

관개수에 첨가되는 산 종류가 영양생장 중인 '설향' 딸기의 중탄산 피해 경감에 미치는 영향

이희수¹ · 최종명^{2*} · 김태일³ · 김현숙³ · 장원석³ · 이희철³ · 이인하³ · 남명현³

¹국립원예특작과학원 채소과, ²충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, ³충청남도 농업기술원 논산딸기시험장

Influence of Various Acids Added to Irrigation Water on the Reduction of Bicarbonate Injury during Vegetative Propagation of 'Seolhyang' Strawberry

Hee Su Lee¹, Jong Myung Choi^{2*}, Tae Il Kim³, Hyun Sook Kim³, Won Suk Jang³, Hee Chul Lee³, In Ha Lee³, and Myeong Hyeon Nam³

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

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

³Nonsan Strawberry Experiment Station, Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Services, Nonsan 32914, Korea

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

OPEN ACCESS



Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(4):607-615, 2016
<http://dx.doi.org/10.12972/kjhst.20160062>

pISSN : 1226-8763
 eISSN : 2465-8588

Received: September 5, 2015

Revised: November 19, 2015

Accepted: July 13, 2016

Copyright©2016 Korean Society for Horticultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution NonCommercial License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development Project No.PJ011886022016", Rural Development Administration, Republic of Korea

Abstract

This research was conducted to investigate the influence of different kinds of acids added to irrigation water containing high levels of bicarbonate on the growth and daughter plant production during the propagation of 'Seolhyang' strawberry. Fertigation solution was prepared with equal concentrations of essential nutrients as found in Hoagland solution, plus 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻. The concentrations of HCO₃⁻ in the treatment solution were decreased to 60 mg·L⁻¹ by the addition of HNO₃, H₃PO₄, H₂SO₄, HNO₃ + H₃PO₄, or salicylic acid. The mother plants transplanted to raised beds were treated with a specific treatment solution for 126 days and growth and daughter plant productions were monitored. The fresh weight of mother plants in the -control treatment (240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻) was significantly lower than those in acid containing treatments. The number of daughter plants produced per mother plant was 13 in the -control treatment, but 19.4, 20.1, 18.6, 22.4, and 18.9 in the treatments of HNO₃, H₃PO₄, H₂SO₄, HNO₃ + H₃PO₄ and salicylic acid, respectively. The substrate pHs after 126 days of treatment were 8.2 and 7.3 in the -control and salicylic acid treatments, respectively, but 5.5, 5.4, 5.3, and 5.5 in the treatments of HNO₃, H₃PO₄, H₂SO₄, and HNO₃ + H₃PO₄ treatments, respectively. The tissue Ca and Mg contents of mother plants were significantly higher in +control (90 mg·L⁻¹ HCO₃⁻) and various acid blending treatments compared to the -control treatment. By contrast, Ca and Mg contents were not significantly different among treatments with acids. The Fe, Mn, Zn, and Cu contents in plant tissue of -control were also significantly lower than those in all other treatments.

Additional key words: daughter plants, growth, hydroponics, pH

서 언

딸기 수경재배를 위한 관개수의 수질을 판단하는 여러 요인 중 중탄산이 고농도로 존재하면 근권부의 pH를 상승시키고, 상승된 pH에 의해 각종 무기원소의 불용화가 유발되어 작물생장이 불량해진다(Styer and Koranski, 1997). 중탄산 피해는 보편적으로 온대지역에서 많이 발생하며, 우리나라도 바다에 인접한 경기도 고양, 충남 논산 및 부여, 전북 익산, 그리고 경남 산청 및 하동 등 여러 지역이 지하수의 중탄산 농도가 과도하게 높아 딸기 수경재배에서 많은 피해가 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이와 관련한 정확한 조사가 이루어지지 않았고, 관련 보고자료도 전무한 상황이다.

원예작물 수경재배에서 관개수의 중탄산 농도가 60–80mg·L⁻¹ 정도일 때 작물 생육이 우수하다(Nelson, 2003; Peterson and Kramer, 1991). 중탄산이 저농도로 존재하면 관개수의 완충력이 낮아져 근권부 pH가 비료조성에 쉽게 영향을 받고 급변한다. 그러나 과도하게 높으면 근권부에 존재하는 H⁺이 중탄산(HCO₃⁻)과 반응하여 H₂O와 CO₂로 변하고, 이 과정에서 pH가 지속적으로 상승하면서 각종 생리장애의 원인이 된다(Nelson, 2003; Styer and Koranski, 1997). 근권부의 pH 상승은 다량원소인 인산과 미량원소 중 Fe, Mn, Zn, Cu 및 B의 불용화와 흡수량 감소를 초래하여(Lindsay, 2001; Nelson, 2003) 딸기의 생장이 심하게 억제된다(Lee, 2015).

