

Research Report

비료의 조성 및 농도가 영양생장 중인 ‘매향’ 딸기의 생장, 양분흡수 및 근권환경 변화에 미치는 영향

장현호¹, 이희수¹, 이치원², 최종명^{1*}

¹충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

²노스다코타 주립대학교 식물과학과

Influence of the Composition and Concentration of Fertilizer Solution on Growth and Nutrient Uptake of ‘Maehyang’ Strawberry during Vegetative Growth

Hyun Ho Jang¹, Hee Su Lee¹, Chiwon W. Lee², and Jong Myung Choi^{1*}

¹Department of Horticultural Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Plant Sciences, North Dakota State University, Fargo, ND 58108, USA

Abstract: We quantified the effects of the composition and concentration of fertilizer solutions on the growth and nutrient uptake of ‘Maehyang’ strawberry at the vegetative growth stage. Acid fertilizer (AF), neutral fertilizer (NF), and basic fertilizer (BF) with concentrations of 100 or 200 mg·L⁻¹ based on N, were formulated and applied during the 100 days after transplanting, at which point crop growth and tissue nutrient contents were analyzed. The soil solutions were sampled every two weeks to measure the pH, EC and nutrient concentrations. BF was a more effective fertilizer compared to AF and NF for growth of ‘Maehyang’ strawberry when fertilizer concentrations were controlled to 100 mg·L⁻¹. By contrast, the fresh and dry weights were greatest in the NF treatment when fertilizer concentrations were controlled to 200 mg·L⁻¹. The tissue contents of N, P, and Na were 2.20, 0.51 and 0.10%, respectively, in the NF 200 treatment, and these were the highest among all treatments tested. The highest contents of K, Ca and Mg were 2.60% in AF 200, 0.95% in BF 200 and 0.45% in BF 100, respectively. During the fertilization period, the highest and lowest pHs were 6.13 in BF 100 and 4.92 in AF 200. The lowest EC was 1.376 dS·m⁻¹ in BF 100 and the highest was 4.936 dS·m⁻¹ in NF 200 treatments. The highest NH₄⁺ concentrations in the soil solution occurred during the AF 200 treatment, followed by those with NF 200 and AF 100. When fertilizer concentrations were equal, AF treatment gave rise to the highest Ca⁺² and Mg⁺² concentrations, followed by NF and BF, until day 84 of fertilization. The BF treatments had the highest NO₃⁻ concentrations followed by NF and AF. The trends for PO₄⁻³ concentrations were similar in all fertilizer treatments when the fertilizer concentrations were equal. The above results indicate that neutral and basic fertilizers were most effective to promote ‘Maehyang’ strawberry growth when fertilizer solutions were controlled to low or high concentrations, respectively. These findings are useful for planning fertilization programs for vegetative propagation of ‘Maehyang’ strawberry.

Additional key words: bicarbonate concentration, dry weight, fresh weight, tissue analysis

서 언

2000년대 이전에는 주로 토경재배 방법으로 국내의 시설

딸기 생산이 이루어졌지만 2000년대 이후 시설하우스 내부에 고설베드를 설치하고 혼합상토를 충전한 후 양액재배 방법으로 딸기를 생산하는 면적이 급증하고 있다.

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 25 January 2014; Revised 20 March 2014; Accepted 2 April 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

작물을 재배하면서 식물에 영양을 주기 위하여 또는 토양의 화학적 변화를 유발할 목적으로 공급하는 비료는 그 조성에 따라 산성, 중성 및 알칼리성으로 반응이 달라진다. 이러한 반응은 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).

토경재배 방법으로 딸기를 생산할 때 질소, 인산 및 칼륨 등 필수원소가 다양한 비율로 혼합되고 상품화된 복합비료를 시비하는 것이 일반적인 시비방법이다. 그러나 양액재배의 경우 필수원소인 양이온과 음이온이 화학적으로 결합된 다양한 종류의 염의 농도를 변화시켜 관개수에 용해시키고 그 용액을 식물에 관주함으로써 식물이 필요로 하는 모든 필수원소를 공급한다. 따라서 재배자에 따라 양액의 조성을 산성, 중성, 및 알칼리성 비료 상태로 변화시키기 쉽고 작물의 비료 흡수 특성에 적절하게 대처하는 것이 비교적 용이하다. 산성비료의 경우 그 조성상 황을 포함하고 총 질소 중 NH_4 나 요소태질소의 비율이 높으며, 알칼리성 성분인 Ca 또는 Mg이 포함되지 않아 기비가 포함된 혼합상태를 이용하여 작물을 재배하면서 pH가 높아질 때 이를 낮추기 위해 많이 이용된다. 알칼리성 비료의 경우 조성상 황의 농도가 매우 낮거나 없으며, 총 질소 중 NO_3 의 비율이 높고 Ca와 Mg이 고농도로 존재하며, 근권부의 산도가 낮을 때 이를 높이기 위해서 시비된다.

