

Research Report

생리적 반응이 다른 비료 종류가 '설향' 딸기의 영양생장에 미치는 영향

이희수¹, 장현호¹, 최종명^{1*}, 김대영²¹충남대학교 농업생명과학대학 원예학과²국립원예특작과학원 채소과

Influence of Fertilizer Type on Physiological Responses during Vegetative Growth in 'Seolhyang' Strawberry

Hee Su Lee¹, Hyun Ho Jang¹, Jong Myung Choi^{1*}, and Dae Young Kim²¹Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea²Vegetable Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 440-706, Korea

Abstract: Objective of this research was to investigate the influence of compositions and concentrations of fertilizer solutions on the vegetative growth and nutrient uptake of 'Seolhyang' strawberry. To achieve this, the solutions of acid fertilizer (AF), neutral fertilizer (NF), and basic fertilizer (BF) were prepared at concentrations of 100 or 200 mg·L⁻¹ based on N and applied during the 100 days after transplanting. The changes in chemical properties of the soil solution were analysed every two weeks, and crop growth measurements as well as tissue analyses for mineral contents were conducted 100 days after fertilization. The growth was the highest in the treatments with BF, followed by those with NF and AF. The heaviest fresh and dry weights among treatments were 151.3 and 37.8 g, respectively, with BF 200 mg·L⁻¹. In terms of tissue nutrient contents, the highest N, P and Na contents, of 3.08, 0.54, and 0.10%, respectively, were observed in the treatment with NF 200 mg·L⁻¹. The highest K content was 2.83%, in the treatment with AF 200 mg·L⁻¹, while the highest Ca and Mg were 0.98 and 0.42%, respectively, in BF 100 mg·L⁻¹. The AF treatments had higher tissue Fe, Mn, Zn, and Cu contents compared to those of NF or BF when fertilizer concentrations were controlled to equal. During the 100 days after fertilization, the highest and lowest pH in soil solution of root media among all treatments tested were 6.67 in BF 100 mg·L⁻¹ and 4.69 in AF 200 mg·L⁻¹, respectively. The highest and lowest ECs were 5.132 dS·m⁻¹ in BF 200 mg·L⁻¹ and 1.448 dS·m⁻¹ in BF 100 mg·L⁻¹, respectively. For the concentrations of macronutrients in the soil solution of root media, the AF 200 mg·L⁻¹ treatment gave the highest NH₄ concentrations followed by NF 200 mg·L⁻¹ and AF 100 mg·L⁻¹. The K concentrations in all treatments rose gradually after day 42 in all treatments. When fertilizer concentrations were controlled to equal, the highest Ca and Mg concentrations were observed in AF followed by NF and BF until day 84 in fertilization. The BF treatments produced the highest NO₃ concentrations, followed by NF and AF. The trends in the change of PO₄ concentration were similar in all treatments. The SO₄ concentrations were higher in treatments with AF than those with NF or BF until day 70 in fertilization. These results indicate that compositions of fertilizer solution should to be modified to contain more alkali nutrients when 'Seolhyang' strawberry is cultivated through inert media and nutri-culture systems.

Additional key words: dry weight, EC, fresh weight, pH, tissue analysis

서 언

작물을 재배하면서 식물에 영양을 주기 위하여 또는 토양

의 화학적 변화를 유발할 목적으로 공급하는 비료는 그 조성에 따라 산성(acid fertilizer), 중성(neutral fertilizer) 및 알칼리성(basic fertilizer)으로 반응이 달라진다. 이러한 반응은

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 17 February 2014; Revised 29 September 2014; Accepted 10 October 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.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

비료를 물에 용해시켰을 때 나타나는 화학적 반응과 시비한 비료가 근권부에서 용해된 후 반응을 일으키고 식물이 흡수한 양·음이온의 종류와 양이 달라져 토양산도가 변화되는 생리학적 반응으로 구분할 수 있다(Lim, 2005).

Nelson(2003)에 의하면 작물 재배 중 근권부의 pH 변화가 유발되는 요인은 작물의 흡비 특성, 관개수의 중탄산 농도, 비료의 조성 그리고 상토의 종류 등으로 열거하였으며, 정상적인 생장이 이루어지는 한 pH는 변할 수밖에 없다고 하였다. 따라서 배지경 양액재배를 할 때 근권부의 pH가 약 5.5-6.5를 유지할 경우 보편적인 작물의 생장이 우수하며(Nelson, 2003), 이 범위를 벗어날 경우 pH를 낮추거나 높이기 위해 비료의 조성을 변화시켜야 한다.

양액재배를 하는 많은 농가에서는 모든 필수원소가 포함된 비료를 두 개 이상의 탱크에 침전이 발생하지 않도록 분리하여 용해시켜 100배 이상의 농축액을 만들고, 관비하는 동안 이들 용액이 적절한 비율로 원수와 혼합되도록 희석하여 작물에 추비한다. 일부 농가에서는 농축액을 만드는 과정의 번거로움을 피하고, 작물 성장상태에 따라 비료의 조성을 쉽게 바꿀 수 있도록 상업적으로 조제된 복합비료를 적절한 비율로 용해시켜 작물에 추비한다. 복합비료는 질소(요소, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$), 인산(P_2O_5), 칼리(K_2O)의 비율 위주로 포장지에 표기한다.