관개수에 중탄산이 고농도로 존재할 경우 적절한 수준으로 중탄산을 제거한 후 각종 비료염을 첨가하여 양액을 조성하는 것이 바람직하다. 과거에 중탄산을 제거하기 위해 보편적으로 적용하던 방법이 질산, 인산 또는 황산 등 각종 산을 첨가하여 H⁺ + HCO₃⁻의 반응을 촉진하는 것이다. 그러나 산을 첨가할 경우 산속에 포함된 NO₃⁻(질산), H₂PO₄⁻ 또는 HPO₄²⁻(인산), SO₄²⁻(황산) 등이 비료로써 작물 생육에 영향을 미친다. 특히 딸기는 토마토나 착색단고추 등 시설재배하는 다른 작물에 비해 지상부 생장량과 흡비량이 적어 양액의 이온농도에 민감하게 반응한다(Lee, 2015). 따라서 중탄산이 높은 지하수를 딸기 수경재배에 이용할 경우 중탄산을 중화시키는 과정에서 필요량 이상의 비료성분들이 양액에 포함될 수 있으며, 이러한 현상은 지상부 생장량이 적은 딸기의 생장에 큰 영향을 미칠 가능성이 높다.

이상과 같은 상황을 고려하여 중탄산이 고농도인 관개수에 다양한 종류의 산을 혼합한 후 양액을 조제하고 '설향' 딸기 모주를 재배하면서 모주생육, 자묘 발생, 그리고 식물체내 무기원소 함량에 미치는 영향을 분석하여 고농도 중탄산 피해 경감에 관한 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

'설향' 딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.)를 대상작물로 하여 충남대학교에 위치한 유리온실에서 본 연구를 수행하였다. 코이어 터스트와 펄라이트를 7:3(v/v)으로 혼합하여 조제한 혼합상토를 가로 300cm, 세로 25cm 및 높이 20cm인 고설베드에 충전한 후 3엽기의 유묘를 상토에 정식하였다. 유묘 정식 후 60일간 지하수만 관수하여 근권부에 잔존하는 무기염을 용탈시키고, 식물체 무기원소 함량을 최저 수준으로 낮추었다. 본 실험을 위한 지하수는 pH 6.7, EC 0.23dS·m⁻¹, HCO₃⁻ 90mg·L⁻¹, 그리고 무기이온 농도는(mg·L⁻¹) NO₃⁻ N 10.2, Na 11.8, K 0.5, Ca 22.8, Mg 2.2 및 SO₄²⁻ 12.6의 화학적 특성을 갖는 것으로 분석되었다.

정식 60일 후 신엽 3매만 남긴 채 하위엽을 모두 제거하고 배양액을 공급하기 시작하였다. 실험을 위한 배양액 조제에서 HCO₃⁻ 농도를 240mg·L⁻¹으로 조절한 Hoagland 용액(Hoagland and Arnon, 1950)을 -대조구로 삼았고, 지하수와 동일한 농도의 중탄산을 포함한 처리를 +대조구(90mg·L⁻¹)로 삼았다. 다른 처리용액 조제에서는 -대조구인 240mg·L⁻¹의 용액에 HCO₃⁻ 농도를 60mg·L⁻¹으로 조절할 수 있는 질산, 인산, 황산, 질산+인산 및 살리실산을 혼합하였으며, 200L 관개수를 기준으로 60% 질산(HNO₃; Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Korea) 68mL, 85% 인산(H₃PO₄; Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Korea) 32.7mL, 95% 황산(H₂SO₄; Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Korea) 16mL, 60% 질산 34mL + 85% 인산 16mL, 그리고 살리실산(C₇H₆O₃; Junsei Chemical Co., Ltd., Japan) 60g 였다. 이 과정에서 모든 처리용액에 공급되는 다량원소와 미

량원소의 농도는 Hoagland 용액(Hoagland and Arnon, 1950)과 동일하게 조절하였다.

처리용액은 점적호스로 공급하였으며, 기상환경 조건에 따라 타이머로 급액 횟수와 급액량을 조절하였다. 배양액 관주처리 시 배수율(leaching percentage)을 20-30%로 유지하여 상토 내 무기염 집적을 방지하였다. 연구기간 중 유리온실의 평균 온도는 주/야간 26°C/16°C였고, 상대습도 50-70%, 광도 330-370 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 그리고 평균 일장은 약 15h/day였다.

모주의 지상부 생장과 자묘 발생량은 정식 126일 후 조사하였다. 모주의 생장 조사항목은 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소함량, 관부직경, 지상부 생체중 및 건물중였다. 지제부 상단 1cm의 관부직경을 측정하였고, 생체중(지상부)을 측정후 80°C 건조기에서 48시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였다. 신엽을 기준으로 3번째 잎의 엽록소 함량(엽록소 측정계: Model SPAD-502, Minolta, Japan)을 측정하였고, 모주에서 발생한 런너 길이와 개수, 그리고 런너에 착생한 첫번째와 두번째 자묘의 생체중과 건물중을 조사하여 처리구간 비교를 하였다. 전반적으로 Choi and Lee(2013)가 설명한 방법을 따라 생육을 조사하였다.