그러나 작물을 재배하면서 시비를 하는 주요 목적은 작물 생장을 우수하게 유지시켜 생산량을 극대화하기 위함이며, 식물의 흡비특성이 파악된다면 생리적 반응이 다른 비료 중 가장 바람직한 비료를 선택하고 이를 통해 생산량 증가가 가능할 것이다. 식물의 흡비특성을 파악하기 위해 다양한 연구방법들이 적용되어 왔지만 산성, 중성 및 알칼리성 비료를 시비하고 생장반응과 무기원소 흡수량을 파악하는 것도 흡비특성을 파악할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다고 판단하였다.

그동안 국내에서 ‘매향’ 딸기가 육성된 후 농가에서 재배되면서 많은 생리장해가 나타나고 수량이 저하하는 문제점이 발생하였으며, 이 또한 흡비특성을 고려한 적절한 시비가 이루어지지 않았기 때문이라고 생각한다.

따라서 ‘매향’ 딸기를 재배하는 동안 산성(acid fertilizer), 중성(neutral fertilizer) 또는 알칼리성 비료(basic fertilizer) 등 비료의 종류와 농도를 변화시켜 시비하고 작물 생장과

양분 흡수량 변화에 미치는 영향을 구명하여 시비를 위한 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험을 위하여 피트모스와 펄라이트를 7:3(v/v)의 비율로 혼합상태를 조제하고, pH 조절을 위해 고토석회[CaMg(CO₃)₂]를 상토 1kg당 50g의 비율로 상토조제 과정에서 혼합한 후 플라스틱 포트(용적 1600mL)에 충전하였다. 이후 조직배양한 후 순화되고 저온처리를 한 상태의 ‘매향’ 딸기묘를 충청남도농업기술원 논산딸기시험장으로부터 수집하여 정식하였다.

처리용액은 Argo and Biernbaum(1996)의 방법에 준해 조제하였다. 산성 비료(AF)이며 N를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 조절한 처리용액은(이하 처리용액의 단위는 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 임) $50\text{NO}_3^{-}\text{-N}$, $50\text{NH}_4^{+}\text{-N}$, $10\text{PO}_4^{-}\text{-P}$, 100K^{+} , 0Ca^{+} , 0Mg^{+} , $21\text{SO}_4^{-}\text{-S}$ 을 포함하였다. 중성 비료(NF)이며 N를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 조절한 처리용액은 $75\text{NO}_3^{-}\text{-N}$, $25\text{NH}_4^{+}\text{-N}$, $10\text{PO}_4^{-}\text{-P}$, 100K^{+} , 25Ca^{+} , 12.5Mg^{+} , $17.5\text{SO}_4^{-}\text{-S}$ 을 포함하였다. 그리고 알칼리성 비료(BF)이며 N를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 조절한 용액은 $97\text{NO}_3^{-}\text{-N}$, $3\text{NH}_4^{+}\text{-N}$, $10\text{PO}_4^{-}\text{-P}$, 100K^{+} , 50Ca^{+} , 25Mg^{+} , $1.5\text{SO}_4^{-}\text{-S}$ 을 포함하도록 처리용액을 조제하였다. AF, NF 및 BF에서 N를 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 농도를 조절한 처리용액은 상기한 비료를 2배 용해시켜 처리용액을 조제하였다. 모든 처리용액의 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 NF $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비함으로써 모든 식물체가 동일한 환경조건에 노출될 수 있도록 하였고, 이 기간 동안 근권부의 pH는 약 6.0-6.3으로 조절되었다. 그 후 각 식물체의 신엽을 기준으로 3매만 남긴 채 하위엽을 모두 제거하고, 100일간 조성된 처리용액을 시비하였는데 시비 시작 후 50일까지는 2일 또는 3일 간격으로 매주 3회, 지상부 생장량이 많아진 정식 200일 이후에는 매주 4회 시비하였다. 그러나 시비 시작 후 50일부터 80일까지 근권부의 염 농도가 과도하게 높아진다고 판단하여 상기한 시비량의 50%로 농도를 낮추어 실험 종료까지 시비하였

다. 매 시비 시 상토 내의 염류집적을 방지하기 위하여 총 시비된 용액의 40%가 배수되도록 배수율을 조절하였으며, 작물이 성장하는 도중 발생하는 꽃자루와 런너는 수시로 제거하였다.

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

시비 시작 후 2주 간격으로 근권부 화학성 및 중탄산 농도를 분석하였으며, 시비 시작 100일 후에 작물의 지상부 생육을 조사한 후 식물체를 수확하여 무기원소 함량을 분석하였다. 근권부의 화학성 변화 분석을 위해 매 2주마다 시비를 하고 2시간 후 진공 펌프를 사용하여 포트 내의 수분을 추출하였다. 추출방법은 Choi(1994)와 동일하게 진행하였으며 추출된 용액은 포화된 phenyl mercuric acetate(18g·mL⁻¹)를 1-2방울 첨가하여 저장기간 동안의 변질을 방지하였다. 채취한 용액은 pH와 EC(EC/pH Meter WM-22EP DKK-TOA, Japan)를 측정하고, Ion chromatography(Waters 432 conductivity director, Younglin, Seoul, Korea)를 사용하여 Na, NH₄, K, Mg, Ca, NO₃, PO₄, SO₄ 등 무기원소 농도 변화를 분석하였다. 지상부 생육조사를 위한 전반적인 방법은 Choi et al.(2000, 2008)의 방법에 준하였다.