복합비료의 N, P 및 K의 비율을 조절하는 과정에서 알칼리성 비료는 조성상 황의 농도가 매우 낮거나 없으며, 총 질소 중 NO_3 의 비율이 높고 Ca과 Mg이 고농도로 존재하나, 산성비료에는 조성상 황을 포함하고 총 질소 중 NH_4 나 요소 태질소의 비율이 높다. 이들 성분들의 조성에 따라 산성, 중성 및 알칼리성 비료로 생리적인 반응이 달라지고, 작물 재배 중 근권부의 화학성과 작물 생육이 비료 종류에 따라 큰 영향을 받는다.

딸기는 다른 과채류에 비해 내염성이 약하여 시기별 비료의 적정 농도 및 종류가 매우 중요한데, 화학적으로 불안정한 경우 관부에서 신생 뿌리의 발생이 저조하기 때문에 배지가 화학적으로 안정적이어야 하고 적정 양분 공급 또한 원활하여야 한다(Udagawa et al., 1988). 그러므로 작물의 영양상태를 적절한 수준으로 유지 및 관리하기 위해서는 품종의 양분 흡수 특성을 잘 파악해야 하며, 양분 흡수 특성에 적합한 시비가 이루어지기 위해서는 수시로 식물체의 영양진단을 실시하여 교정시비 하는 것이 바람직하다(Saikoku and Sanho, 1995). 품종적인 특성에서도 ‘설향’ 딸기는 NH_4 나 K 등 1가 양이온의 흡수량이 많고, ‘매향’ 등 다른 딸기

품종보다 근권부의 pH를 산성쪽으로 변화시키는 독특한 특성을 갖는다(Choi et al., 2011, 2013).

그러므로 생리적으로 산성, 중성 또는 알칼리성 비료 등 화학적 반응이 다른 비료를 시비하여도 작물 자체의 흡비 특성에 따라 근권부의 화학적 반응이 달라질 수 있지만 관련 연구가 충분히 수행되지 않았다.

따라서 본 실험은 ‘설향’ 딸기에 생리적 반응이 다른 비료를 시비했을 때 작물생장에 미치는 영향을 구명하여, ‘설향’ 재배 시 시비체계를 확립하는 기초자료를 확보하고자 수행하였다.

재료 및 방법

피트모스와 펄라이트를 7:3(v/v)의 비율로 혼합한 상토를 조제하는 과정에서 pH 조절과 Ca 및 Mg 공급을 위해 백운석계 고토석회[CaMg(CO₃)₂]를 상토 1kg당 50g의 비율로 혼합하였고, 조제된 상토는 플라스틱 포트(용적 1,600mL)에 충전하였다. 이후 조직배양한 후 순화되고 저온처리를 한 상태의 ‘설향’ 딸기 모주를 확보하여 준비된 포트에 정식하였다.

생리적 반응이 산성, 중성 및 알칼리성으로 다른 세 종류의 비료는 Argo and Biernbaum(1996)의 방법에 준해 조제하였다(Table 1). 조제된 세 종류 비료 용액의 미량원소 농도는 미량원소복합제(Nutrichem Kombi-F, NU3 N.V., Industrieweg 20 B-2280 Grobbendonk, Belgium)를 용해시켜 동일하게 조절하였으며 용해된 미량원소의 농도($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)는 Fe 2, Mn 0.5, Zn 0.05, Cu 0.02, B 0.05, Mo 0.01였다. 모든 처리용액은 증류수를 원수로 사용했으며, 비료용액 6처리, 각 처리당 5반복, 그리고 각 반복당 4식물체로, 총 120포트를 배치하였다.

정식 후 50일간 중성비료 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비함으로써 모든 식물체가 동일한 환경조건에 노출될 수 있도록 하였고, 이 기간 동안 근권부의 pH는 약 6.0-6.3으로 조절되었다. 이후 각 식물체는 신엽을 기준으로 3매만 남긴 채 하위엽을 모두 제거하고, 100일간 조성된 처리용액을 시비 하였다. 시비 시작 후 50일까지는 2일 또는 3일 간격으로 매주 3회, 지상부 성장량이 많아진 시비 50일 이후에는 매주 4회 시비하였다. 그러나 시비 50일부터 80일까지 농도를 변화시킨 세 종류 비료로 시비하다가 근권부의 염 농도가 과도하게 높아진다고 판단하여 50%로 농도를 낮추어 95일까지 시비하였다. 매 시비 시 총 시비된 용액의 40%가 배수되도록 배수율을 조절하였고, 작물 성장 중 발생하

는 꽃자루와 런너는 수시로 제거하였다.

본 실험은 유리온실에서 수행하였으며 재배기간 중 시설내 온도는 주간 20°C, 야간 9°C이었고, 상대습도 50-70%, 평균일장 15-h, 그리고 광합성유효광양자속은 434-642 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다.