근권부 화학성 분석을 위하여 관비 2시간 후 상토 시료를 채취하였고, 시료를 포화추출법(Warncke, 1986)으로 추출한 다음 용액의 pH와 EC를 측정하였다. 추출한 용액은 0.01N 황산으로 pH가 4.5에 도달할 때까지 적정하였고, 소요된 황산 용액에 중탄산 상수인 6.1을 곱하여 중탄산 농도($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)를 구하였다(Styer and Koranski, 1997).

관주 시작 126일 후에 식물체의 지상부 전체를 수확하여 무기원소 함량에 대한 분석 시료로 삼았다. 식물체는 Jeong(2008)의 방법과 동일하게 수확 후 수세, 건조 및 분쇄과정을 거쳤다. 분쇄된 시료는 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 전질소(T-N) 함량을, 그리고 500°C의 회화로에서 건식회화시키고, 0.01N HCl 용액으로 회화된 시료를 포집한 후 K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량을 분석하였다. 또한 포집된 시료에 포함된 인산농도는 Chapman and Pratt(1961)의 방법을 따라 분석하였다. 무기원소 함량은 흡광분석계(AA-7000, Shimadzu, Japan)와 분광광도계(UV MINI-1240, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였으며, 무기물 분석의 전반적인 과정은 Choi(1994)의 방법을 따랐다.

작물 생육 및 식물체내 무기물 함량에 관한 조사 및 분석결과는 Duncan의 다중검정으로 처리구간 차이를 비교하였으며, CoStat 프로그램(Ver. 6.3, CoHort Software, CA, USA)으로 통계분석하였다.

결과 및 고찰

고농도의 중탄산을 중화시키기 위해 관개수에 다양한 산을 처리하고 이에 영향을 받은 '설향' 딸기 모주의 지상부 생육을 처리 126일 후 조사하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Influence of the addition of acid into irrigation water on the growth of mother plants after 126 days of treatment during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry.

Acid treatment ²	Plant width (cm)	Number of leaves (each/plant)	Leaf length (cm)	Petiole length (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
90 mg·L ⁻¹ (+Control)	30.7 a ³	22.0 ab	12.3 a	23.4 c	44.9 a	102.5 ab	20.1 ab
240 mg·L ⁻¹ (-Control)	17.3 c	16.3 c	9.9 d	21.9 d	23.7 c	76.0 b	14.7 b
HNO ₃	28.4 ab	23.0 a	11.4 bc	22.7 cd	44.0 b	100.9 ab	19.9 ab
H ₃ PO ₄	26.1 ab	23.3 a	11.7 b	22.1 d	43.8 b	97.6 ab	20.0 ab
H ₂ SO ₄	22.9 b	22.0 ab	11.1 c	22.9 cd	43.7 b	95.2 ab	19.4 ab
HNO ₃ +H ₃ PO ₄	30.3 a	25.0 a	11.7 b	27.8 a	45.0 a	118.5 a	22.8 a
Salicylic acid	24.7 ab	19.6 b	11.7 b	25.4 b	44.5 ab	96.9 ab	19.5 ab

²The treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹.

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

중탄산 농도가 240mg·L⁻¹인 -대조구에 비해 관개수에 산을 처리한 모든 처리구에서 초폭이 상대적으로 넓었지만 산 처리구 중 황산처리구는 질산+인산 처리구보다 유의하게 엽폭이 좁았다. 엽수의 경우 -대조구보다 +대조구(90mg·L⁻¹ HCO₃⁻) 또는 산을 처리한 구에서 많았는데, 산 처리구들만 비교할 때에는 salicylic acid를 처리한 구의 엽수가 다른 산 처리구 보다 적어 중탄산 중화효과가 낮음을 의미한다. 엽장, 엽폭 및 엽병장도 정도의 차이가 있을 뿐 초폭 또는 식물체당 엽수와 유사한 경향을 나타냈다.

잎의 엽록소 함량은 +대조구와 질산+인산 처리구가 다른 산 처리구 또는 -대조구 보다 통계적으로 유의하게 높았으며, 질산, 인산 및 황산의 세 처리간에는 차이가 인정되지 않았고, -대조구는 다른 모든 처리를 보다 유의하게 낮았다. 모주의 식물체당 생체중은 질산+인산 처리구 118.5g, +대조구 102.5g, 질산 100.9g 그리고 인산 97.6g로 조사되어 -대조구의 76.0g 보다 뚜렷하게 무거웠다. 그러나 산술적인 차이가 있었음에도 모든 산 처리구와 +대조구 간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, -대조구만 통계적으로 유의하게 가벼웠다. 모주의 식물체당 건물중도 생체중과 유사한 경향을 보였다.