정식 150일 후에 수확한 식물체의 무기원소 함량은 근권부를 제외한 지상부 전체를 대상으로 분석하였다. 식물체의 무기물 함량은 Choi(1994)가 수행한 방법으로 분석하였으며, 무기원소 분석에는 원자흡광분석기(AA-7000, Shimadzu,

Japan)와 분광광도계(UV MINI-1240, Shimadzu, Japan)가 사용되었다.

비료의 조성 및 농도가 ‘매향’ 딸기의 생육, 무기물 함량과 토양 pH 및 EC에 미치는 영향은 Duncan의 다중검정으로 분석하였다. 통계분석은 Costat 통계프로그램(v. 6.3; Monterey, CA)으로 수행하였다.

결과 및 고찰

비료의 조성 및 농도를 변화시켜 시비하고, 시비 100일 후 식물체의 지상부 생육을 조사하여 Table 1에 나타냈다. 100mg·L⁻¹로 농도를 조절하여 시비한 경우 BF의 지상부 생체중 및 건물중이 가장 무거웠고, AF를 시비한 처리에서 가장 가벼웠다. 200mg·L⁻¹로 농도를 조절하여 시비한 경우 BF보다 NF를 시비한 처리의 생체중 및 건물중이 뚜렷하게 무거웠다. AF를 시비한 경우 NF 및 BF를 시비한 처리보다 근권부의 pH를 더욱 산성 쪽으로 변화시키고, 산성화를 통한 근권부 Ca 및 Mg의 불용화(Lindsay, 2001; Nelson, 2003)와 흡수량 저하가 생장이 저조한 원인이 되었다고 사료된다. NF 100 및 BF 100 처리의 생체중 및 건물중의 통계적으로 유의한 차이를 발견할 수 없었지만, NF 200 처리의 생체중 및 건물중이 AF 200 및 BF 200보다 무거웠다.

이상의 결과로 고려할 때 비료 종류의 농도에 영향을 받은 ‘매향’ 딸기는 100mg·L⁻¹보다는 200mg·L⁻¹ 시비농도를 조절하여 시비할 경우 지상부 성장량이 우수하였으며 근권부의 pH 변화와 지상부 성장량을 고려할 때 ‘매향’ 딸기는

Table 1. Influence of the compositions and concentrations of fertilizer solution on the growth characteristics of ‘Maehyang’ strawberry at 100 days after fertigation.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Acid100	46.0 c ^y	40.0 b	36.0 b	28.5 d	4.26 a	43.2 cd	84.4 c	20.0 d
Neutral100	54.3 a	42.5 a	51.0 a	34.0 a	4.25 a	44.7 bc	109.3 b	26.4 bc
Basic100	44.0 c	39.5 b	48.0 a	31.3 bc	3.75 b	42.1 de	115.5 b	27.4 ab
Acid200	44.8 c	38.5 bc	36.0 b	29.3 cd	3.75 b	48.5 a	78.9 c	17.6 e
Neutral200	52.3 ab	36.0 cd	48.0 a	33.5 ab	4.25 a	46.3 b	126.1 a	28.2 a
Basic200	48.3 bc	35.5 d	48.0 a	31.3 bc	4.50 a	41.4 e	108.4 b	25.1 c

^zTreatments: Acid, Neutral, and Basic indicate the acid, neutral fertilizer solutions; 100 and 200 indicate the 100 mg·L⁻¹ and 200 mg·L⁻¹ fertilizer solution based on the N concentration.

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

NF를 시비하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

시비 100일 후 지상부 전체를 수확하여 무기물 함량을 분석하였고 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 질소 함량은 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 보다 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리들의 식물체 내 함량이 높았다. 식물체 내 인산함량은 AF, NF 및 BF 비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리들보다 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리들에서 높았다. 또한 동일한 시비농도를 적용한 경우 AF 및 NF를 시비한 처리들이 BF를 시비한 처리들보다 인산 함량이 높았다.

Nelson(2003)과 Lindsay(2001)은 사양토 등 노지에서 작물을 재배할 때 근권부의 pH가 산성으로 변하면 토양 구성 성분인 Al의 가용화가 촉진되고, Al과 결합하여 불용화되는 인산량이 급격히 증가하여 식물체 내 함량이 낮아지는 원인이 된다고 하였다. 그러나 피트모스 등이 주재료인 상토의 경우 Al 농도가 낮아 불용화되는 인산량이 적고 오히려 식물체 내 흡수량이 증가한다고 하였다. 또한 근권부의 pH가 알칼리로 변할 경우 Ca 또는 Mg의 가용화가 촉진되고 이들과 결합하여 불용화되는 인산량이 증가함으로써 식물체 흡수량 저하의 원인이 된다고 하였다. 본 연구의 비료 조성에서 BF의 경우 Ca과 Mg의 농도가 높았고(재료 및 방법에 설명), AF를 시비한 처리들의 pH가 낮았으며(Fig. 2), 이상의 내용을 고려할 때 비료조성에 따른 식물체 내 인산함량의 변화가 발생한 원인을 판단할 수 있다. 식물체 내 K 함량은 AF에서 높고 NF 및 BF의 순으로 낮아지는 경향이었고, $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 보다 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리들의 식물체 내 함량이 높았다.