시비 시작 후부터 100일까지 매 2주 간격으로 근권부 화학성을, 100일 후에 작물의 지상부 생육을 조사한 후 식물체를 수확하여 무기원소 함량을 분석하였다. 분석 전 식물체를 0.01N HCl 용액에 침지한 후 증류수로 수세하여 식물체의 잎에 묻어 있는 이물질을 제거하고, 75°C의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 0.9mm제(20mesh screen)를 통과하도록 분쇄하였다. 분쇄된 식물체는 Choi(1994)의 방법으로 회화 및 무기물 함량을 분석하였다. 토양용액은 압착법(Warncke, 1986)으로 채취한 후 pH와 EC(EC/pH Meter WM-22EP DKK-TOA, Japan)를 측정하였고, Ion chromatography(Waters 432 conductivity director, Younglin, Seoul, Korea)를 사용하여 NH_4 , Mg, K, Na, Ca, NO_3 , PO_4 , SO_4 등 무기원소 농도

변화를 분석하였다. 지상부 생육조사를 위한 전반적인 방법은 Choi et al.(2008)의 방법을 따랐다.

통계분석은 Costat 통계프로그램(v. 6.3; Monterey, CA)을 이용하여 던컨다중검정을 하였다.

결과 및 고찰

관비용액의 조성 및 농도에 영향을 받은 ‘설향’ 딸기의 지상부 생장을 시비 100일 후 조사하여 Table 2에 나타내었다. 동일한 농도로 시비한 경우 산성비료를 시비한 처리의 생체중 및 건물중이 가장 가벼웠고, 알칼리비료를 시비한 처리가 가장 무거웠으며, 알칼리비료를 200 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리는 생체중과 건물중이 식물체당 151.3g과 37.8g으로 가장 무거웠다. 초장, 엽수 및 관부직경 등도 유사한 경향을 보였다.

비료의 종류에 따라 성장반응이 뚜렷한 차이를 보인 것은 딸기 품종의 흡비 특성에서 원인을 찾을 수 있었다. ‘설향’

Table 1. Compositions of treatment solutions used to investigate influences on growth and nutrient uptake of ‘Seolhyang’ strawberry².

Treatments ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	NH_4 -N	NO_3 -N	PO_4 -P	K ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ca	Mg	SO_4 -S	pH	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)
Acid 100	50	50	10	100	0	0	21	7.36	1.12
Neutral 100	25	75	10	100	25	12.5	17.5	6.21	1.12
Basic 100	3	97	10	100	50	25	1.5	5.81	1.17
Acid 200	100	100	20	200	0	0	42	7.45	1.98
Neutral 200	50	150	20	200	50	25	35	5.69	1.96
Basic 200	6	194	20	200	100	50	3	5.49	2.08

²All treatment solutions contained equal amount of micronutrients ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$): Fe 2, Mn 0.5, Zn 0.05, Cu 0.02, B 0.05, Mo 0.01.

Table 2. Influence of the compositions and concentrations of fertilizer solution on the growth characteristics of ‘Seolhyang’ strawberry 100 days after fertigation.

Treatments ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	No. of leaves	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Acid 100	39.3 b ^z	38.0 a	58.2 c	27.4 c	3.50 d	41.3 c	97.1 d	22.9 e
Neutral 100	40.0 b	37.5 a	67.2 bc	28.0 bc	5.30 b	45.4 a	117.3 c	28.0 d
Basic 100	41.5 b	34.0 bc	79.2 a	26.0 c	5.00 b	42.0 c	138.0 b	32.7 c
Acid 200	35.5 c	32.5 c	66.0 bc	23.5 d	4.25 c	45.1 a	88.0 e	18.9 f
Neutral 200	45.3 a	38.5 a	63.6 c	31.3 a	6.25 a	43.5 b	145.5 ab	35.5 b
Basic 200	46.0 a	36.5 ab	75.0 ab	29.5 ab	5.25 b	41.4 c	151.3 a	37.8 a

^zMean separation by Duncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$. Values followed by the same letter within columns are not significantly different.

딸기는 음이온보다 양이온의 흡수량이 많으며(Choi et al., 2010), 식물체가 양이온을 흡수할 경우 식물의 뿌리로부터 H⁺ 이온이 방출되어 근권부의 pH를 산성쪽으로 변화시킨다 (Waisel et al., 2002). 따라서 산성비료를 ‘설향’ 딸기에 시비한 경우 중성 또는 알칼리성 비료를 시비한 처리보다 근권부의 pH를 더욱 산성쪽으로 변화시키고, 산성화에 의한 근권부 Ca 및 Mg의 불용화(Lindsay, 2001; Nelson, 2003)에 따른 흡수량 저하가 생장이 저조한 원인이 되었다고 사료되었다. 본 연구에서도 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 동일한 시비농도를 적용한 경우 산성비료를 시비한 처리의 근권부 pH가 가장 낮았고, 동일한 비료일 경우 100mg·L⁻¹보다 200mg·L⁻¹로 시비한 처리에서 더 낮았으며, 비료의 종류와 농도에 따라 근권부 pH가 다르게 변하고, 작물의 성장에도 영향을 미

쳤다고 판단할 수 있었다.