관개수에 산 혼합이 '설향' 딸기 자묘 발생 및 생장에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 런너 길이와 런너 수는 모든 산 처리구에서 -대조구보다 길거나 많았으며, +대조구는 산 처리구들과 유사한 값으로 조사되어 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 산을 처리한 120일 동안 모주 1식물체당 발생한 자묘수는 -대조구가 13개체였지만 질산, 인산, 황산, 질산+인산 및 살리실산 처리구에서는 각각 19.4, 20.1, 18.6, 22.4 및 18.9 개체로 조사되었고, 관개수에 대한 산처리가 자묘 발생에 뚜렷한 효과가 있음을 알 수 있었다. 1차 자묘 생체중은 질산+인산 처리구에서 68.6g으로 가장 무거웠으며, +대조구, 질산, 인산, 황산 및 salicylic acid 처리가 각각 53.3, 57.2, 56.3, 57.9 그리고 56.1g으로 조사되었지만 이들 처리들은 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 그러나 -대조구는 1차 자묘 생체중이 45.7g으로 실험한 다른 처리들 보다 유의하게 가벼웠다.

Table 2. Influence of the addition of acid into irrigation water on the growth and occurrence of daughter plants after 126 days of treatment during vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry.

Acid treatment ²	Runner length (cm/plant)	Number of runners (each/plant)	Number of daughter plants (each/plant)	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)
90 mg·L ⁻¹ (+Control)	760 a ³	5.43 a	20.0 a	53.5 b	45.1 bc	10.6 b	8.9 bc
240 mg·L ⁻¹ (-Control)	544 b	3.86 b	13.0 b	45.7 c	39.0 c	9.1 c	8.0 c
HNO ₃	745 a	5.43 a	19.4 a	57.2 b	46.5 bc	11.2 b	9.4 b
H ₃ PO ₄	747 a	5.57 a	20.1 a	56.3 b	46.0 bc	11.4 b	9.3 b
H ₂ SO ₄	719 a	5.29 a	18.6 a	57.9 b	49.1 ab	11.4 b	9.8 b
HNO ₃ +H ₃ PO ₄	828 a	6.14 a	22.4 a	68.6 a	55.6 a	13.7 a	10.9 a
Salicylic acid	709 a	5.29 a	18.9 a	56.1 b	48.4 ab	11.2 b	9.8 b

²The treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹.

³Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

자묘는 런너가 발생할 때 그 선단부에서 연속적으로 발생하며 각각의 런너에서 발생하는 첫 번째 자묘를 1차 자묘로, 그 다음 연속해서 발생하는 것을 2차 자묘 및 3차 자묘로 지칭한다. 런너가 굵을 때 일반적으로 자묘의 생장이 우수하며, 육묘기간 중 자묘의 생장이 우수하여 관부직경이 굵은 경우 정식 후 초기 수량이 많다(Choi et al., 2010). Table 2에 나타낸 바와 같이 -대조구에 비해 모든 산 처리구에서 자묘의 생육이 우수하였으며, 특히 질산+인산 처리구에서 가장 우수한 생육을 보였다. Marschner(2012)는 식물이 어리고 영양생장 상태일 때 질소와 인산 흡수량이 많으며, 이들 두 원소가 식물 생장에 큰 영향을 미친다고 하였다. 따라서 '설향' 딸기의 영양번식 중 중탄산 피해를 경감하고 런너 및 자묘 발생량을 증가시키기 위해서는 질산,

인산, 황산 등의 산을 단독으로 처리하는 것 보다 이상의 산을 적절한 비율로 혼합하여 처리하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

'설향' 딸기 모주의 생육 및 생리장해 증상은 Fig. 1과 같다. +대조구와 비교해 모든 산 처리구는 정상적인 생육을 하였으나, -대조구에서는 Choi et al.(2010)이 보고한 Fe, Mn, Zn 및 B 결핍 증상이 발생하였고, 초장, 엽병장 등 전체적인 생육이 저조하였다. 산 처리구들 중에서는 질산+인산 처리구의 모주 생장이 가장 우수하였다. '설향' 딸기 자묘의 생장 및 생리장해 증상에서 (Fig. 2) -대조구는 Choi et al.(2010)이 보고한 다양한 미량원소 결핍 증상이 나타났으나, 산 처리구에서는 특별한 증상이 발생하지 않았으며, 질산+인산 처리구의 자묘 생장이 가장 우수함을 나타내고 있다.