비료의 조성고 농도에 따라 식물체의 Fe, Mn, Zn 및 Cu

함량은 뚜렷한 경향을 보이며 변하였다. 모든 처리에 동일한 농도로 조절한 미량원소를 시비하였음에도 AF를 시비한 처리에서 네 종류 금속원소 함량이 높았고, BF를 시비한 처리의 함량이 뚜렷하게 낮았다. 이는 Fig. 2에 나타낸 pH와 연관 지어 판단할 수 있다. 비료를 처리한 100일 후 AF 200 처리는 pH가 약 4.92까지 낮아졌으나, BF 100 처리의 근권부 pH는 6.13으로 측정되었다. 이와 같이 비료의 종류에 따라 근권부 pH가 뚜렷한 경향을 보이며 변하였으며, 근권부의 pH가 산성으로 변할 경우 이들 금속원소의 가용화가 촉진되어(Choi, 2007; Lindsay, 2001; Nelson, 2003; Sonneveld and Voogt, 2009) 흡수량이 증가한 원인이 되었고, 알칼리로 변할 경우 불용화가 촉진되어 흡수량이 감소한 원인이 되었다고 판단한다.

비료 조성 및 농도에 영향을 받은 ‘매향’ 딸기의 생장 및 생리장해 현상을 Fig. 1에 나타내었다. AF 100 및 AF 200 또는 NF 100 및 NF 200을 시비한 경우 하위엽의 가장자리가 주황색으로 변한 후 점차 그 부위가 괴사하는 현상으로 진행되었다. 하위엽이 주황색으로 변하면서 괴사하는 증상은 Choi et al.(2009), Bennett(1993) 및 Bould et al.(1983)이 보고한 바와 같이 근권부의 가용성 염 농도가 적정 수준보다 높아서 발생한 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 비료조성상 AF의 SO_4 농도가 높았고, 생리장해 발현에 고농도 SO_4 가 영향을 미쳤을 것으로 추정하지만, 추후 보완 연구가 필요한 부분이라고 판단한다.

BF 100 및 BF 200을 시비한 처리들에서 완전히 전개된 신엽 부위가 앞 또는 뒤로 말리거나 구부러지는 붕소 결핍 증상이 발생하였다. BF 처리들에서 붕소 결핍증상이 발현

Table 2. Influence of the compositions and concentrations of fertilizer solution on tissue nutrient contents of ‘Maehyang’ strawberry based on whole above ground plant tissue at 100 days after fertigation.

Treatment ^z	T-N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)						(mg·kg ⁻¹)			
Acid100	2.17 ab ^y	0.42 bc	2.40 b	0.68 c	0.39 c	0.04 c	157 b	335.7 b	39.4 a	5.4 b
Neutral100	1.73 e	0.40 c	1.92 d	0.92 ab	0.42 b	0.05 c	135 bc	79.5 d	31.3 b	4.6 c
Basic100	1.85 d	0.31 d	1.93 d	0.94 ab	0.45 a	0.06 bc	115 c	35.4 e	26.4 c	3.7 d
Acid200	2.11 b	0.50 a	2.60 a	0.84 b	0.37 d	0.08 b	251 a	356.7 a	40.4 a	6.9 a
Neutral200	2.20 a	0.51 a	2.50 ab	0.90 ab	0.39 cd	0.10 a	108 cd	258.9 c	32.3 b	6.3 a
Basic200	1.96 c	0.45 b	2.21 c	0.95 a	0.39 cd	0.06 c	84 d	35.9 e	23.6 d	4.6 c

^zTreatments: Acid, Neutral, and Basic indicate the acid, neutral fertilizer solutions; 100 and 200 indicate the $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ fertilizer solution based on the N concentration.

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

된 것은 근권부 pH와 밀접하게 관련성이 있다고 판단한다. Fig. 2에 나타낸 바와 같이 BF를 시비한 경우 근권부 pH가 7.0 이상으로 높아지는 경우가 발생하였으며, 높은 pH 조건에서 붕소의 불용화가 촉진되고 흡수량 감소 및 결핍증상이 발현되는 원인이 되었다고 판단된다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003).

시비 후에 재배기간이 길어짐에 따라 AF 100, AF 200, 그리고 NF 200을 시비한 처리는 근권부의 pH가 지속적으로 낮아졌다(Fig. 2). NF 100, BF 100 또는 BF 200을 시비한 처리들은 시비 84일 후까지 시비 시작시점보다 높았지만, BF 100을 제외한 두 처리의 pH가 시비 시작시점보다 낮아졌다. Nelson(2003)에 의하면 작물 재배 중 근권부의 pH 변