시비 100일 후 지상부 전체를 수확하여 무기물 함량을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 100mg·L⁻¹으로 시비한 처리들보다 200mg·L⁻¹으로 시비한 처리들의 질소 함량이 높았으며, 동일한 농도를 적용한 처리들 중 중성비료를 시비한 처리의 질소 함량이 높았다. 인산함량은 세 종류 비료를 100mg·L⁻¹으로 시비한 처리들 보다 200mg·L⁻¹로 시비한 처리들에서 높았고, 동일한 시비농도에서는 산성이나 중성 비료를 시비한 처리들이 알칼리성 비료를 시비한 처리들 보다 높았다. 이와 같이 식물체 내 인산함량에서 차이가 발생한 것은 비료의 조성과의 관련성에 따른 근권부 pH 변화에서 원인을 찾을 수 있다. Nelson(2003)과 Lindsay(2001)는 근권부의 pH가 알칼리로 변할 경우 Ca 또는 Mg의 가용화가 촉진되

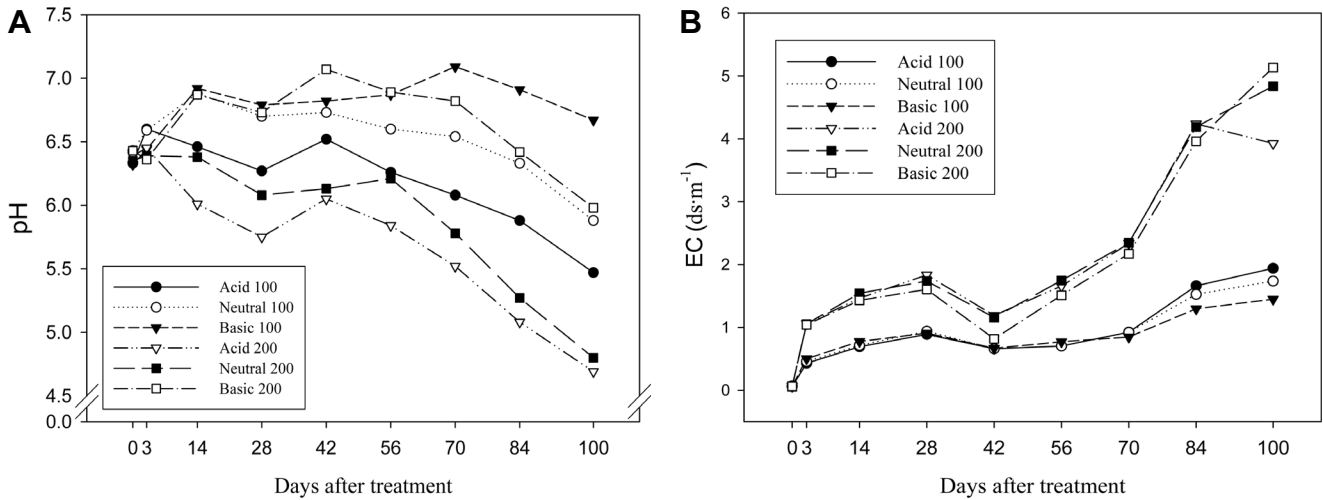


Fig. 1. Changes of pH (A) and EC (B) in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of ‘Seolhyang’ strawberry.

Table 3. Influence of the compositions and concentrations of fertilizer solution on tissue nutrient contents of ‘Seolhyang’ strawberry based on whole above ground plant tissue collected at 100 days after fertigation.

Treatments (mg·L ⁻¹)	T-N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)				(mg·kg ⁻¹)					
Acid 100	2.27 c ^z	0.35 c	2.74 ab	0.32 c	0.26 c	0.05 bc	136 b	85.2 c	26.2 b	3.5 bc
Neutral 100	2.65 b	0.34 c	2.56 c	0.78 b	0.37 b	0.04 c	116 bc	42.9 d	25.2 b	4.7 b
Basic 100	2.05 d	0.20 d	1.83 d	0.98 a	0.42 a	0.06 b	94 cd	20.3 f	19.2 d	2.9 c
Acid 200	2.53 b	0.45 b	2.83 a	0.73 b	0.36 b	0.09 a	221 a	395.7 a	29.5 a	6.4 a
Neutral 200	3.08 a	0.54 a	2.57 bc	0.80 b	0.36 b	0.10 a	99 cd	279.3 b	29.3 a	7.2 a
Basic 200	2.61 b	0.44 b	2.54 c	0.82 b	0.41 a	0.06 b	88 d	32.4 e	21.7 c	4.9 b

^zMean separation by Duncan’s multiple range test at *p* ≤ 0.05. Values followed by the same letter within columns are not significantly different.

고 이들과 결합하여 불용화되는 인산량이 증가함으로써 식물체 흡수량 저하의 원인이 된다고 하였다. 본 연구의 비료 조성에서 알칼리성 비료의 경우 Ca과 Mg의 농도가 높았고 (Table 1), 산성비료를 시비한 처리들의 pH가 낮은 것으로 미루어(Fig. 1), 비료조성에 따른 식물체 내 인산함량의 변화가 발생한 원인을 판단할 수 있었다.