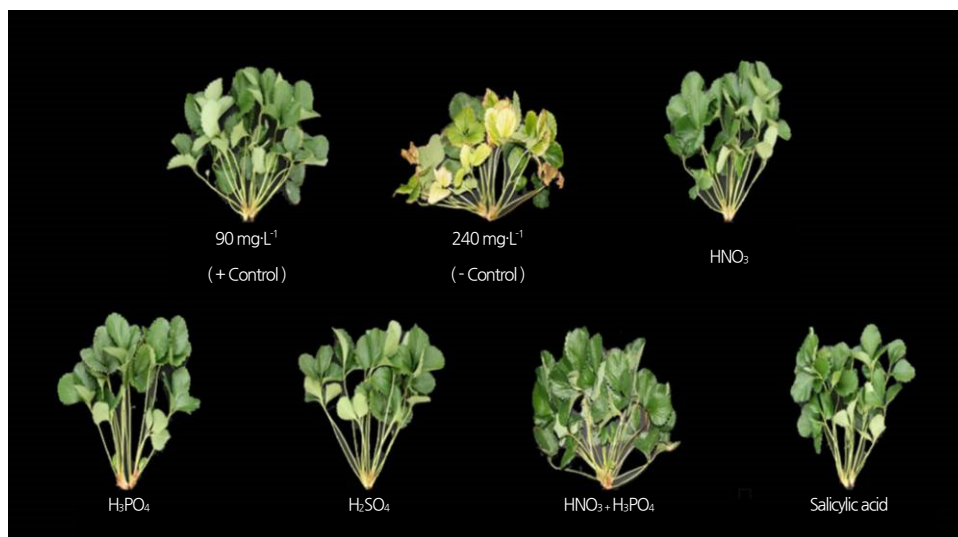


Fig. 1. Influence of acid addition into irrigation water on the growth of mother plants after 126 days of treatment during 'Seolhyang' strawberry propagation. The treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹.

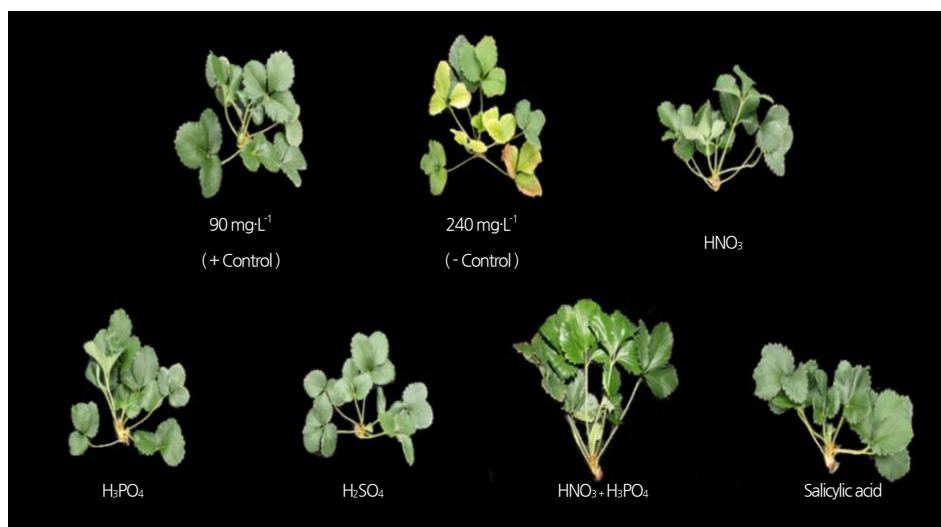


Fig. 2. Influence of acid addition into irrigation water on the growth of 1st daughter plants after 126 days of treatment during 'Seolhyang' strawberry propagation. The treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control decreased the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹.

중탄산 농도가 높은 관개수에 산을 처리하고 양액을 조제하여 공급하면서 작물 재배 중 근권부의 중탄산 농도에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 질산, 인산, 황산 및 질산+인산 처리구는 시간이 지날수록 근권부 중탄산 농도가 낮아졌지만 살리실산 처리구는 완만하게 상승하였으며, -대조구는 $330\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 높아졌다. 산 처리구의 중탄산 농도는 Lee(2015)가 보고한 바와 같이 각 산에서 해리된 H^+ 과 중탄산이 반응한 결과라고 판단한다($\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$).