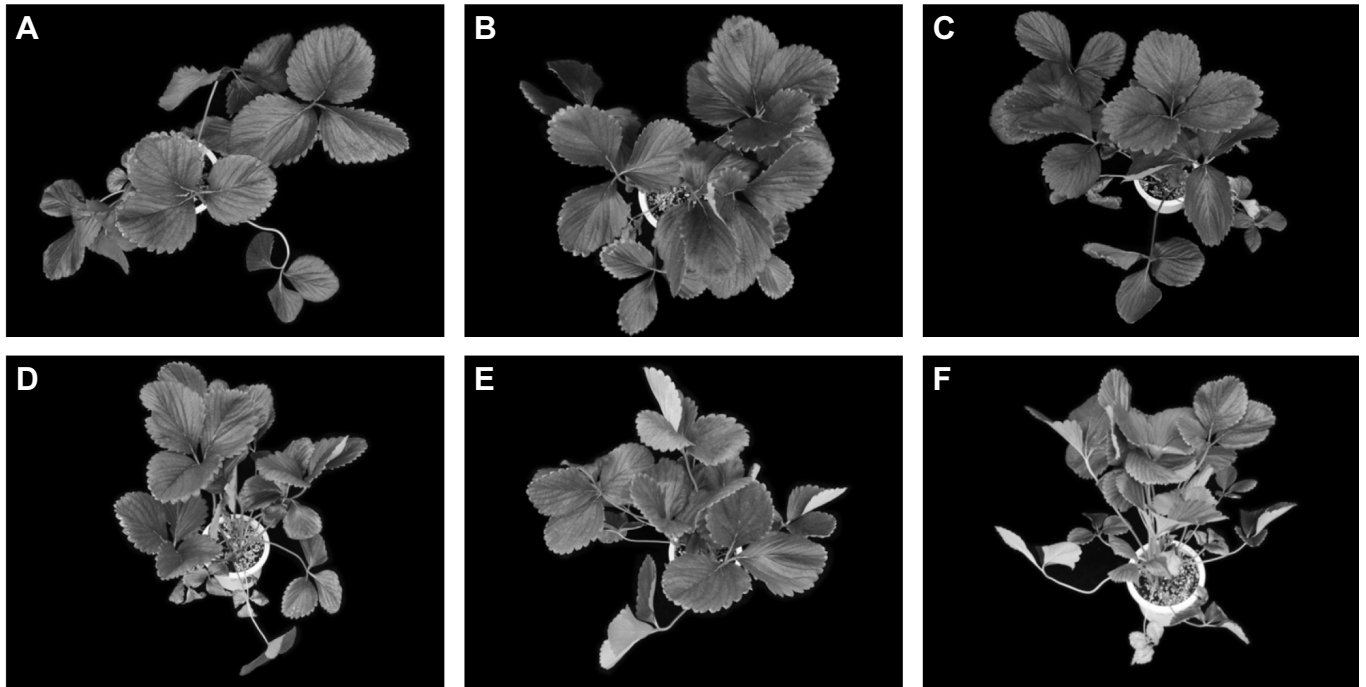


Fig. 1. Growth and development of nutritional disorders in 'Maehyang' strawberry at 100 days after fertilization as influenced by kinds of fertilizers (Acid fertilizer, A and D; Neutral fertilizer, B and E; Basic fertilizer, C and F). The concentrations of three fertilizers were controlled to 100 mg·L⁻¹ (A, B, and C) and 200 mg·L⁻¹ (D, E, and F) based on nitrogen concentration.

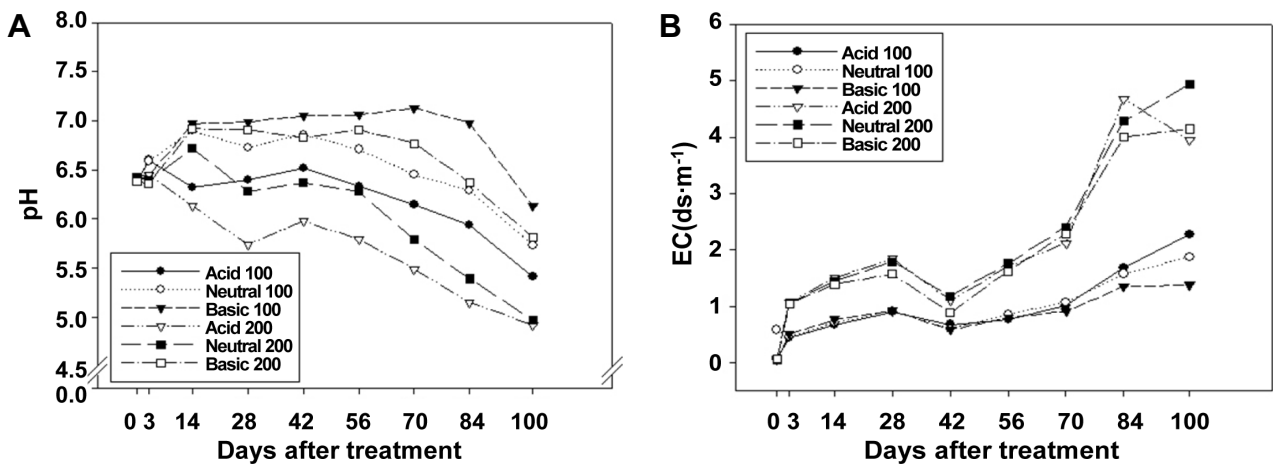


Fig. 2. Changes of pH (A) and EC (B) in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of 'Maehyang' strawberry.

