

## 관비용액의 비료 조성 및 농도가 상추의 성장과 근권 환경 변화에 미치는 영향

신보경<sup>1</sup> · 손정익<sup>2</sup> · 최종명<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학 원예학과, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학대학 원예학과

### Impact of Compositions and Concentrations of Fertilizer Solution on Growth of Lettuce and Changes in Chemical Properties of Root Media

Bo Kyuong Shin<sup>1</sup>, Jung Eek Son<sup>2</sup>, and Jong Myung Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Department of Plant Science and Research Institute for Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**Abstract.** This research was conducted to investigate the influence of compositions and concentrations of fertilizer solution on growth of lettuce as well as changes in chemical properties of root media. To achieve this three kinds of fertilizers such as acidic (AF), neutral (NF), and alkaline fertilizer (BF) were formulated and applied with the concentrations of 100 or 200 mg · L<sup>-1</sup> based on nitrogen concentrations. The growth characteristics were investigated 10 weeks after transplant and the analysis of soil solution for chemical characteristics were conducted in every week. The BF was more effective than AF in crop growth of blue leaf lettuce 10 weeks after transplant and the treatment of BF200 showed the heaviest fresh and dry weights among all treatments tested. The treatment of BF also showed the highest growth followed by those of NF and AF in growth of red leaf lettuce, but the growth in treatments of 100 mg · L<sup>-1</sup> were higher than those of 200 mg · L<sup>-1</sup> in the three kinds of fertilizers. The differences among treatments in soil solution pH became larger from week 6. The pH in the treatment of 200 mg · L<sup>-1</sup> was lower than that of 100 mg · L<sup>-1</sup> when AF was applied, but the treatment of 200 mg · L<sup>-1</sup> showed higher pH than that of 100 mg · L<sup>-1</sup> in case of BF. The electrical conductivity of soil solution in treatments of 200 mg · L<sup>-1</sup> were 0.2 to 0.4 unit higher than those of 100 mg · L<sup>-1</sup> when those are measured as dS · m<sup>-1</sup> in three kinds of fertilizers. The NH<sub>4</sub> concentrations were higher in the treatments of AF than those of BF, but the concentrations of Ca, Mg and NO<sub>3</sub> were vice versa. The concentrations of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> were the highest in the treatments of AF followed by those of NF and BF when three kinds of fertilizers were applied with equal nitrogen concentrations. The differences of nutrient concentrations in soil solution of root media were influenced by composition of fertigation solution and varied soil solution pH.

**Additional key words :** concentration, EC, fertilizer composition, pH

### 서 론

작물을 파종하거나 정식할 때 생장에 적합하도록 상토의 화학성을 조절하여도 작물을 재배하는 동안 적절한 상태를 유지하는 것이 아니라 여러 요인들에 의하여 지속적으로 변화된다. 작물 재배 중 상토의 근권환경 변화는 관개수의 중탄산 농도, 비료의 종류 및 농도, 상토의 화학적 특성 그리고 작물의 흡비특성에 의해 유발된다 (Nelson, 2003; Styer와 Koranski, 1997). 이와 같은 근

권환경의 변화 요인들에 대한 적절한 대응 조치를 취하기 위해서는 이들 요인들이 어떻게 발생하고 작물 생장에 영향을 미치는지 연구결과가 도출되어야 하며, 연구결과를 기초로 적절한 대응조치를 취할 수 있을 것이다.

비료는 성분 조성에 따라 산성, 중성 및 알칼리성 등 다른 반응을 보이며, Lim(2005)은 이를 화학적 반응과 생리학적 반응으로 구분하였다. 화학적 반응은 비료를 물에 용해시켰을 때 산성, 중성, 또는 알칼리성으로 반응이 나타나는 것을 의미한다. 그러나 시비한 비료가 토양 내 반응을 일으키고, 식물의 생장과정에서 양·음이온의 흡수가 고르지 않은 상황에서 양분의 흡수과정 중 뿌리로부터 방출되는 H<sup>+</sup> 또는 OH<sup>-</sup> 이온에 의해 근권부의 산도가 변화되는 것을 생리학적 반응이라고 하였다.

\*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

Received May 29, 2013; Revised June 26, 2013;

Accepted July 9, 2013

이와 같이 비료의 성분에 따라 근권부에 잔존하는 원소의 양이 변하며 토양반응이 한쪽으로 치우치는 특징을 나타낸다. 비료의 생리적 반응은 근권부의 화학성과 작물 생장에 큰 영향을 미친다. 그러므로 배지의 성질, 재배하는 작물의 종류, 그리고 각 작물 내의 품종에 따라 시비하는 비료의 종류 및 농도가 달라져야 함을 의미한다.

최근 국내에는 태양광 및 인공광 병용형 또는 인공광 식물공장에서 작물을 생산하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 식물공장 내에서 작물을 생산할 경우 시설물의 이용 효율을 높이기 위해 아주 적은 양의 배지에 작물을 파종 또는 정식하고 밀식한 상태로 작물을 생산한다. Hamrick(2003)이 보고한 바와 같이 한 식물체를 지주하는 상토의 양이 적을 경우 토양의 물리화학적 완충력이 적어지며 근권부의 pH 및 EC 등 화학적 환경이 급변한다. 또한 화학적 또는 생리적 반응이 다른 비료에 의해서도 작물 생장이 심한 영향을 받을 가능성이 높지만 식물공장 내 작물 생산에서 관련 연구가 수행되지 않았다.