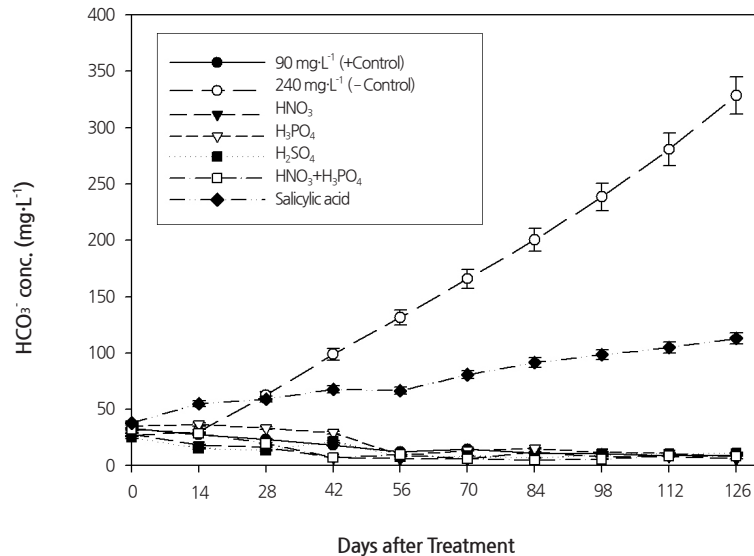


Fig. 3. Changes of bicarbonate concentrations in soil solution of root media as influenced by the addition of acid into irrigation water during vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. The treatment solution of +control and -control contained 90 and $240\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ HCO_3^- , respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO_3^- concentration to $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Vertical bars represent standard error of the mean of 5 replications.

근권부의 pH 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 산 처리 2주 후부터 처리구간 차이가 나타나기 시작하였으며, 처리 126일 후 -대조구와 살리실산 처리구는 8.2와 7.3으로 상승하였지만 질산, 인산, 황산 및 질산+인산 처리구는 각각 5.5, 5.4, 5.3 및 5.5로 낮아졌다. 산 처리구의 근권부 pH가 낮아진 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 H^+ 와 HCO_3^- 의 반응에 기인한 것으로 판단한다. Styer and Koranski(1997) 그리고 Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 중탄산은 그 자체의 피해 보다 근권부 토양용액의 pH를 상승시키고, 높아진 pH에 의해 인, 철, 망간, 아연, 구리 및 붕소 등 각종 무기원소의 불용화가 촉진되어, 이들 원소의 흡수량 저하를 통한 성장 저해가 중요한 피해 원인이 된다. 본 연구에서 Hanan(1998)과 Nelson(2003)이 제시한 혼합상토의 적정 pH 영역(5.6-6.2) 보다 산을 처리한 구의 pH가 약간 낮았지만 모주 생육과 자묘의 발생 및 생장이 -대조구 보다 우수하였다. 따라서 중탄산 농도를 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 유지할 수 있도록 실험 대상인 모든 산을 정확하게 계산하여 처리할 필요가 있음을 의미한다. 살리실산 처리구는 중탄산을 중화시키기 위한 산의 양을 정확하게 조절하였음에도 불구하고 pH가 상승하였고, 이는 다른 산에 비해 입상형인 살리실산의 효과가 낮음을 의미한다. 그러나 구체적인 원인에 관해서는 보완 연구가 필요하다고 판단한다.

관개수에 산 혼합이 '설향' 딸기의 식물체 무기물 함량에 미치는 영향을 Table 3에 나타내었다. 식물체 P 함량은 처리구간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. K 함량은 질산 + 인산 처리구에서 가장 높았지만 -대조구, 질산, 인산 및 황산 처리구에서 비슷했으나 살리실산과 +대조구에서 통계적으로 유의하게 낮았다. 식물체 Ca 함량은 +대조구와 질산 처리구에서 높았고, 인산, 황산, 질산+인산, 그리고 살리실산 처리구 간에는 유사한 함량으로 분석되었으며, -대조구에서 가장 낮았다. Mg 함량은 +대조구, 질산+인산, 그리고 살리실산 처리구가 높았고, 나머지 처리구에서는 비슷한 함량으로 분석되었다.

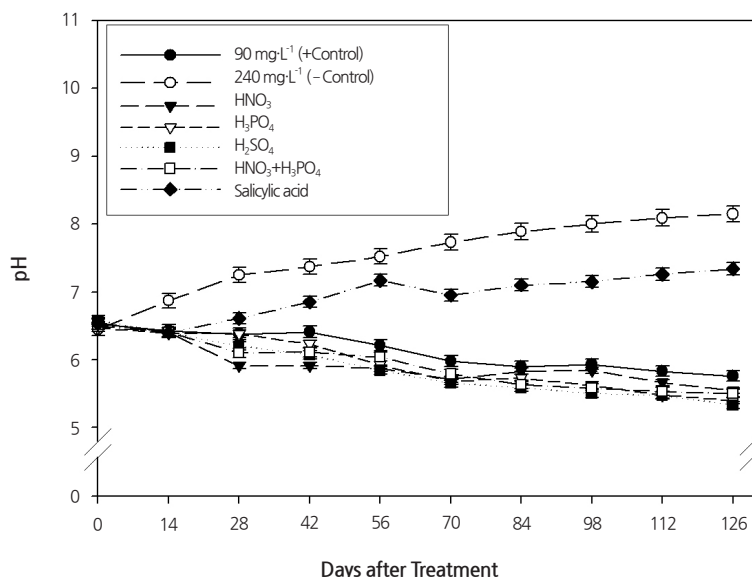


Fig. 4. Changes of pH in soil solution of root media as influenced by the addition of acid into irrigation water during vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry. The treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹. Vertical bars represent standard error of the mean of 5 replications.