화가 유발되는 요인은 작물의 흡비특성, 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 유지될 경우 보편적인 작물의 생장이 우수하며 (Nelson, 2003), 이 범위를 벗어날 경우 pH를 낮추거나 높이기 위해 비료의 조성을 변화시켜야 할 것으로 판단하였다. ‘매향’ 딸기를 재배하면서 측정된 근권부의 EC는 시비 84일

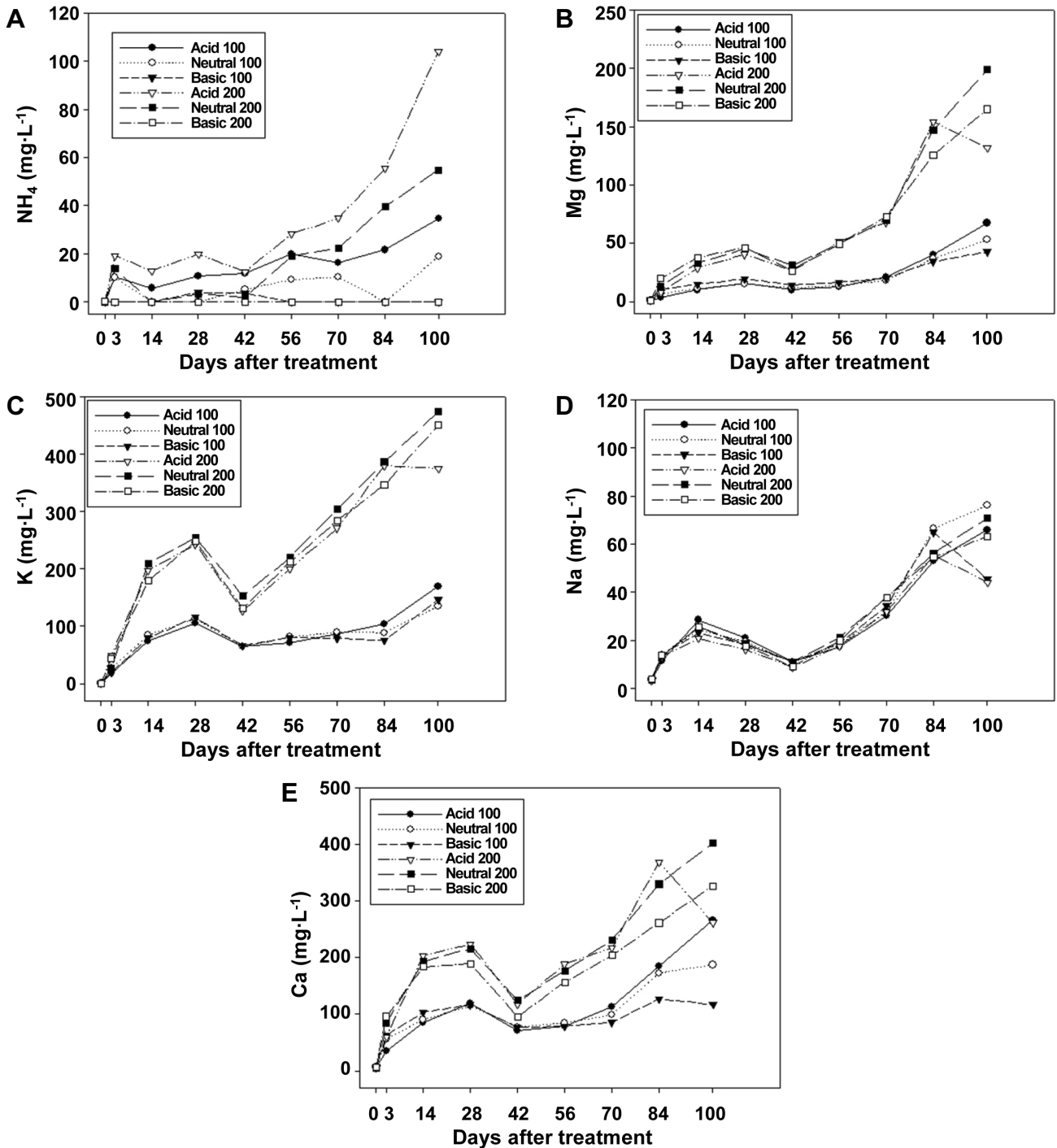


Fig. 3. Changes in the concentrations of macro-cations in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of ‘Maehyang’ strawberry.

과 100일 후에는 $4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상으로 과도하게 높아졌고, 이러한 현상이 염류 과잉 피해(Fig. 1)가 발생한 원인이 되었다고 판단한다(Chi et al., 1998).

비료의 조성 및 농도를 변화시켜 ‘매향’ 딸기를 관비재배 하면서 시비 후 100일까지 근권부의 양이온 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. NH_4^+ 의 경우 AF 200, NF 200, 그리고 AF 100을 시비한 처리 순으로 농도가 낮아졌으며, 재료 및 방법에 나타낸 비료의 조성에 뚜렷하게 영향을 받을 수 있다. 근권부의 K 농도는 시비 14일과 28일째에 높아진 후 42일 후 낮아졌다가, 다시 지속적으로 상승하는 경향을 보였다. 비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 경우 시비 100일 후 세 종류 비료가 약 $150\text{-}170\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 분석되었고, $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 경우 NF 및 BF로 시비한 처리에서 $460\text{-}480\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 분석되었다. Ca 및 Mg 농도는 시비 84일 후까지는 BF를 시비한 처리의

Ca 및 Mg 농도가 가장 낮았고, NF 및 AF 순으로 높아지는 경향이였다. 시비 후반기에 BF에서 Ca 및 Mg 농도가 낮아진 것은 Lindsay(2001)이 보고한 바와 같이 인산과 결합하여 불용화된 양이 증가한 것이 원인이라고 판단한다.