따라서 국내의 식물공장 내에서 가장 많은 생산이 이루어지고 있는 청측면 상추와 적측면 상추를 대상으로 관비용액의 비료 조성 및 농도를 변화시켜 처리할 때 작물 성장 및 근권부 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

### 재료 및 방법

식물공장 내에서 작물을 재배할 때 보편적으로 양이온 교환용량과 완충력이 매우 낮은 물질들이 배지로 이용되고 있다(Argo, 1998; Choi 등, 2009). 따라서 양이온 교환용량이 매우 낮은 펄라이트를 배지로 활용할 경우 스폰지 등 식물공장에서 사용되는 배지와 화학성이 매우 유사할 것으로 판단하여 펄라이트 배지를 이용하여 작물을 재배하였다(Shin 등, 2012). 실험을 위해 중국에서 원

석을 수입하여 팽창시킨 펄라이트 3~5mm와 펄라이트 1mm 미만을 1:1(v:v)로 혼합한 배지를 조제하고 직경 10cm 화분에 충전하였다. 배지 충전 후 성장상에서 발아시킨 본엽 2매의 여름 청측면 상추(Jeil Seed company, Jeungpyung, Chungbuk, Korea)와 홍염 적측면 상추(Sakata Korea Seed Corp., Seoul, Korea)를 정식하였다.

처리용액은 Argo and Biernbaum(1996)의 방법에 준해 조제하였다. 산성비료(AF)이며 N를 100mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리용액은 50 NO<sub>3</sub>-N, 50 NH<sub>4</sub>-N, 10 PO<sub>4</sub><sup>3</sup>-P, 100 K<sup>+</sup>, 0 Ca<sup>+2</sup>, 0 Mg<sup>+2</sup>, 21 SO<sub>4</sub><sup>2</sup>-S을 포함하였다. 중성비료(NF)이며 N를 100mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리용액은 75 NO<sub>3</sub>-N, 25 NH<sub>4</sub>-N, 10 PO<sub>4</sub><sup>3</sup>-P, 100 K<sup>+</sup>, 25 Ca<sup>+2</sup>, 12.5 Mg<sup>+2</sup>, 17.5 SO<sub>4</sub><sup>2</sup>-S을 포함하였다. 그리고 알칼리비료(BF)이며 N를 100mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 용액은 97 NO<sub>3</sub>-N, 3 NH<sub>4</sub>-N, 10 PO<sub>4</sub><sup>3</sup>-P, 100 K<sup>+</sup>, 50 Ca<sup>+2</sup>, 25 Mg<sup>+2</sup>, 1.5 SO<sub>4</sub><sup>2</sup>-S을 포함하도록 처리용액을 조제하였다. AF, NF 및 BF에서 N를 200mg·L<sup>-1</sup>로 농도를 조절한 처리용액은 상기의 비료를 2배량 용해시켜 조제하였다(Table 1). 모든 처리용액의 미량원소는 Hoagland 용액(1950)과 동일하게 종류와 농도를 조절하였다. 처리용액 조제를 위해 증류수를 원수로 사용했으며 처리 전 pH를 측정하고 6.0으로 조절하여 공급하였다. 두 품종의 상추에 대하여 6종류 비료 조성 및 농도, 각 처리 당 5반복, 반복당 2포트로 총 120포트를 배치하였다.

본 연구는 태양광 병용형 식물공장에서 수행하였으며, 작물 재배기간 동안의 평균 주간온도 16°C, 야간온도 10°C였고, 상대습도 50~70%, 그리고 광합성유효광량자속(photosynthetic photon flux)은 49.4μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>였다.

비료용액은 AF, BF 및 BF를 처리농도에 따라 질소 기준 100mg·L<sup>-1</sup> 또는 200mg·L<sup>-1</sup>로 농도를 조절하여 배지의 수분 보유 상태를 고려하여 작물 생장에 적합하도록 주기적으로 공급하였다.

정식 후 10주간 상추를 재배하면서 매 주 1회 포트의

**Table 1.** Compositions of treatment solutions used to investigate the influences on growth and nutrient uptake of blue leaf lettuce and red leaf lettuce.<sup>z</sup>

Treatment <sup>y</sup>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub> -S
	------(mg·L <sup>-1</sup> )-----						
AF100	50	50	10	100	0	0	21
NF100	25	75	10	100	25	12.5	17.5
BF100	3	97	10	100	50	25	1.5
AF200	100	100	20	200	0	0	42
NF200	50	150	20	200	50	25	35
BF200	6	194	20	200	100	50	3

<sup>z</sup>All treatment solutions contained equal amount of micronutrients (in mg per L solution): MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 1.81; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 2.86; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0.22; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0.08; H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 0.09; and Na<sub>2</sub>FeEDTA, 0.79.

<sup>y</sup>AF100: Acidic Fertilizer 100 mg·L<sup>-1</sup>, AF200: Acidic Fertilizer 200 mg·L<sup>-1</sup>, NF100: Neutral Fertilizer 100 mg·L<sup>-1</sup>, NF200: Neutral Fertilizer 200 mg·L<sup>-1</sup>, BF100: Basic Fertilizer 100 mg·L<sup>-1</sup>, BF200: Basic Fertilizer 200 mg·L<sup>-1</sup>.