식물체 내 K 함량은 산성 비료에서 높고 알칼리성 비료를 시비한 처리에서 낮았으며, 100mg·L⁻¹보다 200mg·L⁻¹으로 시비한 처리에서 높았다. Table 1에 나타낸 바와 같이 중성 및 알칼리성 비료는 Ca과 Mg의 농도가 높았으며, 흡수 과정에서 양이온간 길항작용이 발생하여 중성 및 알칼리성 비료를 시비한 처리의 K 함량이 낮아진 원인이 되었다고 판단하였다. Marschner(1995) 및 Sonneveld and Voogt(2009)은 작물을 재배할 때 특정성분의 농도를 높여도 전체 흡수한 총 양이온의 양은 큰 차이를 보이지 않으며, 특정성분의 흡수량 증가는 다른 성분의 흡수량이 저하되는 원인이 된다고 길항작용을 설명하였다. 본 연구 결과도 그들이 보고한 내용과 유사하였다고 판단하였다.

식물체의 Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량은 산성비료를 시비한 처리에서 높았고, 알칼리성 비료를 시비한 처리에서 뚜렷하게 낮았다. ‘설향’ 딸기에 산성비료를 200mg·L⁻¹으로 조절하여 시비한 경우 pH가 4.69까지 낮아졌으나, 알칼리 비료를 100mg·L⁻¹으로 조절하여 시비한 경우 pH가 6.67로 측정되었다. 이와 같이 낮은 pH에서 이들 금속원소의 가용화가 촉진되어(Lindsay, 2001; Nelson, 2003; Sonneveld and Voogt, 2009) 흡수량이 증가했으며, pH가 높아질수록 불용화가 촉진되어 흡수량이 감소하였다고 판단하였다.

산성 비료를 100mg·L⁻¹이나 200mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 경우 신엽의 선단부가 마르면서 기형으로 변하는 현상이 발생하였다. 또한 하위엽의 엽맥 사이가 흑변하는 현상이 발현된 후 점차 황변하는 증상도 관찰되었다. Choi et al.(2010)과 Choi et al.(2013)이 보고한 바와 같이 신엽의 선단부가 마르면서 기형으로 변하는 현상은 Ca 결핍증상, 하위엽의 엽맥사이가 흑변한 후 점차 황변하는 현상은 Mg 결핍 증상이라고 판단하였다. 이와 같이 중성 또는 알칼리성 비료 보다 산성 비료를 시비한 처리에서 Ca 및 Mg 결핍 증상이 심하게 발현되었으며, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 근권부의 pH가 산성으로 변하고, 근권부의 Ca과 Mg이 불용화되어 흡수량 저하와 Ca 및 Mg 결핍증상 발현의 원인이 되었다고 사료된다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003). 알칼리 100 및 200mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 처리들에서 완

전히 전개된 신엽 부위가 앞 또는 뒤로 말리거나 구부러지는 현상이 발생하였다. 이는 Choi et al.(2012)이 보고한 바와 같이 붕소 결핍증상이라고 판단하였다.

산성 비료 100 및 200mg·L⁻¹, 그리고 중성 비료 200mg·L⁻¹으로 시비한 처리는 근권부의 pH가 지속적으로 낮아졌다 (Fig. 1). 이는 Waisel et al.(2002)와 Marschner(1995)이 보고한 바와 같이 양이온을 흡수하는 과정에서 뿌리로부터 용출되어 근권부에 존재하는 H⁺ 이온의 양이 증가하였기 때문이라고 판단하였다. 배지경 양액재배에서 근권부의 pH가 약 5.5-6.5를 유지할 경우 보편적인 작물의 생장이 우수하며 (Nelson, 2003), 산성 비료를 시비한 처리는 과도하게 근권부 pH가 낮았고 pH를 높이기 위해 비료의 조성을 변화시켜야 할 것으로 판단하였다.

근권부의 EC는 시비 56일 후까지 모든 처리에서 2.0dS·m⁻¹ 이하로 측정되었지만, 70일 이후 세 종류 비료를 200mg·L⁻¹으로 시비한 처리들에서 2.0dS·m⁻¹ 이상으로 높아졌다. 특히 시비 84일과 100일 후에는 4.0dS·m⁻¹ 이상으로 과도하게 높아졌고, 이러한 현상이 염류 과잉 피해가 발생한 원인이 되었다고 판단한다. 따라서 매 시비 시 배수율을 높혀 근권부의 무기염을 씻어내거나, 시비 농도를 낮추는 것이 바람직하다고 판단하였다.

비료의 조성 및 농도를 변화시켜 ‘설향’ 딸기를 관비재배 하면서 시비 후 100일까지 근권부의 양이온 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 근권부의 K 농도는 시비 14일과 28일째에 높아진 후 42일 후 낮아졌다가 다시 지속적으로 상승하는 경향을 보였다. 비료를 100mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 경우 중성과 알칼리성 비료를 시비한 처리에서 100mg·L⁻¹ 이하로 유지되었다. 200mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 경우 세 종류 비료 모두 시비 100일 후 325-385 mg·L⁻¹의 범위에 포함되었다.

