

Research Report

양액의 중탄산 농도가 '설향' 딸기의 생육, 자묘 발생 및 무기이온 흡수에 미치는 영향

이희수¹, 최종명^{1*}, 김태일², 김현숙², 이인하²¹충남대학교 원예학과²충청남도농업기술원 논산딸기시험장

Influence of Bicarbonate Concentrations in Nutrient Solution on the Growth, Occurrence of Daughter Plants and Nutrient Uptake in Vegetative Propagation of 'Seolhyang' Strawberry

Hee Su Lee¹, Jong Myung Choi^{1*}, Tae Il Kim², Hyun Sook Kim², and In Ha Lee²¹Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea²Nonsan Strawberry Experiment Station, Chungcheongnam-go Agricultural Research & Extension Services, Nonsan 320-862, Korea

Abstract: The objective of this research was to investigate the influence of bicarbonate (HCO_3^-) concentrations in nutrient solution on the growth and physiological disorders in mother plants and occurrence of daughter plants in propagation of 'Seolhyang' strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). To achieve this, the mother plants were transplanted to coir dust + perlite (7:3, v/v) medium and Hoagland solution was modified to contain 60, 90 (control), 120, 180, and 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of HCO_3^- . The symptoms of Fe, Zn and B deficiencies appeared on the mother plants in the HCO_3^- of 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ from the 60th day after treatment. The symptoms spread to all plants in the 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ HCO_3^- including daughter plants at 90 days after treatment. The HCO_3^- concentrations higher than 120 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ suppressed the growth of mother plants such as leaf number, chlorophyll content, fresh weight and other growth parameters. While the mother plants in 60 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ HCO_3^- produced 23 daughter plants, while mother plants in 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ HCO_3^- produced 13 daughter plants. The final pH 126 days after treatment in the HCO_3^- of 60, 90, 120, 180 and 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ were 5.4, 5.8, 7.3, 7.9, and 8.3, respectively. The elevation of HCO_3^- concentrations in nutrient solution resulted in the decrease of Fe, Mn, Zn and Cu contents of above ground tissue 126 days after treatment. These results indicate that the HCO_3^- concentrations higher than 120 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ inhibited the growth of mother plants and occurrence of daughter plants in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry.

Additional key words: EC, pH, physiological disorder, substrate, visual symptoms

서 언

딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)를 배지경 수경재배하면 토경재배에 비해 생리장애 발현빈도가 더 높다. 이는 수경재배를 위한 인공 배지의 양이온교환용량이 토양보다 월등히 낮아 무기원소 과부족에 대한 완충력이 낮기 때문이다 (Bunt, 1988; Nelson, 2003). 또한 수경재배를 위한 원수의

수질은 작물생산의 성패를 좌우할 정도로 생육에 큰 영향을 미친다(Hamrick, 2003; Styer and Koranski, 1997). 원수의 수질을 판단하는 여러 항목 중 중탄산(HCO_3^-)과 무기원소 농도 그리고 이들 원소의 영향을 받은 전기전도도(electrical conductivity, EC)가 과도하게 높을 경우 작물 생장이 불량해진다.

수경재배 원수 내에 중탄산이 고농도로 존재하면 근권부

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 17 May 2013; Revised 9 January 2014; Accepted 5 February 2014. 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.

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

에 존재하는 H^+ 이온을 중화시켜($H^+ + HCO_3^- \Rightarrow H_2O + CO_2$) 근권부의 pH를 높이고 알칼리로 변화시킨다. 근권부의 pH 변화는 토양화학 평형 변화의 원인이 되어 근권부에 존재하는 각종 이온의 가용화 또는 불용화의 원인이 되고 (Hanan, 1998; Lindsay, 2001), 이를 통해 식물체가 흡수하는 필수원소의 양도 변화된다.

딸기를 비롯한 원예작물의 수경재배를 위해 바람직한 관개수의 중탄산 농도는 $60\text{-}80\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 정도이며 이 농도 범위에서 작물 생육이 우수하다. 중탄산 농도가 $20\text{-}30\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 너무 낮을 경우 관개수의 완충력이 낮아져 비료조성에 근권부의 pH가 쉽게 영향을 받고 급변하는 원인이 된다. 그러나 중탄산 농도가 과도하게 높아 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상인 원수를 이용하여 수경재배할 때 지속적으로 근권부의 pH가 상승한다(Whipker et al., 1996). 적정 범위를 벗어난 근권부의 pH 상승은 다량원소인 인산과 미량원소 중 Fe, Mn, Zn, Cu 및 B의 불용화에 의해 해당 원소의 흡수량이 감소하는 원인이 되어 작물의 생장이 심하게 억제된다(Lindsay, 2001).