비료의 조성과 농도를 변화시켜 시비하고 근권부 음이온의 농도를 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 세 종류 비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 처리의 NO_3^- 농도는 시비 56일 후부터 완만하게 상승하였으며, 시비 100일 후 $800\text{-}950\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 분석되었으나, $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 시비한 처리의 56일 후 근권부 NO_3^- 농도는 급격히 상승하였다. 동일한 농도로 조절한 세 종류 비료 중 AF의 근권부 NO_3^- 농도가 낮았고, NF 및 BF 순으로 높아지는 경향이였다. 비료의 조성상 AF는 총 질소 중 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 비율이 동일하였지만, BF는 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 비율이 3%와 97%였으며 비료 조성 차이가 근권부 NO_3^- 농도가 변

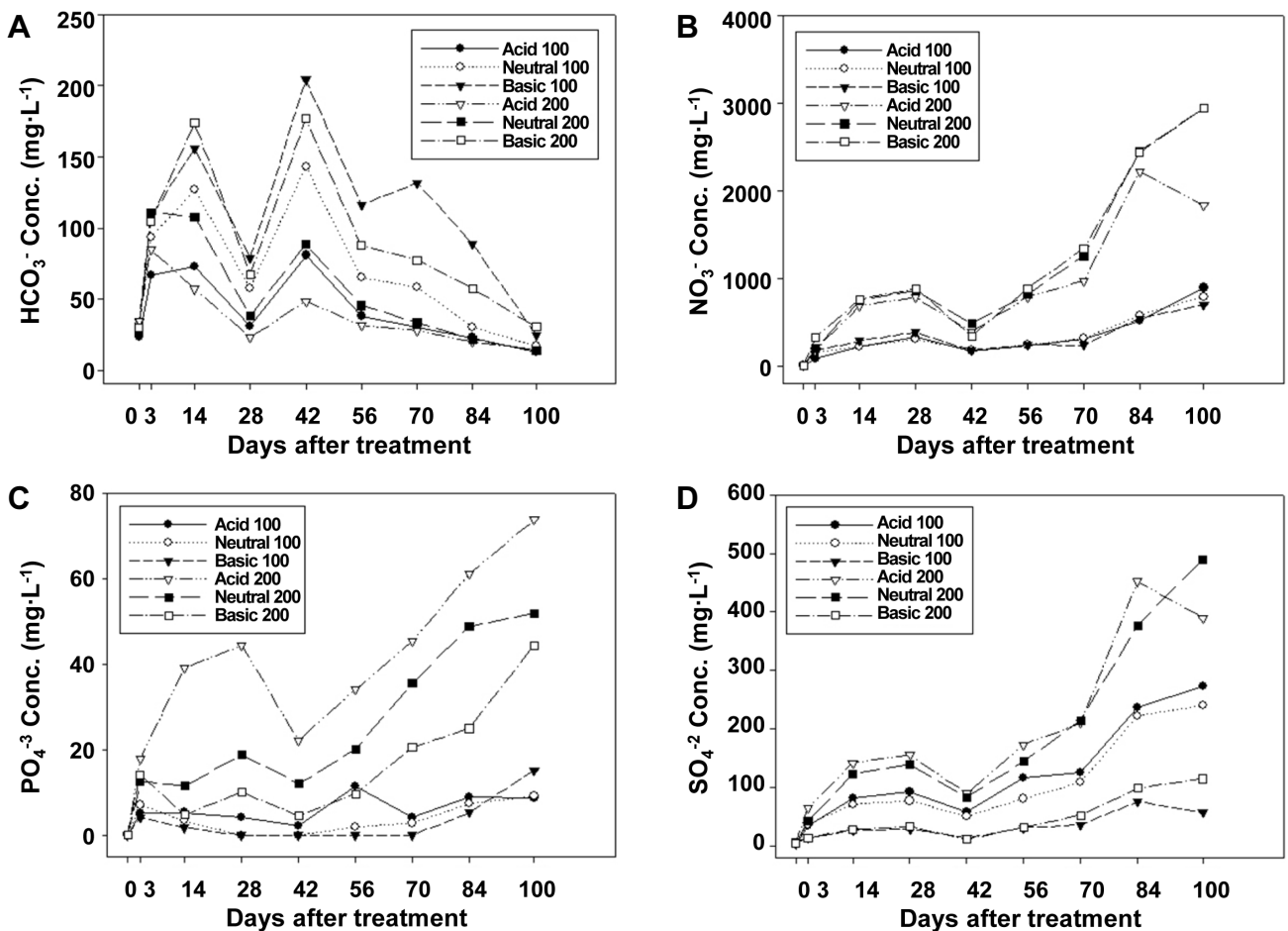


Fig. 4. Changes in the concentrations of bicarbonate and macro-anions in soil solution of root media as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution during the vegetative propagation of ‘Maehyang’ strawberry.