하단부에서 분석을 위한 토양수를 추출하였다. 토양수는 관비용액을 처리한 후 2시간 후에 토양수가 화학평형에 도달하였다고 판단하고 진공펌프(DOA-P704-AC, Gast manufacturing, Inc. USA)를 사용해 포트 하단부에서 약 15mL를 추출하였으며 전반적인 방법은 Choi(1994)의 방법을 따랐다. 추출된 토양수는 phenylmercuric acetate를 1g/18mL로 용해시킨 용액을 1~2방울 첨가하여 저장 기간중의 변성을 방지하였으며, pH, EC 및 다량원소의 농도를 분석하였다. pH 및 EC는 pH 및 EC측정기(Multi meter CP-500L, Insteck Co., Seoul, Korea)로 매주 1회, 근권부의 무기원소 농도는 Ion chromatography(Waters 432 conductivity director, Younglin, Seoul, Korea)로 매 2주에 1회씩 필수 양이온 및 음이온 농도를 분석하였다.

비료 조성 및 농도가 작물 생육에 미치는 영향을 밝히기 위해 정식 10주 후 작물 생육을 조사하였다. 작물 생육은 두 품종 상추의 지상부 초장, 초폭, 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중, 지상부 건물중, 그리고 엽록소 측정계(Chlorophyll meter, Konica Minolta Sensing, INC., Japan)를 사용하여 SPAD 값을 측정하였다.

근권부의 화학성 변화에 미치는 영향은 매주 모든 처리의 표준오차를 계산하여 각각의 그래프에 나타내었으며, 10주 후의 작물 생육은 각 처리별  $P \leq 0.05$  수준의 Duncan 다중 검정을 한 후 각각의 표에 나타내었다. 통계처리는 CoStat 통계프로그램(v. 6.3, Monterey, CA)로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 작물 생육

정식 10주 후 여름 청측면 상추와 홍염 적측면 상추의 초장, 초폭, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽록소 함량, 생체중 및 건물중을 조사하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 청측면 상추와 적측면 상추의 생육조사 결과 세 종류 비료를  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 와  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 농도를 조절한 처리간에는 유의적인 차이를 발견할 수 없었지만 비료 종류에 따라 성장 반응의 차이가 뚜렷하였다. 청측면 상추의 초장은 NF  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 BF  $100$  또는  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  처리가 15.7~16.1cm의 범위로 조사되어 AF  $100$ 과  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  및 NF  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  처리보다 유의하게 길었다. 초폭은 NF  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , BF  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 과 BF  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 가 각각 25.6cm, 25.8cm 및 25.2cm였으며 AF를  $100$  또는  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리들보다 유의하게 넓었다. 청측면 상추의 식물체 당 생체중과 건물중도 BF  $200$  시비구가 각각 19.8g 과 1.49g으로 다른 시비구보다 유의하게 무거웠으며, 동일한 시비농도를 적용한 경우 BF, NF 그리고 AF 순으로 가벼워졌고, 비료종류에 따른 성장 반응이 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있었다.

이상과 같이 BF를 시비한 처리구의 생장이 우수하고 AF를 시비한 처리의 생장이 저조하였던 것은 Table 1에 나타낸 비료의 조성구와 비료 조성에 영향 받은 근권환경 변화때문이라고 판단한다. AF는 Ca과 Mg을 포함하지

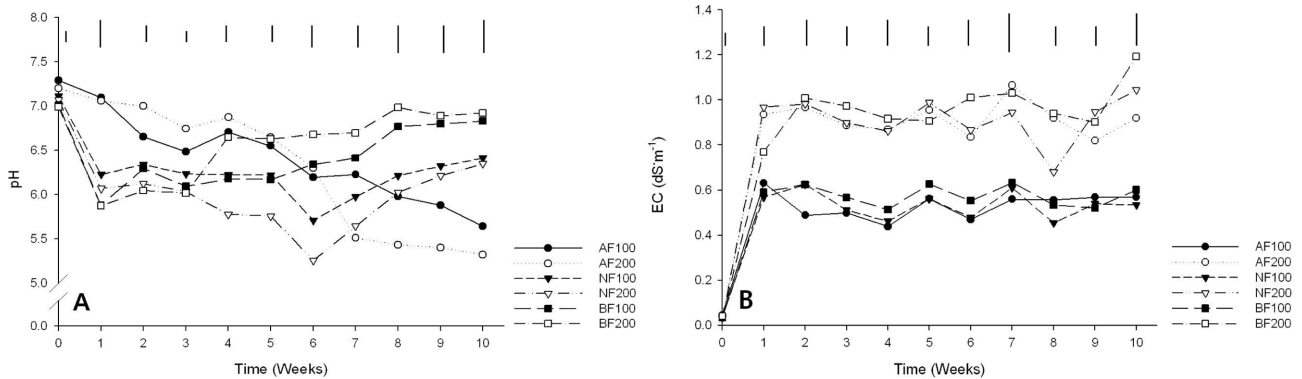
**Table 2.** Influence of compositions and concentrations of fertilizer solution on growth of Blue Leaf Lettuce and Red Leaf Lettuce 10 weeks after transplant.