충남지역의 경우 논산 및 부여의 일부 지역, 그리고 전남 및 경남의 해안에 인접한 지역에서 지하수의 중탄산 농도가 매우 높아 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 분석되는 농가가 있으며, 중탄산 농도가 높은 원수의 경우 일반적으로 Na^+ 및 Cl^- 의 농도도 높게 분석되고 있다. 이와 같이 일부 지역의 중탄산 농도가 과도하게 높아 큰 피해를 유발하고 있음에도 딸기 재배에서 피해 발생 양상에 관한 연구가 충분히 이루어지지 않은 상황이다.

따라서 중탄산 농도를 변화시킨 양액으로 국내에서 육성된 ‘설향’ 딸기를 수경재배하면서 모주의 생육, 자묘 발생, 그리고 식물체내 무기원소 함량을 분석하여 중탄산 농도에 따른 피해 발생에 관한 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

‘설향’ 딸기를 대상으로 본 연구를 수행하였다. 실험을 위해 혼합상토[코이어 더스트 + 펄라이트, 7:3(v/v)]를 조제하고, 가로 3m, 세로 25cm, 높이 30cm 및 용적 100L의 고설베드에 충전하였다.

이후 플러그 육묘되고 본엽이 3매인 유묘를 확보한 후 뿌리 부분을 수세하여 잔존하는 상토를 제거하고 준비된 고설베드에 20cm 간격으로 정식하였다. 정식 후 지하수로 관수하였는데 지하수의 화학적 특성은 다음과 같았다: pH 6.7,

EC $0.23\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, HCO_3^- 90, NO_3^- -N 10.2, Na 11.8, K 0.5, Ca 22.8, Mg 2.2 및 SO_4^{2-} -S $12.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

정식한 유묘는 60일간 지하수만 관수하여 근권부에 잔존할 가능성이 있는 무기염을 용탈시키고 식물체 내의 무기원소 함량을 최저 수준으로 낮추었다. 정식 60일 후에 신엽 3매만 남긴 채 식물체의 하위엽을 모두 제거하고 중탄산의 농도를 다르게 처리한 양액을 공급하기 시작하였다. 중탄산 농도는 대조구($90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)를 포함한 5처리(60, 90, 120, 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)를 만들고, 각 처리당 15 식물체로 실험을 수행하였다. 양액 조성을 위해 다량원소(mM: 12 NO_3^- -N, 3 NH_4^+ -N, 1 PO_4^{3-} -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)의 농도를 Hoagland 용액(Hoagland and Arnon, 1950)과 동일하게 고정시켰다. 대조구의 $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 보다 낮은 HCO_3^- 농도인 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리는 원수 200L에 60% HNO_3 3mL를 첨가해서 조절하였고, 높은 농도인 120, 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리는 $KHCO_3$ 를 원수 200L에 각각 20g, 60g 및 100g을 용해하여 처리용액을 조제하였다. 모든 처리용액의 pH는 6.3으로 조절하였고, EC는 딸기의 영양상태에 따라 $0.8\text{-}1.2\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 조절하였다.

조성된 처리용액은 점적호스를 사용하여 공급하였으며, 기상환경 조건에 따라 타이머로 급액 횟수와 급액량을 조절하였다. 양액을 관주처리할 때 배수율(leaching percentage)을 20-30%로 유지하여 무기염의 상토 내 집적을 방지하였다.

본 실험은 충남대학교에 위치한 유리온실에서 수행되었다. 실험기간 중 유리온실의 평균 온도는 주간 26°C , 야간 16°C 였고, 상대습도 65%, 광도는 $350\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 그리고 평균 일장은 약 $15\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$ 였다.

중탄산 농도가 근권부 pH와 EC에 미치는 영향을 분석하기 위하여 126일 동안 조성된 양액을 관주하였다. 양액 공급 2시간 후 분석을 위한 각 처리별 상토 시료를 채취하고 포화추출법(Warncke, 1986)으로 추출하였으며, 추출 후 미생물에 의한 NH_4 의 산화를 방지하기 위하여 포화된 phenyl mercuric acetate($1\text{g}\cdot 18\text{mL}^{-1}$)를 2-3방울 첨가한 후 용액의 pH, EC (EC/pH Meter WM-22EP DKK-TOA, Japan) 및 중탄산 농도를 2주 간격으로 측정하였다.

정식 126일 후 모주의 지상부 생육과 자묘 발생량을 전수 조사하였다. 모주의 생육 조사항목은 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소함량, 관부직경, 지상부 생체중 및 건물중이었다. 관부직경은 지제부 상단 1cm를 측정하였고, 지상부 생체중을 측정 후 80°C 건조기에서 48시간 건조한 후 건

물중을 측정하였다. 엽록소 함량은 신엽을 기준으로 3번째 잎을 엽록소 측정계(Model SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 모주로부터 발생한 런너의 길이를 측정하여 합산하였고, 런너에 착생한 자묘의 경우 첫번째와 두번째 묘의 생체중과 건물중을 조사하여 처리간 비교를 하였다. 생육 조사를 위한 전반적인 방법은 Choi et al.(2009)와 Choi and Lee(2013)의 방법을 따라 분석하였다.

