea (In Korean), pp 237-273

Choi JM, Kim TI, Jeong SK, Yoon MK, Kim DY, Ko KD (2010) Causes, diagnosis, and corrective procedures of nutritional disorders in strawberry. Mirae Gihock, Suwon, Korea (In Korean), pp 126-191

Eastin EF (1978) Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Ann Biochem 85:591-594. doi:10.1016/0003-2697(78)90259-2

Hanan JJ (1998) Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. CRC Press, NY, USA, pp 449-455

Jones JB (2005) Hydroponics: A practical guide for the soilless grower 2nd ed. CRC Press, London, pp 71-113

Lim SW (2005) Fertilizers; Principles of nutrient supply and practical application method. Ilsinsa, Seoul, Korea (In Korean), pp 446-447

Lindsay WL (2001) Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, Caldwell, NJ, USA, pp 128-160

Marschner P (2012) Marschner's mineral nutrition of higher plants. Ed 3, Elsvier, NY, USA, pp 165-170

Nelson PV (2003) Greenhouse operation and management. Ed 6, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, pp 260-268

Sonneveld C, Voogt W (2009) Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, NY, USA, pp 405-419. doi:10.1007/978-90-481-2532-6

Sposito G (1994) Chemical equilibria and kinetics in soils. Oxford Univ. Press, NY, USA, pp 93-134

Styer RC, Koranski DS (1997) Plug & transplant production: a grower's guide. Ball Publishing. Batavia. IL, USA, pp 85-100

Warncke PD (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225