Treatment <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)	Chlorophyll content (SPAD)	
Blue Leaf Lettuce	AF100	11.9 b <sup>y</sup>	15.7 c	6.4 c	10.6 c	5.9 d	3.89 d	0.36 e	19.5 b
	AF200	11.3 b	16.7 c	6.2 c	10.6 c	5.7 d	3.71 d	0.37 e	17.6 b
	NF100	13.1 b	25.6 a	8.2 a	14.3 b	9.7 b	13.89 b	1.05 c	19.2 b
	NF200	15.7 a	22.6 b	8.2 a	15.0 b	8.6 c	11.41 c	0.83 d	24.0 a
	BF100	16.2 a	25.8 a	7.4 b	16.6 a	10.5 a	16.02 b	1.29 b	18.9 b
	BF200	16.1 a	25.2 a	8.6 a	17.4 a	10.6 a	19.84 a	1.49 a	18.9 b
Red Leaf Lettuce	AF100	9.3 c	16.4 c	7.2 b	10.3 c	8.6 c	6.71 d	0.53 c	23.6 a
	AF200	10.0 c	17.2 c	5.8 c	10.2 c	8.3 c	6.74 d	0.58 c	21.5 b
	NF100	11.8 b	21.8 b	7.0 b	13.5 a	12.3 a	15.40 b	1.13 b	19.8 b
	NF200	13.3 a	21.1 b	7.8 ab	12.3 b	10.1 b	12.96 c	0.98 b	20.9 b
	BF100	13.4 a	24.1 a	7.2 b	14.3 a	13.2 a	18.76 a	1.48 a	17.5 c
	BF200	12.5 ab	24.2 a	8.2 a	13.5 a	12.5 a	17.42 a	1.34 a	19.8 b
<b>Significance</b>									
Concentration	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Fertilizer	***	***	***	***	***	***	***	ns	
Cultivar	***	ns	ns	**	***	ns	ns	ns	

<sup>z</sup>AF100: Acidic Fertilizer  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , AF200: Acidic Fertilizer  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , NF100: Neutral Fertilizer  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , NF200: Neutral Fertilizer  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , BF100: Basic Fertilizer  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , BF200: Basic Fertilizer  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ .

<sup>y</sup>Mean separation within columns by Duncan's multiple range test,  $P < 0.05$ .

ns, \*\*, \*\*\* Nonsignificant or significant at  $P < 0.01$  or  $0.001$ , respectively.



**Fig. 1.** Changes in soil solution pH (A) and EC (B) of root media during cultivation of blue leaf lettuce as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution. Vertical bars represent standard error among treatments within each week.

않고, 전체질소 중 50%가  $\text{NH}_4\text{-N}$ 으로 구성되어 있으며, AF를 시비한 처리는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 근권부의 pH가 산성으로 변하였다. 따라서 결핍된 Ca 및 Mg, 그리고 산성으로 변한 근권부의 pH가 작물 생육이 저조한 원인이 되었다고 생각한다. 또한 BF를 시비할 경우에도  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 보다는  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 농도를 조절하여 시비하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

세 종류 비료에 대한 적축면 상추의 성장 반응도 청축면 상추의 반응과 유사하였다. 적축면 상추에 NF  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  또는 BF  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 시비한 처리의 초장이 13.3cm 및 13.4cm로 다른 비료를 시비한 처리보다 컸고, 두 처리의 엽수 또한 7.8개 및 8.2개로 다른 시비구보다 유의하게 많았다. 적축면 상추의 생체중과 건물중 생산도 비료 종류에 따른 반응의 차이가 뚜렷하였으며 BF 비료를 시비한 처리의 생장이 가장 우수하였고, NF 및 AF 비료의 순으로 생장이 저조해지는 경향이었으며, 통계적인 차이가 뚜렷하였다. 그러나 동일한 종류의 비료를 시비한 경우 청축면 상추는 BF를  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리가  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리보다 생체중 및 건물중이 무거웠지만 적축면 상추는 동일한 비료를  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리가  $200\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  시비한 처리보다 생체중 및 건물중이 무거웠으며 비료 농도에 대한 반응이 차이가 있음을 알 수 있었다. 이러한 식물 생육반응의 차이는 품종별 흡비특성에 기인한 결과라고 생각한다. 또한 본 연구 결과를 고려할 때 적축면 상추를 재배하기 위해서는 알칼리성 비료를 농도를  $100\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 조절하여 시비하는 것이 바람직하다고 생각한다.

동일한 비료와 농도를 적용한 두 종류 상추에서 초장, 엽장 및 엽폭의 품종간 차이가 발생한 것은 각 상추 품종의 형태적인 특성 차이에 기인한 것으로 판단하였다. 청축면 상추가 적축면 상추보다 초장 및 엽장은 길지만

엽폭은 적축면 상추가 더 넓어 품종의 특성을 나타내고 있다고 사료된다.