Table 3. Influence of the addition of acid into irrigation water on the tissue nutrient contents of 'Seolhyang' strawberry mother plants based on the dry weight of above-ground plant tissue after 126 days of treatment.

Acid treatment ^z	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)					(mg·L ⁻¹)			
90 mg·L ⁻¹ (+Control)	1.68 a ^y	0.36 a	2.79 d	1.78 a	0.48 a	232 b	143 d	50.4 ab	8.88 ab
240 mg·L ⁻¹ (-Control)	0.64 c	0.27 a	3.45 bc	0.77 c	0.32 b	91 c	46 e	26.2 c	4.70 c
HNO ₃	1.70 a	0.39 a	3.52 bc	1.77 a	0.42 ab	280 a	145 d	41.7 abc	7.44 ab
H ₃ PO ₄	1.55 ab	0.38 a	3.76 ab	1.57 ab	0.42 ab	254 ab	183 a	51.6 ab	8.90 ab
H ₂ SO ₄	1.48 ab	0.34 a	3.68 ab	1.63 ab	0.41 ab	259 ab	181 ab	38.4 bc	7.03 b
HNO ₃ +H ₃ PO ₄	1.69 a	0.39 a	4.03 a	1.67 ab	0.49 a	253 ab	172 bc	49.4 ab	9.40 a
Salicylic acid	1.22 b	0.33 a	3.23 c	1.26 b	0.45 a	266 ab	166 c	57.7 a	7.72 ab

^zThe treatment solution of +control and -control contained 90 and 240 mg·L⁻¹ HCO₃⁻, respectively and each of the acids added to the solution of -control lowered the HCO₃⁻ concentration to 60 mg·L⁻¹.

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

-대조구는 고농도 중탄산으로 인해 근권부의 pH가 상승하였으며(Fig. 4), 근권부에 존재하는 Ca과 Mg이 HCO₃⁻ 또는 CO₃⁻² (HCO₃⁻는 pH가 높아질 경우 CO₃⁻²로 변화됨)와 결합하여 Ca(HCO₃)₂, Mg(HCO₃)₂, CaCO₃, 또는 MgCO₃로 변하면서 불용화되었고(Lindsay, 2001; Sposito, 1994), 식물체내 Ca 및 Mg 함량이 감소한 원인이 되었다고 생각한다. Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체내 함량은 산을 혼합한 모든 처리구에서 비슷했으나 -대조구에서 가장 적은 함량으로 분석되었다. -대조구는 고농도 중탄산으로 인해 근권부의 pH가 상승하였고(Fig. 4), 높은 pH에서 미량원소의 불용화가 촉진되어 식물체내 함량이 감소하였지만(Lindsay, 2001; Nelson, 2003; Sposito, 1994), 산을 혼합하여 pH가 낮게 유지되었던 처리들은 이들 원소의 불용화를 방지하여 상대적인 흡수량이 많았다고 판단한다.

중탄산을 중화시키기 위한 목적으로 산 종류를 결정할 때 단일 종류의 산으로 관개수에 존재하는 고농도의 중탄산을 중화시킬 경우 질산, 인산, 황산 등에 포함된 NO_3^- , H_2PO_4^- 또는 SO_4^{2-} 에 의해 무기원소 상호간 길항작용이 발생할 수 있다. 질산을 과도하게 첨가하면 식물체가 도장할 우려가 있고(Choi et al., 2000), 인산의 첨가량이 많으면 Fe, Mn, Zn, 및 Cu 등이 결핍될 수 있으며(Choi et al., 2013), 황산이 과다한 경우 Ca 결핍의 원인이 되므로(Choi et al., 2012) 중탄산이 고농도로 존재할 때 관개수의 무기성분 농도를 고려하여 여러 종류의 산을 혼용하여 중탄산 농도를 낮추는 것이 바람직하다고 판단하였으며 Styer and Koranski(1997)도 유사한 보고를 한 바 있다.

이상의 결과는 '설향' 딸기 모주와 자묘의 생육이 -대조구($240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{HCO}_3^-$) 비해 모든 산 처리구에서 우수하였으며, 특히 질산+인산 처리구의 생육이 가장 우수할 뿐만 아니라, 식물체내 다량 및 미량원소 함량이 높음을 나타낸다. 따라서 영양번식 중인 '설향' 딸기는 질산+인산 처리로 고농도 중탄산 피해를 경감시키는 것이 바람직하다고 판단하였다.