근권부 Ca 및 Mg 농도는 재배 후반기로 갈수록 세 종류 비료를 100mg·L⁻¹으로 조절한 처리들에서 200mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 처리들보다 뚜렷하게 낮았고, 시비 84일 후 까지는 알칼리성 비료를 시비한 처리의 Ca 및 Mg 농도가 가장 낮고, 산성 비료에서 가장 높았다. 시비 후반기에 알칼리성 비료를 시비한 처리들에서 Ca 및 Mg 농도가 낮아진 것은 Lindsay(2001)가 보고한 바와 같이 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 변하면서 불용화되어 식물체 내 Ca 및 Mg 함량이

감소한 원인이 되었다고 생각한다. 본 연구에서도 시비 84 일까지는 알칼리성 비료를 시비한 처리의 근권부 Ca 및 Mg 농도와 인산의 농도가 낮아져(Figs. 2 and 3) Lindsay(2001)

가 보고한 내용을 뒷받침하고 있다고 판단하였다.

세 종류 비료를 100mg·L⁻¹으로 농도를 조절하여 시비한 처리들의 NO₃ 농도는 모두 비슷한 경향을 보이며 변하였

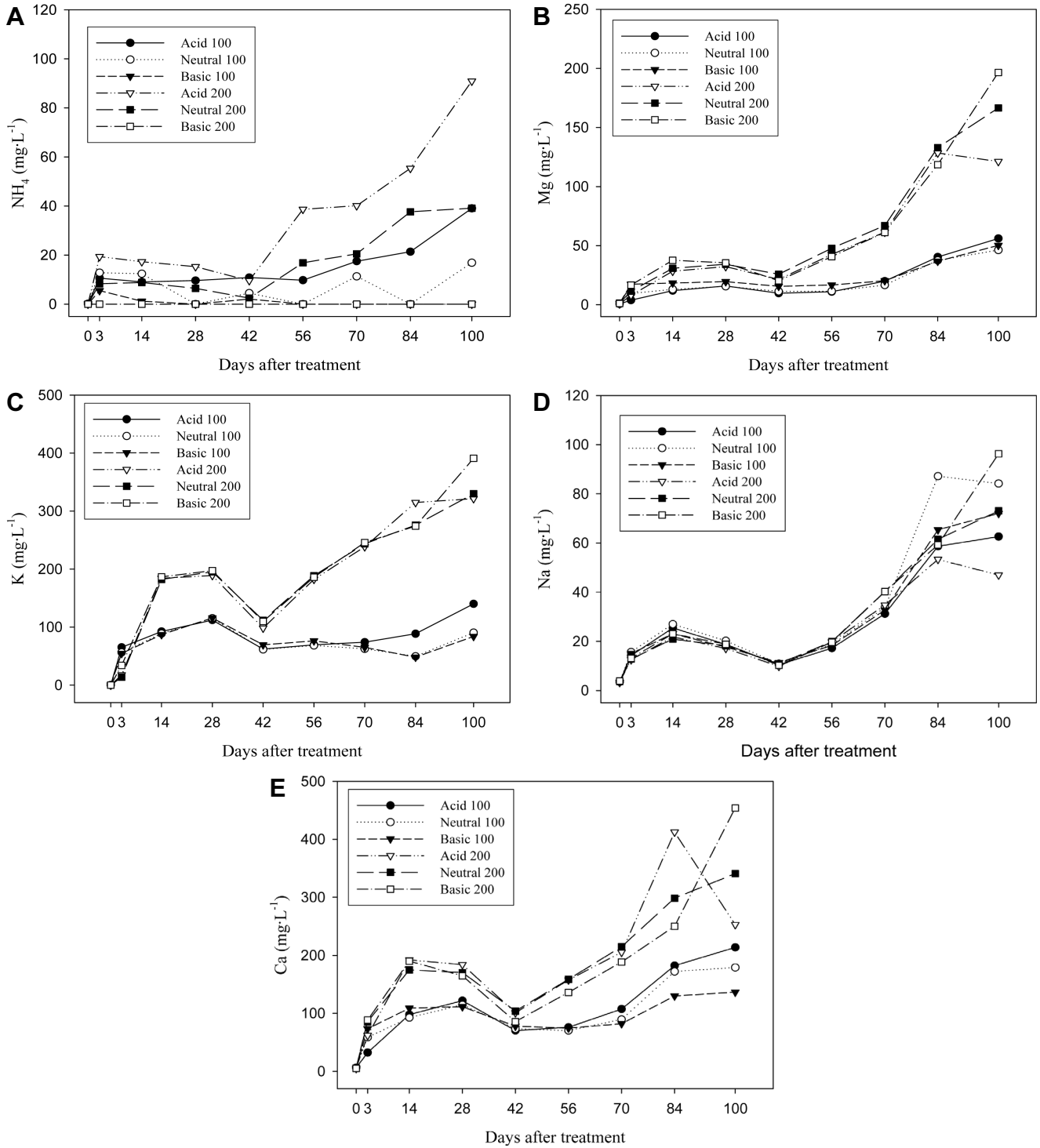


Fig. 2. Changes in the concentrations of macro-cations in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of 'Seolhyang' strawberry (A, NH₄⁺-N; B, Mg²⁺; C, K⁺; D, Na⁺; E, Ca²⁺).