식물체 분석을 위해 양액 관주 시작일로부터 126일 후에 지상부 식물체 전체를 수확하여 분석 시료로 이용하였다. 수확한 식물체는 Jeong(2008)의 방법과 동일하게 수세, 건조 및 분쇄과정을 거쳤다. 전질소(T-N) 함량은 분쇄된 건물시료의 0.5g을 정량한 후 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 분석하였다. 시료의 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량을 분석하기 위해 500°C의 회화로에 시료를 정량한 후 건식회화시키고, 0.01N HCl 용액으로 회화된 시료를 포집하였다(Choi, 1994). 이들 원소는 원자 흡광분석계(AA-7000, Shimadzu, Japan)로 분석하였고, 식물체 회화 후 포집된 시료를 이용하여 Chapman and Parker(1961)의 방법을 따라 분광광도계(UV MINI-1240, Shimadzu, Japan)를 사용하여 인산을 분석하였다.

중탄산 농도에 따른 모주와 자묘의 생육 및 식물체 내 무기물 함량은 Duncan의 다중검정과 회귀분석으로 처리간 차이를 비교하고 경향을 판단하였다. 통계분석에는 CoStat 프로그램(Monterey, California, USA)을 이용하였다.

결과 및 고찰

양액의 중탄산 농도에 따라 영향을 받은 ‘설향’ 딸기 모주의 지상부 생장을 Table 1에 나타내었다. 초장은 60mg·L⁻¹

및 90mg·L⁻¹(대조구) 처리에서 컸고, 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리에서 작았다. 초폭 및 엽수도 중탄산 농도의 영향을 받아 180 및 240mg·L⁻¹ 처리에서 다른 처리보다 유의하게 작았으며, 0.1% 수준의 직선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다. 엽장, 엽폭 및 엽병장은 60mg·L⁻¹ 및 90mg·L⁻¹(대조구) 처리에서 컸고, 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리에서 작았다.

식물체의 동화 산물이 저장되는 관부의 직경은 처리구 간 유의한 차이를 찾을 수 없었고, 직선회귀도 성립하지 않아 경향이 뚜렷하지 않았다. SPAD 값을 적용하여 간접적으로 판단한 식물체의 엽록소 함량은 90mg·L⁻¹(대조구)에 비해 180 및 240mg·L⁻¹ 처리가 뚜렷하게 적었으며, Table 3에 나타난 바와 같이 양액의 중탄산 농도가 높아질수록 식물체의 Mg 및 Fe 함량이 감소한 것이 주요 원인이라고 판단된다. Marschner(1995)는 Mg의 경우 엽록소의 중심원자로서 식물체가 흡수하는 Mg의 양에 따라 엽록소 함량이 뚜렷한 차이를 보인다고 하였다. 그는 또한 Fe가 엽록체 내의 단백질 합성에 큰 영향을 미치며 Fe가 결핍될 경우 단백질 합성이 억제되고 엽록체 함량이 뚜렷하게 낮아진다고 하였다. 본 연구에서 양액의 중탄산 농도가 높아질수록 식물체 내 Mg 및 Fe 함량이 뚜렷하게 낮아졌으며 이를 통해 식물체의 엽록소 함량이 감소한 주요 원인이 되었다고 판단된다.

생체중은 60과 90mg·L⁻¹(대조구) 처리에서 각각 106.8g과 102.5g이었고 이들 처리는 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리의 96.8, 86.0 및 76.0g 보다 통계적으로 유의하게 무거웠다. 양액의 중탄산 농도가 높아질수록 식물체당 건물중은 감소하는 경향을 보였다.

‘설향’ 딸기 모주로부터 발생한 런너의 길이는 60과 90mg·L⁻¹(대조구) 처리가 각각 853 및 759cm였고, 중탄산 농도

Table 1. Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the growth of mother plants 126 days after treatment in vegetative propagation of ‘Seolhyang’ strawberry.

HCO ₃ ⁻ (mg·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves (each/plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
60	42.4 a ^z	26.4 ab	21.4 a	12.7 a	10.1 a	24.4 a	5.76 a	45.5 a	106.8 a	21.9 a
90 (Control)	39.4 ab	30.7 a	22.0 a	12.3 a	10.2 a	23.4 a	5.61 a	44.9 a	102.5 a	20.1 ab
120	35.6 b	22.6 bc	20.9 a	10.9 b	9.3 b	24.0 a	5.70 a	39.6 b	96.8 ab	19.4 ab
180	36.4 b	19.0 c	17.0 b	10.3 c	9.4 b	22.2 b	5.54 a	31.7 c	86.0 ab	16.8 bc
240	35.3 b	17.3 c	16.3 b	9.9 c	9.3 b	21.9 b	5.11 a	23.7 d	76.0 b	14.7 c
Linear	***	***	***	***	***	***	NS	***	**	***

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

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$, and 0.001, respectively.