### 2. 근권부 pH 및 EC

산성, 중성 및 알칼리성 비료의 농도를 변화시켜 여름 청축면 상추에 시비한 결과 정식 6주까지는 비료의 종류에 따른 차이가 뚜렷하지 않았으나 6주 이후부터 비료 종류별 pH 변화의 차이가 비교적 뚜렷하였다. AF100과 AF200을 시비한 처리는 근권부의 pH가 지속적으로 낮아져 정식 10주 후 각각 5.64와 5.32로 pH가 측정되었지만, 중성비료를 시비한 NF100과 NF200 처리는 정식 6주 후까지 pH가 낮아진 다음 7주 후부터 점점 상승하여 10주 후에 6.41과 pH 6.35에 도달하였다. 알칼리성 비료를 처리한 경우 4주차 이후 pH가 지속적으로 상승하여 10주 후 6.83과 6.92까지 높아졌다(Fig. 1).

홍염 적축면 상추에 세 종류의 비료를 시비한 결과 여름 청축면 상추에 비해 처리별 pH의 차이가 더욱 뚜렷하였다. 비료 종류에 따라 정식 4주 이후부터 처리별 근권부 pH의 차이가 발생하고 시간이 경과함에 따라 그 차이가 커지는 경향이였다. AF100과 AF200 처리는 pH가 점점 낮아져 정식 10주 후 각각 5.99 및 6.03으로 측정되었지만 중성 및 알칼리성 비료를 시비한 처리들은 pH가 점점 상승하여 10주 후 NF100과 NF200 처리는 각각 6.89와 6.83, 그리고 BF100과 BF200은 각각 7.14와 7.11까지 상승하였다(Fig. 2).

이와 같이 비료 종류에 따라 근권부 pH가 다른 양상을 보이며 변한 것은 개별 비료의 조성에 영향을 받았다고 판단한다. 본 연구에서 조제된 비료 중 산성 비료는 총 질소 중  $\text{NH}_4^+$ 의 비율이 높은 반면 알칼리성 비료는  $\text{NO}_3^-$ 의 비율이 높았다. Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 작물의 뿌리가 양이온을 흡수할 경우 뿌리로부터  $\text{H}^+$ 이 용출되어 근권부의 pH를 산성으로 변화시키며, 음

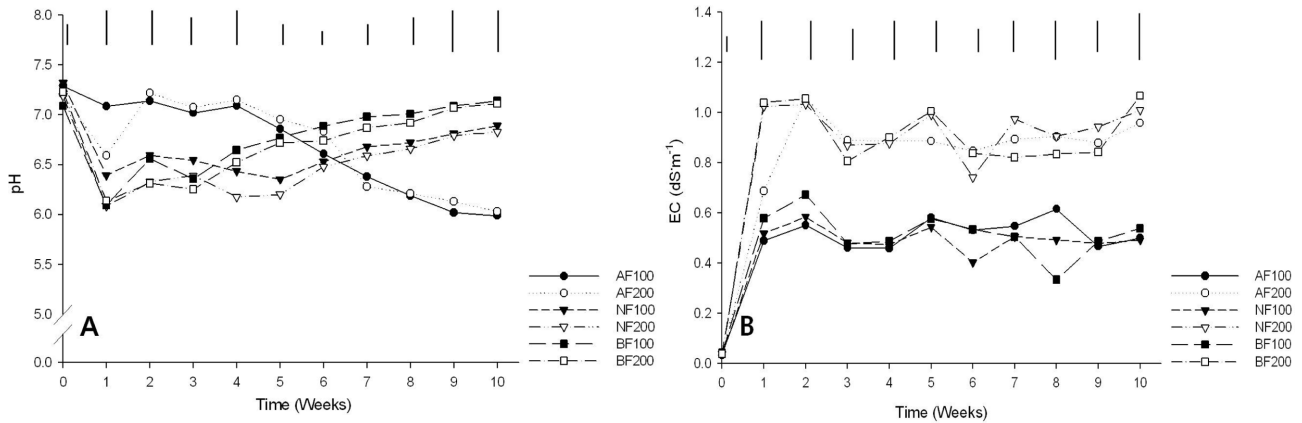


Fig. 2. Changes in soil solution pH (A) and EC (B) of root media during cultivation of red leaf lettuce as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution. Vertical bars represent standard error among treatments within each week.

이온을 흡수할 경우 OH<sup>-</sup>이 용출되어 근권부의 pH를 알칼리로 변화시킨다. Miller 등(2011)도 비료의 조성을 변화시켜 작물을 재배하면서 유사한 보고를 하였으며, 본 연구에서 비료의 종류별 근권부 pH가 다르게 측정된 것을 뒷받침하고 있다.

그러나 Nelson(2003) 및 Silber(2008)이 보고한 바와 같이 양이온교환용량이 낮은 무토양 배지에서 작물을 재배할 경우 근권부의 pH를 5.6~6.2 범위로 조절하는 것이 바람직하다. 또한 작물을 재배하면서 근권부의 pH 변화는 비료의 종류와 작물 자체의 흡비 특성으로 인해 변화될 수 있으며, 청숙면 상추의 경우 NF100, 적숙면 상추의 경우 초기에는 NF100을 그리고 6주 이후의 생육 후반기에는 AF 100 또는 AF 200 비료를 시비하여야 원하는 수준으로 근권부 pH를 조절할 수 있다고 판단하였다.