고, 시비 56일 후부터 완만하게 상승하는 경향이었으며, 시비 100일 후 약 $700\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 분석되었다(Fig. 3). 세 종류 비료를 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 경우 처리 56일 후부터 근권부 NO_3^- 농도가 급격히 상승하였으며, 지상부 생장량과 흡비량이 다른 과채류 보다 적은 딸기에서 적정영역(Choi et al., 2010; Sonneveld and Voogt, 2009) 보다 과도하게 높아 시비농도를 낮추어야 할 것으로 판단하였다.

인산 농도는 산성 및 중성을 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 처리보다 알칼리 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 처리의 인산 농도가 낮았으며 앞에서 설명한 바와 같이 Ca 및 Mg과 결합하여 불용화 된 인산의 양이 증가했기 때문이라고 판단한다(Lindsay, 2001). 산성 비료를 시비한 처리의 근권부 SO_4^{2-} 농도가 중성이나 알칼리성 비료

를 시비한 처리들보다 높았으며, 이는 비료의 조성상 산성 비료들의 SO_4 농도가 높았던 것이 원인이 되었다고 판단한다. 근권부의 SO_4 농도 역시 Sonneveld and Voogt(2009)이 설정한 영역보다 높았으며, 시비농도를 낮추거나 용탈률을 높이는 조치가 수반되어야 할 것으로 판단하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. 혼합상토 조제과정에서 pH 상승을 목적으로 고토석회화 혼합되고 Ca 및 Mg의 공급원 역할을 하지만 산성비료를 시비한 경우 근권부의 pH가 과도하게 낮아졌고 지상부 생장량 저하와 Ca 및 Mg 흡수량이 감소한 원인이 되었다. 따라서 영양생장 중인 ‘선향’ 딸기 재배를 위한 시비는 산성비료보다 알칼리성 비료가 바람직하며, 양액 관비재배의 경우에도 생리적인 알칼리성이 되도록 조성을 변화시켜야 한다고 생각한다.

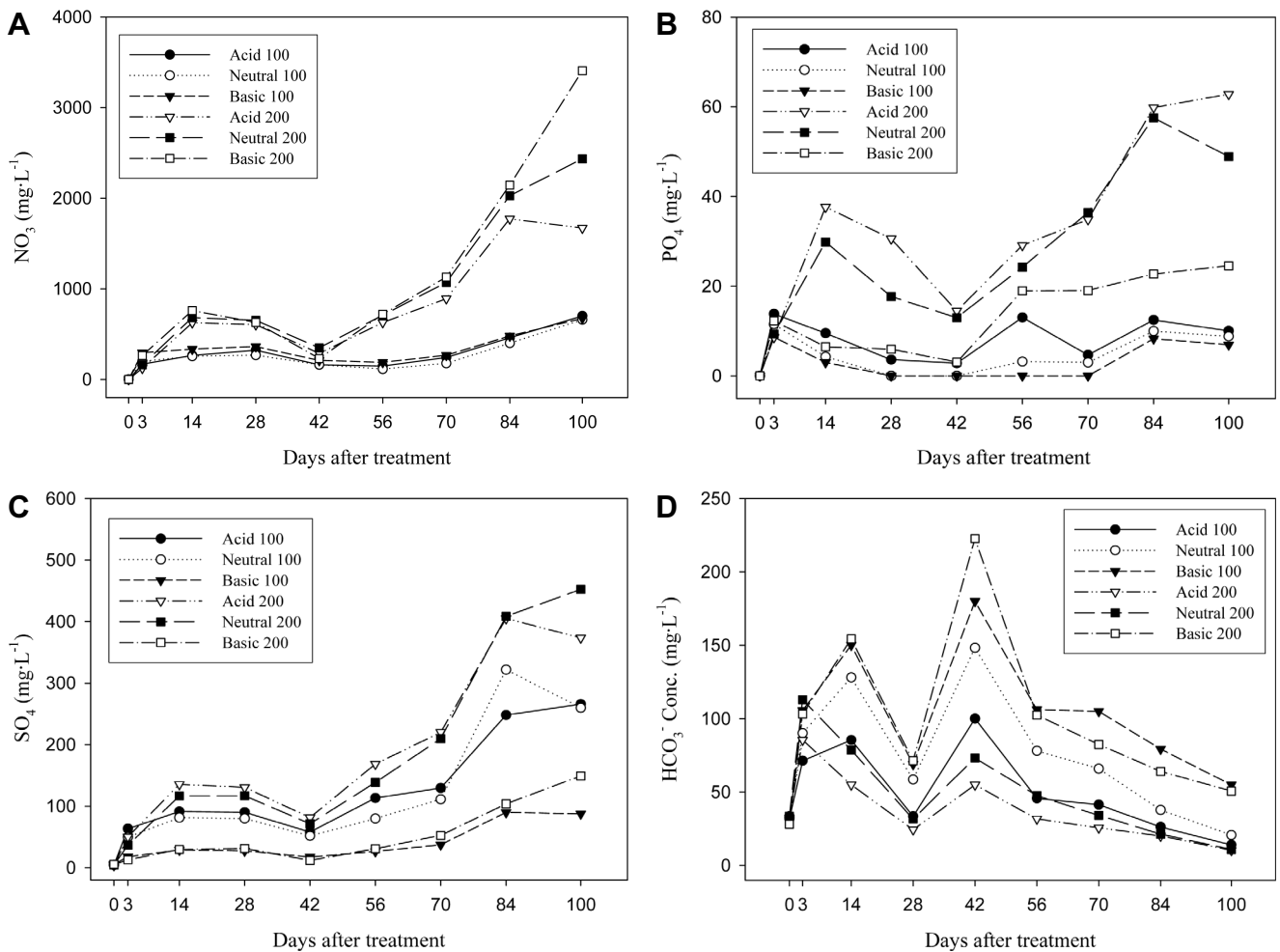


Fig. 3. Changes in the concentrations of macro-anions in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of ‘Seolhyang’ strawberry (A, NO_3^- ; B, PO_4^{3-} ; C, SO_4^{2-} ; D, HCO_3^-).