가 높아질수록 유의하게 짧아졌다(Table 2). 식물체당 발생한 런너의 숫자도 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 유의하게 많았으며, 중탄산 농도가 $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 높아질수록 뚜렷하게 감소하는 경향을 보였다. 총 자묘수에서는 60, 90 및 $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리간 통계적 차이를 발견할 수 없었으며, 이들 처리보다 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 유의하게 적었다.

모주로부터 발생한 1차 자묘의 생체중을 조사한 결과 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 64.2g 으로 가장 무거웠고, $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (대조구), 120 및 $180\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리는 각각 53.5, 55.6 및 51.3g 으로 처리간 차이가 뚜렷하지 않았으며, $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리가 45.7g 으로 유의하게 가벼웠다. 2차 자묘 생체중은 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 유의하게 무거웠지만, $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 중탄산 농도가 높아질 경우 처리간 차이가 뚜렷하지 않았다. 중탄산 농도를 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 조절한 처리의 1 및 2차 자묘 건물중이 각각 12.9 및 10.9g 으로 모든 중탄산 처리중 가장 무거웠고, 양액의 중탄산 농도가 $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (대조구) 이상으로 높아질수록 뚜렷한 경향을 보이며 가벼워졌다.

양액의 중탄산 농도를 조절하여 ‘설향’ 딸기의 모주에 처리한 결과 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리는 60일 후부터 모주에 생리장해 현상이 나타나기 시작하였고, $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리는 90일 후부터 증상이 나타나기 시작했다(Fig. 1). 전체 자묘 중 1 및 2차 자묘에서도 모주와 마찬가지로 $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상 처리에서 Fe를 비롯한 미량원소 결핍 증상이 나타났으며, $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 피해증상이 가장 심하였다(Fig. 2).

양액의 중탄산 농도를 120, 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절한 처리의 신생엽에서 발생한 엽맥간 황화현상은 Choi et al.(2009, 2013)이 보고한 Fe 결핍 증상과 매우 유사하였다. 또한 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 신생엽의 엽 가장자리가 톱니바퀴

형태로 푸르게 남아있는 반면 엽신은 황화된 현상은 그들이 보고한 Zn 결핍증상과 유사하였다. 아울러 $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상의 중탄산 처리에서 성장점의 신장에 영향을 주어 잎 끝이 타는 현상(tip burn)이 발생하고 정단부가 안쪽으로 구부러지며 고사하거나, 잎의 크기가 감소하고 기형으로 변하는 현상은 B 결핍 증상으로 판단하였다.

본 연구에서 $120\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 이상으로 중탄산 농도를 조절한 경우 처리 42일 후부터 근권부 pH가 7 이상으로 상승하였다(Fig. 4). Lindsay(2001)가 보고한 바와 같이 근권부 pH가 알칼리로 변화되면 미량원소인 Fe, Mn, Zn Cu 및 B의 불용화가 촉진되고, 이들 원소에 대한 식물체의 흡수량이 급감한다. 따라서 본 연구에서 식물체의 성장량 저하와 신생엽에서 발생한 Fe, Zn 및 B 결핍증상은 중탄산 농도가 높아지므로써 근권부 pH가 상승하고, pH 상승을 통한 이들 원소의 불용화가 생리장해 현상이 복합적으로 나타난 원인이 되었다고 판단된다.

중탄산 농도에 영향을 받은 ‘설향’ 딸기의 식물체 무기물 함량을 분석하여 Table 3에 나타내었다. T-N 함량은 60, 90, 120, 180 및 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 1.94, 1.68, 1.72, 1.20 및 0.64%로 분석되었고, 직선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다. 식물체 내 P 및 K의 함량은 양액의 중탄산 농도가 증가하여도 경향을 보이지 않았고, 처리간 통계적인 차이가 없었다. 그러나 Ca 및 Mg 함량은 $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (대조구) 처리에서 가장 높았고, 60, 120, 180, $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리 순으로 낮아졌다. 이상과 같이 식물체 내 N 함량이 낮아진 것은 양액의 중탄산 농도가 농도가 높아질수록 근권부의 OH⁻량이 증가하여 pH가 상승한 것이 원인이 되었다고 판단된다. 근권부 pH가 상승하면 혼합상토의 음이온치환부위에

Table 2. Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the growth and occurrence of daughter plants during the 126 days after treatment in vegetative propagation of ‘Seolhyang’ strawberry.