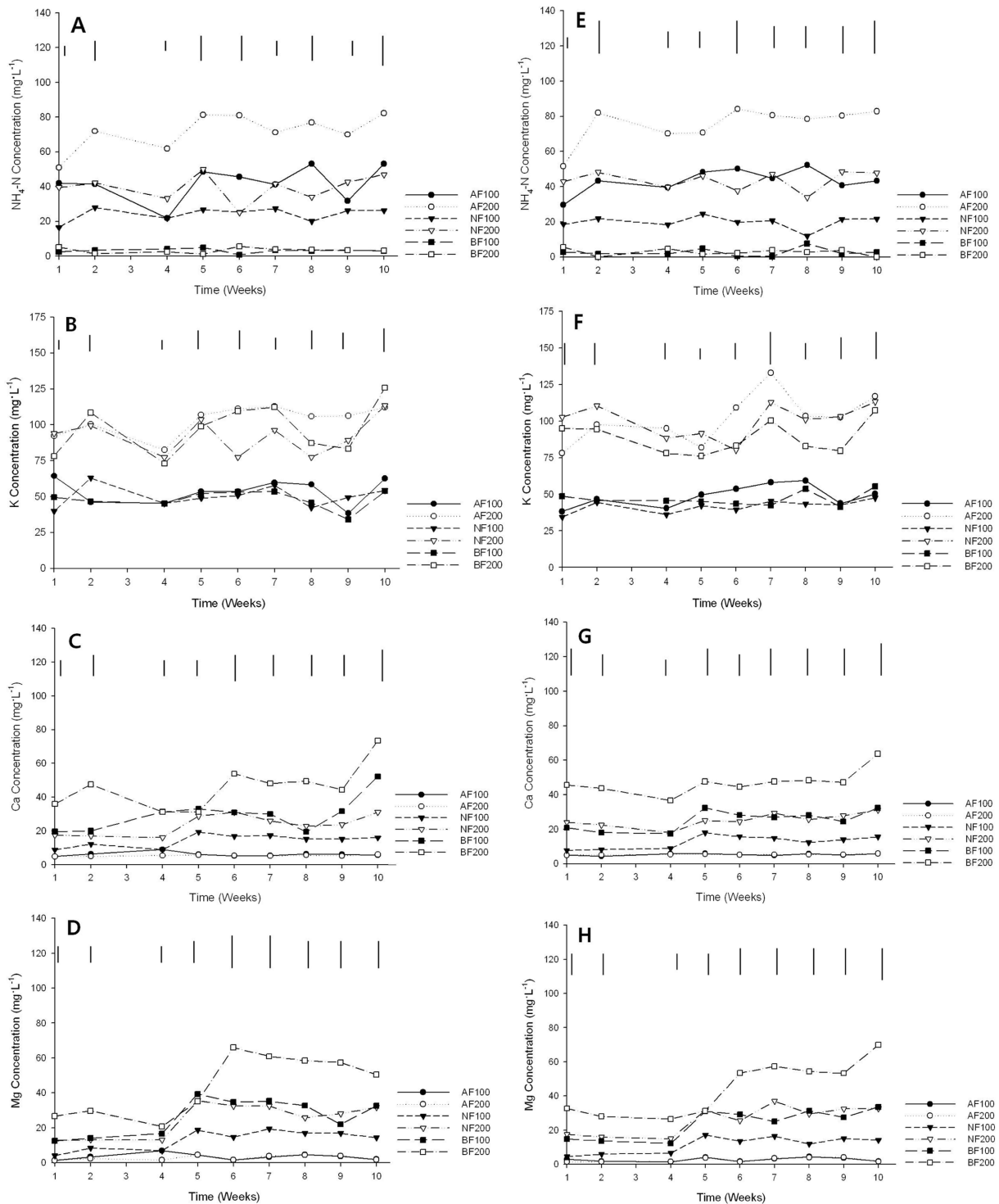
근권부의 EC는 여름 청숙면 상추와 홍염 적숙면 상추 모두 비료의 종류보다 개별 비료의 농도에 더 큰 영향을 받았다. 동일한 농도를 적용한 경우 세 종류 상토의 근권부 전기전도도가 유사한 수준으로 측정되었으며(Fig. 1과 Fig. 2), 세 종류의 비료 모두 100mg·L<sup>-1</sup>보다 200mg·L<sup>-1</sup>으로 농도를 조절하여 시비한 처리들의 EC가 약 0.2~0.4dS·m<sup>-1</sup> 더 높았다. 그러나 Table 1에 나타난 생육 조사 결과를 고려할 때 청숙면 상추는 알칼리성 비료를 200mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리의 성장량이 가장 많았지만 적숙면 상추는 중성 또는 알칼리성 비료를 200mg·L<sup>-1</sup>으로 시비한 처리보다 100mg·L<sup>-1</sup>으로 농도를 조절한 처리의 지상부 성장량이 많았다. 이러한 결과는 각 품종의 내염성과 흡비특성이 주요 원인이 되었다고 판단하며 청숙면 상추는 근권부의 전기전도도를 약 1.0dS·m<sup>-1</sup> 이하로, 그리고 적숙면 상추는 0.6dS·m<sup>-1</sup> 이하로 조절하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

### 3. 근권부 무기이온 농도

여름 청숙면 상추와 홍염 적숙면 상추를 재배하면서 비료 조성 및 농도 차이에 따른 근권부 무기원소 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 여름 청숙면 상추를 재배하면서 근권부의 NH<sub>4</sub>-N 농도를 분석한 결과 AF200 처리가 가장 높은 농도로 분석되었고, 중성 비료, 알칼리성 비료 순으로 농도가 낮아졌다. AF200 처리와 알칼리 비료를 시비한 BF100 및 BF200 처리의 근권부 NH<sub>4</sub>-N 농도 차이는 약 80mg·L<sup>-1</sup> 정도였으며, 이는 Table 1에 나타난 비료의 조성에 뚜렷하게 영향을 받았음을 나타낸다. 홍염 적숙면 상추의 경우도 비슷한 경향을 보였으며 산성 비료, 중성 비료, 알칼리 비료 순으로 근권부 NH<sub>4</sub>-N 농도가 낮아졌다.