초 록

‘설향’ 딸기를 재배하는 동안 비료의 종류와 농도를 변화시켜 시비하고 작물 성장과 양분 흡수량 변화에 미치는 영향을 구명하여 시비를 위한 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다. 증류수를 원수로 산성, 중성 및 알칼리성 비료를 조제한 후 N 농도를 기준으로 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 및 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 그리고 처리용액의 pH를 약 6.0-6.3으로 조절하여 100일간 시비하였다. 동일한 시비농도에서 시비 100일 후 ‘설향’ 딸기의 생체중 및 건물중은 산성비료를 시비한 처리가 가장 가벼웠고 알칼리비료 처리가 무거웠다. 또한 알칼리비료의 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 보다 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리의 생체중과 건물중이 더 무거웠다. 식물체 무기원소 함량을 분석한 결과 N, P 및 Na은 중성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 3.08, 0.54 및 0.10%로, K은 산성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 2.83%로, Ca과 Mg은 알칼리비료 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 0.98 및 0.42%로 다른 처리들보다 유의하게 식물체 내 함량이 높았다. Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량은 산성비료를 시비한 처리에서 높았고, 알칼리비료를 시비한 처리에서 뚜렷하게 낮았다. 근권부 pH는 산성비료 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 및 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 그리고 중성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리에서 지속적으로 낮아졌다. 근권부 무기원소 농도는 산성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 중성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 그리고 산성비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리 순으로 NH_4 농도가 낮아졌다. 근권부 K 농도는 시비 42일 후부터 모든 처리에서 지속적으로 상승하였으며, Ca 및 Mg 농도는 시비 84일 후 까지는 알칼리비료를 시비한 처리의 농도가 가장 낮고 중성 비료 및 산성 비료 순으로 높아지는 경향이였다. NO_3 는 산성비료에서 낮았고, 중성 및 알칼리비료의 순으로 높아졌다. 세 종류 비료를 동일한 농도로 시비한 경우 PO_4 농도가 유사한 경향을 보이며 변화하였고, SO_4 은 시비 70일 후까지 산성 비료가 중성이나 알칼리성 비료를 시비한 처리들보다 높았다. 이상의 연구결과는 ‘설향’ 딸기 재배에서 알칼리성 비료를 시비해야 함을 의미하며, 알칼리 원소의 농도가 상승하도록 관비용액의 조성을 변화시켜야 한다고 판단하였다.

추가 주요어 : 건물중, EC, 생체중, pH, 식물체 분석

인용문헌

Argo, W.R. and J.A. Biernbaum. 1996. The effect of lime, irrigation-water source, and water-soluble fertilizer on root-zone pH, electrical conductivity, and macronutrient management

of container root media with impatiens. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121:442-452.

Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. PhD Diss., North Carolina State Univ., Raleigh.

Choi, J.M., A. Latigui, and C.W. Lee. 2011. Growth and nutrient uptake responses of ‘Seolhyang’ strawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen in nutrient solution culture using inert media. Afr. J. Biotechnol. 10:12567-12574.

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 for ‘Seolhyang’ strawberry cultivation. Hort. Environ. Biotechnol. 54:52-57.

Choi, J.M., S.K. Jeong, and K.D. Ko. 2008. Influence of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios in fertigation solution on appearance of ammonium toxicity, growth and nutrient uptake of ‘Maehyang’ strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:223-229.

Choi, J.M., M.H. Nam, and D.Y. Kim. 2012. Characterization of toxicity symptom and determination of tissue threshold levels of boron for diagnostic criteria in domestically bred strawberries. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:144-151.

Choi, J.M., T.I. Kim, S.K. Jeong, M.K. Yoon, D.Y. Kim, and K.D. Ko. 2010. Causes, diagnosis, and corrective procedures of nutritional disorders in strawberry. Mirae Gihock, Suwon, Korea.

Lim, S.W. 2005. Fertilizers. Ilsinsa, Seoul, 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, N.J.

Saikoku, K. and T.S. Sanho. 1995. Nutritional physiology and fertilization of floral crops. Rural Culture Association. Tokyo, Japan.

Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, London.

Udagawa, Y., C. Dogi, and H. Aoki. 1988. Studies on the practical use of nutrient film technique in Japan. (3) Concentration of nutrient solution and quality of strawberry seedlings. Bull. Chiba Agr. Exp. Stn. 29:37-47.

Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi. 2002. Plant roots: The hidden half. 3rd ed. Marcel Dekker, Inc. New York.

Warncke, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 21:223-225.