한 주요 원인이라고 판단하였다. 그러나 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 세 종류 비료를 시비한 경우 모든 처리에서 NO_3^- 농도가 과도하게 높았으며, 지상부 생장량과 흡비량이 다른 과채류보다 적은 딸기에서 적정영역(Choi et al., 2010; Sonneveld and Voogt, 2009)보다 과도하게 높아 시비농도를 낮추어야 할 것으로 판단하였다.

동일한 시비농도를 적용한 경우 시비 70일까지는 AF의 근권부 SO_4^{2-} 농도가 NF 및 BF보다 높았으며, 이는 비료의 조성상 AF의 SO_4^{2-} 농도가 높았던 것이 원인이 되었다고 판단한다. 그러나 시비 100일 후부터 비료 종류에 따른 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었고, 추후 보완 연구가 필요한 부분이라고 판단한다. 근권부의 SO_4^{2-} 농도 역시 Sonneveld and Voogt(2009)이 설정한 영역보다 높았으며, 시비농도를 낮추거나 용탈률을 높이는 조치가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. 생리적 반응이 다른 세 종류 비료 용액을 조성하여 ‘매향’ 딸기를 재배한 결과 중성 비료 또는 알칼리 비료를 시비한 처리의 지상부 생장이 우수하였으며, 근권부의 pH나 식물체의 무기원소 함량도 비교적 식물 생장에 적합한 범위를 유지하였다. 그러나 세 종류 비료를 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 조절하여 시비한 처리들은 근권부의 무기염 농도가 과도하게 높아 작물 재배 중 시비 농도를 적절한 수준으로 조절할 필요가 있다고 판단하였다.

초 록

‘매향’ 딸기를 재배하는 동안 비료의 종류와 농도를 변화시켜 시비하고 작물 생장과 양분 흡수량 변화에 미치는 영향을 구명하여 영양진단을 위한 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다. 증류수를 원수로 산성, 중성 및 알칼리성 비료를 조제한 후 N 농도를 기준으로 100 및 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로, pH는 6.0-6.3으로 조절하여 100일간 시비하였다. 세 종류 비료의 농도를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절하여 시비한 경우 시비 100일 후 알칼리성 비료를 시비한 처리의 생장이 우수하고 산성비료를 시비한 처리에서 가장 저조하였다. 비료 농도를 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절하여 시비한 경우 중성비료를 시비한 처리의 생체중 및 건물중이 산성이나 알칼리성 비료를 시비한 처리보다 무거웠다. 식물체 무기원소 함량을 분석한 결과 N, P 및 Na 함량은 중성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 각각 2.20, 0.51 및 0.10%로, K은 산성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 2.60%

로, Ca은 알칼리성비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 0.95%로, Mg은 알칼리성비료 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리에서 0.45%로 다른 처리보다 높았다. Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량은 산성비료를 시비한 처리에서 높았고, 알칼리성 비료를 시비한 처리에서 뚜렷하게 낮았다. 산성비료를 100 및 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 그리고 중성 비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리의 근권부 pH가 지속적으로 낮아졌다. 근권부 무기원소 농도를 분석한 결과 산성 비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 중성 비료 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 그리고 산성 비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리 순으로 근권부의 NH_4^+ 농도가 낮아졌다. Ca 및 Mg 농도는 시비 84일 후까지는 알칼리성 비료를 시비한 처리의 농도가 가장 낮고 중성 비료 및 산성 비료 순으로 높아지는 경향이였다. NO_3^- 농도는 산성비료에서 낮았고, 중성 및 알칼리성 비료의 순으로 높아졌으며, 세 종류 비료를 동일한 농도로 시비한 경우 PO_4^{3-} 농도가 유사한 경향을 보이며 변화하였다. 이상의 결과를 고려할 때 저농도에서는 알칼리성비료, 그리고 고농도에서는 중성비료가 영양생장중인 ‘매향’ 딸기의 관비재배를 위해 효과적이었으며, 본 연구 결과는 ‘매향’ 딸기의 번식을 위한 시비방법 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

추가 주요어 : 중탄산 농도, 건물중, 생체중, 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.
- Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. AS Press, St. Paul, Minn.
- Bould, C., E.J. Hewitt, and P. Needham. 1983. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 1. Principles. Her Majesty Stationery Office, London.
- Chi, S.H., K.B. Ahn, S.W. Park, and J.I. Chang. 1998. Effect of ionic strength of nutrient solution on the growth and fruit yield in hydroponically grown strawberry plants. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 39:166-169.
- 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. 2007. Influence of pre-plant micronutrient sources and post-plant $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ ratios in fertilizer solution on growth

- and nutrient uptake of marigold in plug culture. Hort. Environ. Biotechnol. 48:314-319.
- Choi, J.M., I.Y. Kim, and B.G. Kim. 2009. Root media. Hagsya, Daejeon, Korea.
- 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., S.K. Jeong, K.H. Cha, H.J. Chung, and K.S. Seo. 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, 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. (in Korean)
- Lindsay, W.L. 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press. Caldwell, NJ.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, London.