토양용액의 K 농도 또한 비료 종류보다 비료의 농도에 더 큰 영향을 받았다고 판단한다. 청숙면 상추를 재배하면서 세 종류 비료를 100mg·L<sup>-1</sup>으로 농도를 조절 한 처리구는 정식 후 10주간 K 농도가 34.1~62.5mg·L<sup>-1</sup> 범위로 분석되었지만 세 종류 비료를 200mg·L<sup>-1</sup>으로 시비한 처리들은 정식 10주 후 125.8mg·L<sup>-1</sup>로 분석되어 2배 이상 높았다. 또한 정식 4주 후까지는 200mg·L<sup>-1</sup>으로 농도를 조절한 처리들 간 차이가 없었지만 4주 이후 처리간 차이가 발생하였고, 산성비료를 시비한 처리에서 높게 분석되었다. 이는 뿌리로부터 발생한 H<sup>+</sup>의 양이 산성비료를 시비한 처리에서 알칼리 비료를 시비한 처리보다 많았고, 상토의 양이온치환부위에서 H<sup>+</sup>와 K<sup>+</sup> 간 경쟁이 발생하였으며, 흡착하지 못한 K가 토양용액에 존재하면서 K의 농도가 높아진 원인이 되었다고 생각하며 Taylor(2008)도 유사한 보고를 한 바 있다. 적숙면 상추를 재배한 토양 K 농도도 다소간의 차이가 있었지만 청숙면 상추를 재배한 토양 K 농도와 유사한 경향을 보였다.