HCO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Runner length (cm/plant)	Number of runners	Number of daughter plants	Fresh weight of 1st daughter plant (g/plant)	Fresh weight of 2nd daughter plant (g/plant)	Dry weight of 1st daughter plant (g/plant)	Dry weight of 2nd daughter plant (g/plant)
60	853 a ^z	6.57 a	23.0 a	64.2 a	53.9 a	12.9 a	10.87 a
90 (Control)	759 ab	5.43 b	20.0 a	53.5 b	45.1 b	10.6 b	8.87 bc
120	698 bc	5.14 b	19.0 a	55.6 b	45.4 b	11.0 b	9.36 b
180	602 cd	4.29 cd	14.9 b	51.3 bc	44.2 b	10.2 bc	8.61 bc
240	543 d	3.86 d	13.0 b	45.7 c	39.0 b	9.1 c	7.95 c
Linear	***	***	***	***	***	***	***

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

***Significant at $P \leq 0.001$.

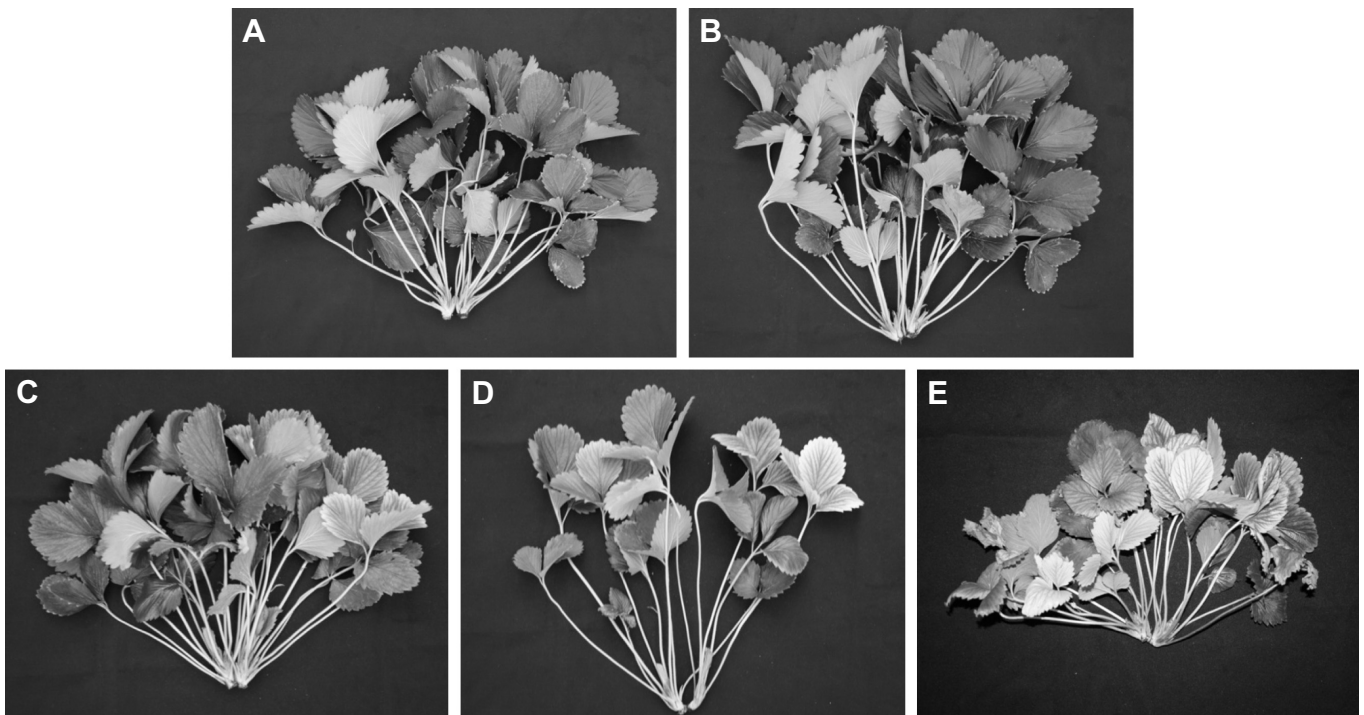


Fig. 1. Comparison of normal plants (A and B) and the injured plants by excess bicarbonate concentrations (C, D, and E) of 'Seolhyang' strawberry 126 days after treatment (treatment solutions of A, B, C, D and E containing 60, 90 (control), 120, 180 and 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of bicarbonate in nutrient solutions, respectively).