초 록

고농도 중탄산 피해경감을 위한 관개수의 산 혼합이 '설향' 딸기의 영양생장에 미치는 영향을 구명하기 위한 목적으로 본 연구를 수행하였다. 연구목적은 달성하기 위해 중탄산(HCO_3^-) 농도가 $240\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 또는 $90\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 인 Hoagland 용액을 조제하여 -대조구와 +대조구로 삼고, -대조구에 질산, 인산, 황산, 질산+인산, 및 살리실산을 혼합하여 중탄산 농도를 $60\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 낮춘 처리용액을 만들었다. 이후 3엽기인 '설향' 딸기를 정식하여 모주로 삼고 126일 동안 처리하면서 모주 생육과 자묘의 발생 및 생장에 미치는 영향을 조사하였다. 모주의 생체중은 -대조구가 관개수에 산을 혼합한 모든 처리나 +대조구 보다 가벼웠다. -대조구에서 모주당 발생한 자묘수는 13.0개였지만, 질산, 인산, 황산, 질산+인산 및 살리실산 처리구는 각각 19.4, 20.1, 18.6, 22.4, 및 18.9 개체였다. 산을 처리한 경우 -대조구에 비해 발생한 자묘수가 뚜렷하게 많았으며, 특히 질산+인산 처리가 다른 처리들 보다 유의하게 자묘수가 많았다. -대조구와 살리실산 처리구에서 처리 126일 후 근권부의 pH가 각각 8.2와 7.3으로 상승하였지만, 질산, 인산, 황산 및 질산+인산 처리구는 각각 5.5, 5.4, 5.3 및 5.5로 측정되었다. 수확 후 식물체내 Ca 및 Mg 함량은 +대조구, 질산, 인산, 황산, 질산+인산, 살리실산 처리구에서 유사하였지만, -대조구에서 가장 적게 분석되었다. 식물체내 Fe, Mn, Zn, 및 Cu의 함량은 산을 혼합한 처리구에서 비슷했고, -대조구에서는 가장 적었다. 이상의 결과는 관개수에 고농도의 중탄산이 존재하여 피해가 발생할 때 다양한 산을 처리하여 피해를 경감시킬 수 있으며 특히 질산+인산 처리가 영양번식 중인 '설향' 딸기생장 및 자묘 발생에 효과적임을 나타낸다.

추가주요어: 자묘, 생육, 수경재배, pH

Literature Cited

- Benton JJ (2005) Hydroponics: A practical guide for the soilless grower. Ed 2, CRC Press. London
- Chapman HD, Pratt PF (1961) Method of analysis for soil, plants and waters. Univ. of Calif., Div. Agric Sci Berkeley, CA
- Choi JM (1994) Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. Ph.D. Diss. North Carolina State Univ., Raleigh, NC, USA
- Choi JM, Lee HS (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. Korean J Hortic Sci Technol 31:50-55. doi:10.7235/hort.2013.12132
- Choi JM, Latigui A, Lee CW (2013) Visual symptom and tissue nutrient contents in dry matter and petiole sap for diagnostic criteria of phosphorus nutrition for 'Seolhyang' strawberry cultivation. Hortic Environ Biotechnol 54:52-57. doi:10.1007/s13580-013-0130-y
- Choi JM, Nam MH, Lee HS, Kim DY, Yoon MK, Ko KD (2012) Influence of Ca fertilization on the growth and appearance of physiological disorders in mother plants and occurrence of daughter plants in propagation of 'Seolhyang' strawberry through soil

- cultivation. Korean J Hort Sci Technol 30:657-663. doi:10.7235/hort.2012.12028
- Choi JM, Jeong SK, Cha KH, Chung HJ, Seo KS** (2000) Deficiency symptom, growth characteristics, and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry as affected by controlled nitrogen concentration in fertilizer solution. J Kor Soc Hort Sci 41:339-344
- Choi JM, Kim TI, Jeong SK, Yoon MK, Kim DY, and Ko KD** (2010) Causes, diagnosis, and corrective procedures of nutritional disorders in strawberry. Mirae Gihock, Suwon, Korea
- 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
- Hoagland DR, Arnon DI** (1950) The water culture method for growing plants without soil. Univ. of Calif. Agri Exp Sta Circ 347
- Jeong SK** (2008) Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in 'Maehyang' strawberry. PhD Diss., Pai Chai Univ., Daejeon, Korea
- Lindsay WL** (2001) Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press. Caldwell, NJ, USA
- Lee HS** (2015) Effect and management of bicarbonate concentration for the growth and physiological disorders in strawberry seedling production Ph.D. Diss, Chungnam Nat'l Univ., Daejeon, Korea
- Marschner P** (2012) Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Elsevier, NY, USA
- Nelson PV** (2003) Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA
- Peterson JC, Kramer LL** (1991) Water quality. *In* Tips on growing zonal geraniums, Ohio Florists' Association, Columbus, OH, USA, pp 31-33
- Sposito G** (1994) Chemical equilibria and kinetics in soils. Oxford Univ. Press. NY, USA
- Styer RC, DS Koranski** (1997) Plug & transplant production: a growers guide. Ball Publishing. Batavia, IL, USA
- Warncke PD** (1986) Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225