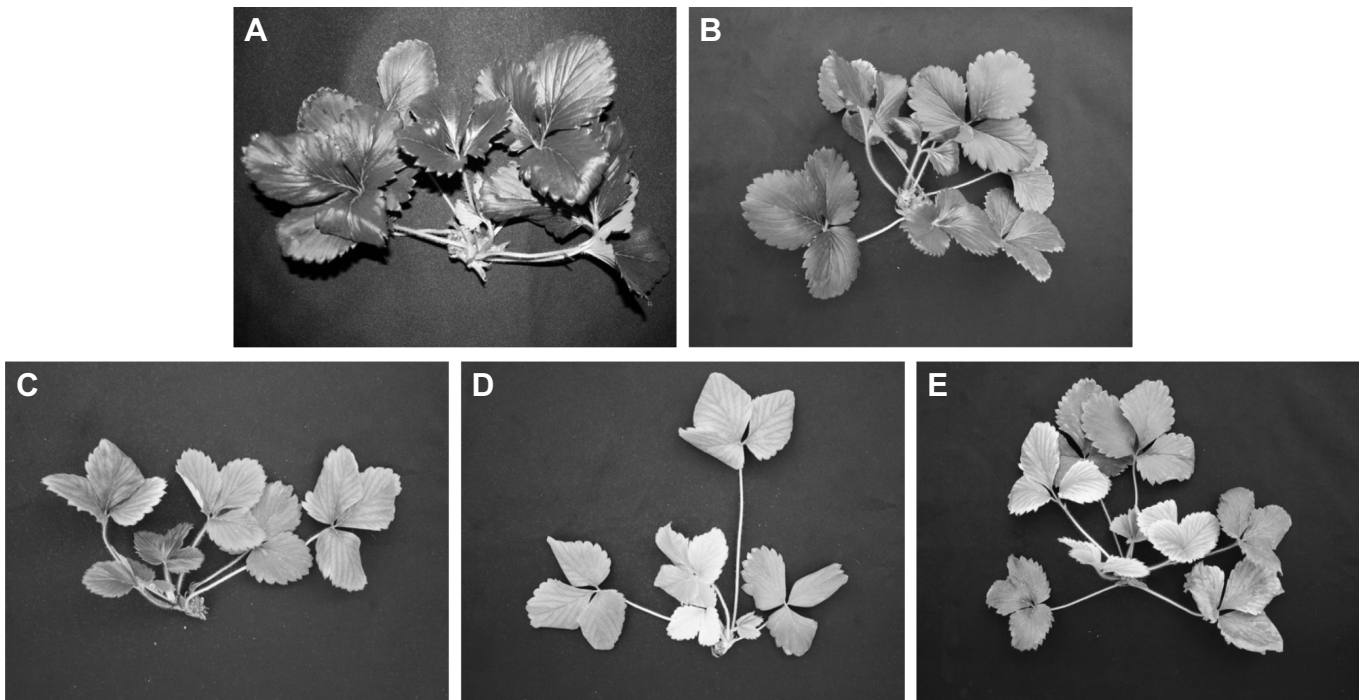


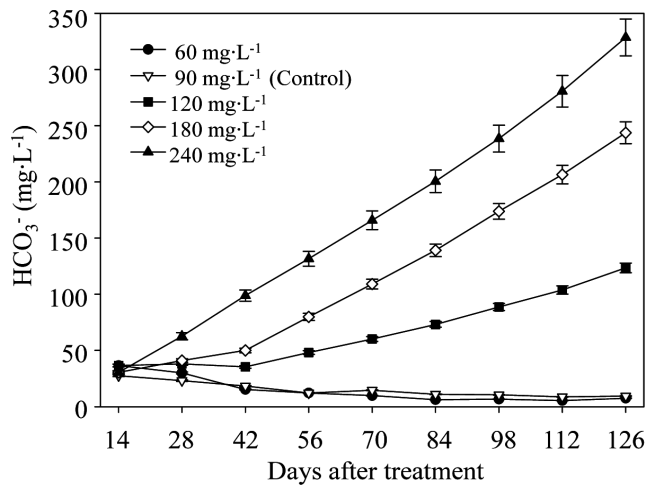
Fig. 2. Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the growth of 1st daughter plants in vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry 126 days after treatment. The symptoms appeared on the daughter plants were similar to those occurred on mother plants in Fig. 1 (treatment solutions of A, B, C, D, and E contained 60, 90 (control), 120, 180, and 240 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of bicarbonate in nutrient solutions, respectively).

Table 3. Influence of bicarbonate concentrations in the fertilizer solution on the tissue nutrient contents of 'Seolhyang' strawberries based on the dry weight of whole above ground plant tissue 126 days after transplanting.

HCO ₃ ⁻ (mg·L ⁻¹)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)			(mg·kg ⁻¹)					
60	1.94 a ^z	0.35 a	3.36 a	1.67 ab	0.42 ab	276.6 a	167.1 a	53.0 a	9.23 a
90 (Control)	1.68 a	0.36 a	3.59 a	1.78 a	0.48 a	232.3 b	142.6 b	50.4 a	8.88 ab
120	1.72 a	0.31 a	3.54 a	1.29 abc	0.42 ab	128.3 c	46.1 c	28.8 b	6.56 bc
180	1.20 b	0.31 a	3.50 a	0.95 bc	0.39 bc	116.9 cd	40.5 c	29.8 b	5.65 c
240	0.64 c	0.27 a	3.45 a	0.77 c	0.32 c	90.7 d	45.9 c	26.2 b	4.70 c
Linear	***	NS	NS	**	**	***	***	***	***

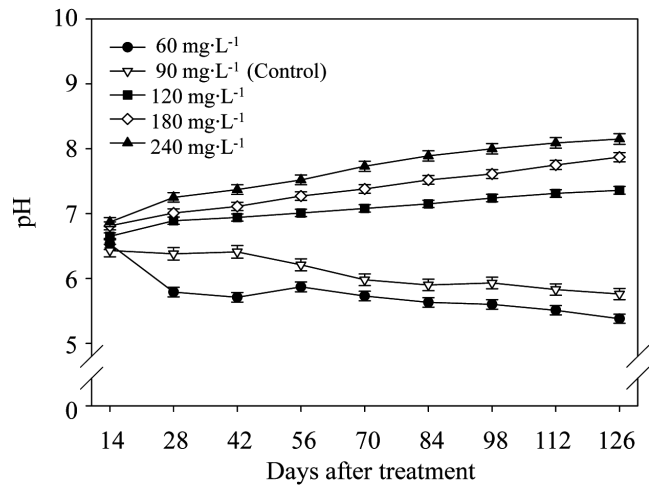
^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P \leq 0.05$.

NS, **, *** Nonsignificant or significant at $P \leq 0.01$, and 0.001, respectively.

**Fig. 3.** Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the changes in bicarbonate concentrations in soil solution of root media during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. Vertical bars represent standard error of the means of 5 replications.

서 NO₃⁻와 OH⁻간 결합이 발생하여 흡착되지 못한 NO₃⁻가 배수공을 통해 용탈되고 근권부의 농도가 낮아진다. 그러나 중탄산으로 인해 근권부의 pH가 상승하면 Ca과 Mg이 근권부에 존재하는 HCO₃⁻ 또는 CO₃²⁻(HCO₃⁻는 pH가 높아질 경우 CO₃²⁻로 변화됨)가 Ca 또는 Mg와 결합하여 Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, CaCO₃, 또는 MgCO₃로 변화하면서 불용화되며, 식물체내 Ca 및 Mg 함량이 감소한 원인이 되었다고 판단된다(Lindsay, 2001).

미량원소인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체 내 함량은 60mg·L⁻¹ 처리에서 가장 높았고, 대조구인 90mg·L⁻¹, 120, 180 및 240 mg·L⁻¹ 처리 순으로 낮아졌다. 미량원소의 식물체 내 함량이 감소한 원인은 결핍증상 발현에서 설명한 바와 동일하다

**Fig. 4.** Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the changes of pHs in soil solution of root media during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. Vertical bars represent standard error of the means of 5 replications.

고 판단된다.

양액의 중탄산 농도를 조절하여 처리하고 시간 경과에 따라 근권부 중탄산 농도변화를 분석한 결과(Fig. 3) 60mg·L⁻¹ 및 90mg·L⁻¹(대조구)는 점차 농도가 낮아진 반면, 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리는 점차 농도가 높아져 처리 126일 후 각각 120, 250 및 330mg·L⁻¹로 분석되었다. 근권부에 존재하는 H⁺는 HCO₃⁻와 결합하여 H₂O와 CO₂로 변화된다(H⁺+HCO₃⁻ ⇌ H₂O + CO₂). 본 연구의 대상작물인 '설향' 딸기는 양이온 흡수량이 많고 근권부의 pH를 산성으로 변화시키는 독특한 특성을 가진다(Choi et al., 2009). 60 및 90mg·L⁻¹ 처리는 근권부에 존재하는 HCO₃⁻보다 무기원소 흡수과정에서 뿌리로부터 발생하는 H⁺의 양이 많아 근권부의 pH를 산

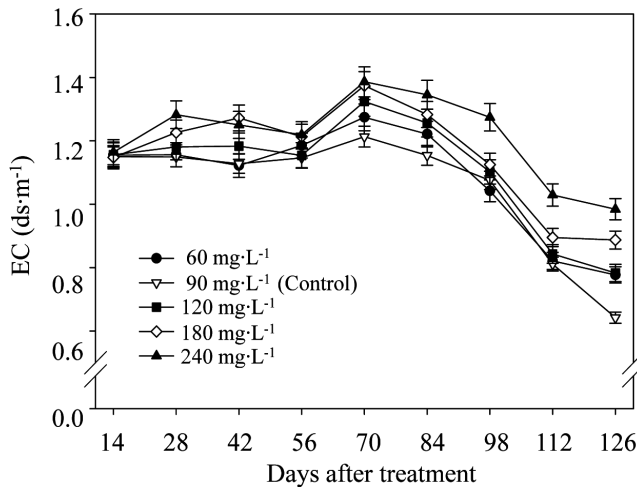


Fig. 5. Influence of bicarbonate concentrations in nutrient solution on the changes of EC in soil solution of root media during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. Vertical bars represent standard error of the means of 5 replications.

성으로 변화시켰지만, 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리는 뿌리로부터 발생한 H⁺보다 HCO₃⁻이 더 많아 H⁺과 결합하고 남은 잉여의 HCO₃⁻이 토양에 잔존함으로써 근권부 중탄산 농도가 높아진 원인이 되었다고 판단된다. 이와 같이 근권부에 존재하는 H⁺와 HCO₃⁻의 결합 및 해리는 근권부의 pH 변화에 뚜렷한 영향을 미쳤고(Fig. 4) 처리 126일 후 60 및 90mg·L⁻¹ 처리는 5.4 및 5.8로 낮아졌지만 120, 180 및 240 mg·L⁻¹ 처리는 각각 7.3, 7.9 및 8.2로 상승하였다. 근권부 EC는 60 및 90mg·L⁻¹ 처리에 비해 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리의 근권부 EC가 높았는데, 그 이유는 120mg·L⁻¹ 이상의 중탄산 농도에서 pH 상승으로 인한 양분 흡수의 감소가 주된 원인이라고 판단된다(Fig. 5).

결론적으로, 중탄산 농도에 따른 '설향' 딸기의 모주와 자묘는 60 및 90mg·L⁻¹(대조구) 처리의 생육이 우수하였고, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리는 생육이 뚜렷하게 저조하였으며 각종 생리장해 현상이 발생하였는데 이는 근권부의 높은 pH로 인한 무기원소의 흡수가 감소된 것이 원인인 것으로 추정된다. 따라서 '설향' 딸기의 수경재배시 관개수의 중탄산 농도는 60-90mg·L⁻¹ 범위로 조절해야 할 것으로 판단된다.

초 록

양액의 중탄산 농도가 '설향' 딸기의 번식에서 모주의 생장과 생리장해 발현, 그리고 자묘 발생에 미치는 영향을 구

명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 연구목적은 달성하기 위해 Hoagland 용액을 변형시켜 중탄산 농도가 60, 90(대조구), 120, 180 및 240mg·L⁻¹가 되도록 용액을 조제하고, coir dust + perlite(7:3) 상토에 관비하였다. 중탄산 농도가 240 mg·L⁻¹인 처리에서는 처리 60일 후부터 모주에 Fe, Zn 및 B 결핍 증상이 발생하였다. 처리 90일 후에는 자묘를 포함한 모든 식물체로 증상이 확산되었다. 처리 126일 후 조사한 식물 생육에서 관개수의 중탄산 농도가 120mg·L⁻¹ 이상으로 높아질수록 엽수, 엽록소 함량 및 생체중 등 조사한 모든 생육지표에서 저조한 경향이였다. 처리 후 126일 동안 발생한 자묘수는 60mg·L⁻¹ 처리가 모주당 23개체였지만, 240mg·L⁻¹ 처리에서는 13개체로 적었다. 처리 126일 후 중탄산 농도를 60 및 90mg·L⁻¹로 조절한 처리의 근권부 pH는 5.4와 5.8로 낮아졌지만, 120, 180 및 240mg·L⁻¹ 처리는 각각 7.3, 7.9 및 8.2로 상승하였다. 지상부 식물체의 무기물 함량에서 중탄산 농도가 높을수록 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 함량이 감소하는 경향을 보였다. 이상의 연구결과에서 양액의 중탄산 농도가 120mg·L⁻¹ 이상으로 높아질 경우 '설향' 딸기의 모주 생육과 자묘 발생을 억제하였으며, 이를 중화시키기 위한 적절한 조치를 취해야 한다고 판단하였다.

추가 주요어 : EC, pH, 생리장해, 배지, 가시적인 증상

인용문헌

- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. 2nd ed. Unwin Hyman Ltd., London.
- Chapman, H.D. and F.P. Parker, 1961. Methods of analysis for soils, plants, and waters. Univ. of Calif., Div. of Agr. Sci. p. 169-170.
- Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. Ph.D. Diss. North Carolina State Univ., Raleigh.
- Choi, J.M., A. Latigui, and C.W. Lee. 2013. Visual symptom and tissue nutrient contents in dry matter and petiole sap for diagnostic criteria of phosphorus nutrition for 'Seolhyang' strawberry cultivation. Hort. Environ. Biotechnol. 54:52-57.
- 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.
- Choi, J.M., S.K. Jeong, and C.W. Lee. 2009. Characterization

- of deficiency symptoms and critical tissue concentrations of nitrogen for diagnostic use in a Korean strawberry 'Maehyang'. Hort. Environ. Biotechnol. 50:69-73.
- Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Anal. Biochem. 85:591-594.
- Hamrick, D. 2003. Ball red book: Crop production. 17th ed. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. CRC Press, New York.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Univ. of Calif. Agri. Exp. Sta. Circular 347.
- Jeong, S.K. 2008. Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in 'Maehyang' strawberry. Ph.D. Diss., Pai Chai Univ., Daejeon, Korea.
- Lindsay, W.L. 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, Caldwell, NJ.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, USA.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1997. Plug & transplant production: A growers guide. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Warncke, P.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225.
- Whipker, B.E., P.A. Hammer, P.V. Nelson, W.C. Fontenol, and D.A. Bailey. 1996. Development and assessment of an acidification calculator for irrigation water alkalinity regulation. HortScience 31(Suppl.):752.