근권부 Ca 및 Mg 농도는 세 종류 비료 중 알칼리성

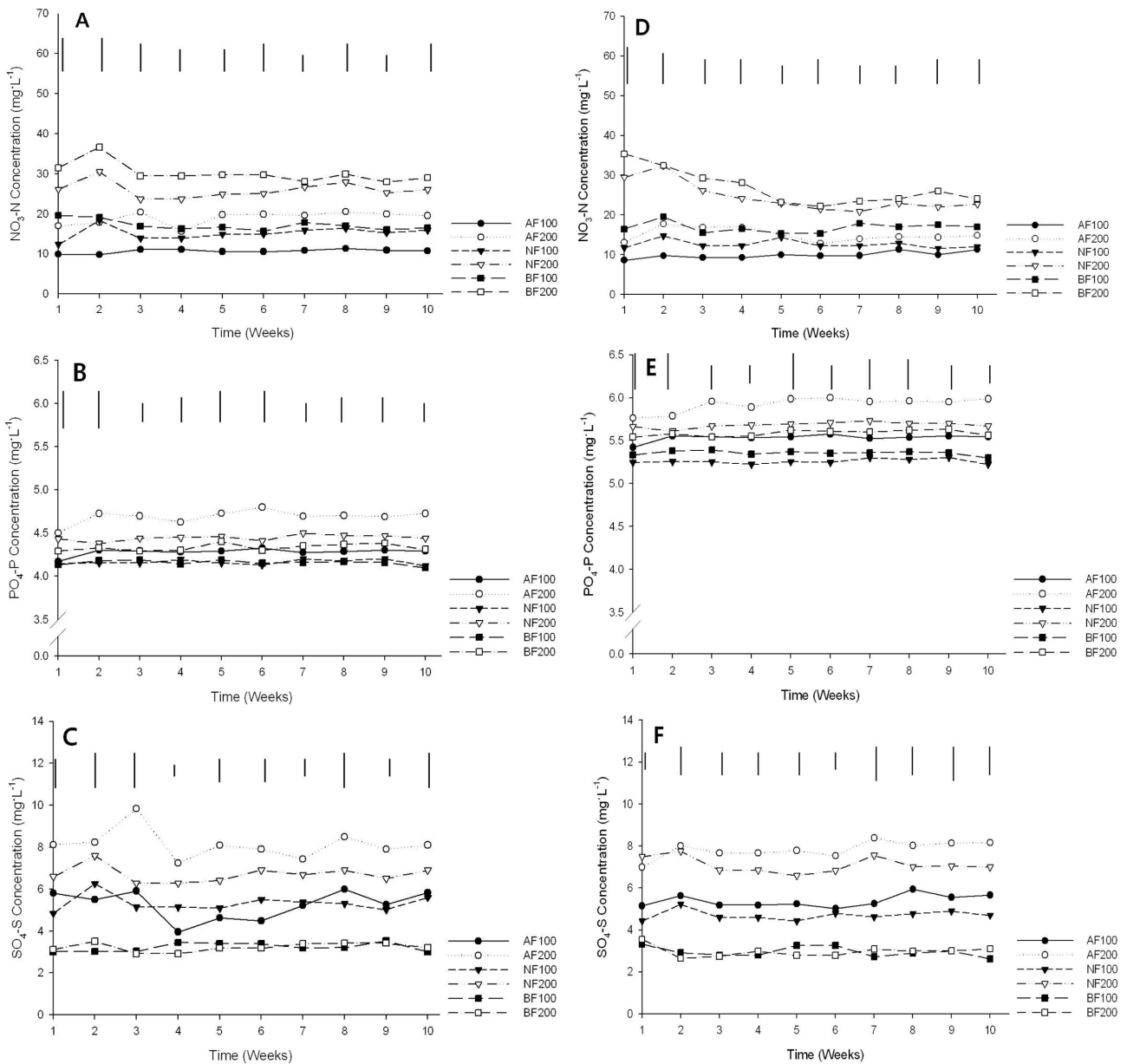


**Fig. 3.** Changes in concentrations of macro cations in soil solution of root media during cultivation of blue leaf lettuce (A: NH<sub>4</sub>-N; B: K; C: Ca; D: Mg) and red leaf lettuce (E: NH<sub>4</sub>-N; F: K; G: Ca; H: Mg) as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution. Vertical bars represent standard error among treatments within each week.

비료의 농도가 가장 높았고, 중성 비료, 그리고 산성비료의 순으로 농도가 낮아졌으며, 각 비료 내에서는 100mg · L<sup>-1</sup>보다 200mg · L<sup>-1</sup>으로 농도를 조절한 처리들의 농도

가 높게 분석되었다. 이와 같이 비료의 종류에 따라 Ca 및 Mg 농도의 차이가 발생한 것은 Table 1에 나타난 바와 같이 비료의 조성에 영향을 받았기 때문이라고 판

관비용액의 비료 조성 및 농도가 상추의 성장과 근권 환경 변화에 미치는 영향



**Fig. 4.** Changes in concentrations of macro anions in soil solution of root media during cultivation of blue leaf lettuce (A: NO<sub>3</sub>-N; B: PO<sub>4</sub>-P; C: SO<sub>4</sub>-S) and red leaf lettuce (D: NO<sub>3</sub>-N; E: PO<sub>4</sub>-P; F: SO<sub>4</sub>-S) as influenced by compositions and concentrations of fertilizer solution. Vertical bars represent standard error among treatments within each week.

단하였다.

상토의 음이온 농도를 분석한 결과 청숙면 상추와 적숙면 상추 모두 비슷한 경향을 보이며 변화되었다(Fig. 4). 청숙면 상추의 근권부 NO<sub>3</sub>-N 농도를 분석한 결과 세 종류 비료를 200mg · L<sup>-1</sup>로 시비한 처리들이 100mg · L<sup>-1</sup>로 시비한 처리들보다 더 높은 농도로 분석되었다. 세 종류 비료를 시비한 처리들 간에는 알칼리 비료, 중성비료, 산성비료 순으로 농도가 낮아지는 경향을 볼 수 있었다. 이는 Table 1에 나타난 비료의 조성에서 원인을

찾을 수 있다고 생각한다. 산성비료의 경우 총 질소 중 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 비율이 동일하였지만, 알칼리성 비료는 총 질소 중 97%가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>였고 3%가 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>였으며 비료의 조성이 근권부 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도 변화에 영향을 미친 주요 원인이라고 판단하였다.

토양용액의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 농도는 청숙면 상추와 적숙면 상추 가 비슷한 경향을 보이며 유지되었지만 적숙면 상추를 재배한 처리들이 청숙면 상추에 동일한 비료를 시비한 처리들보다 약 1mg · L<sup>-1</sup> 정도 낮은 농도로 분석되었다.

Nelson(2003)은 근권부의 pH가 저하될 때 사양토에서는 인산이 Al 또는 Fe와 결합하여 불용화되지만 인공 배지에서는 Al과 Fe의 상대적인 농도가 낮아 이들 원소와 결합하는 인산의 양이 극히 적으며 오히려 근권부에서 활성도가 증가한다고 하였다. 따라서 가용화된 인산이 관수 시 쉽게 배수공을 통해 용탈되어 근권부의 농도가 낮아지는 원인이 된다고 하였다. 본 연구에서도 청축면 상추를 재배한 상토의 pH가 적축면 상추를 재배한 상토의 pH 보다 낮았으며(Fig. 1 및 2), Nelson(2003)이 보고한 바와 유사한 결과를 초래하였다고 판단한다.

그러나 세 종류 비료간 비교에서는 산성 비료, 중성 비료, 알칼리 비료 순으로  $PO_4^{3-}$  농도가 낮아졌다. 비료간 차이가 발생한 것은 비료의 조성(Table 1)과 근권부의 pH(Fig. 1 및 2)의 차이에서 원인을 찾을 수 있다. Lindsay(2001)와 Nelson(2003)에 의하면 토양 용액에 존재하는 Ca과 Mg은 pH가 상승할 때 활성도가 증가하고, 인산은 Ca 또는 Mg과 결합하여 쉽게 불용화된다. 본 연구에서 알칼리성 비료는 중성 또는 산성 비료보다 월등히 많은 Ca과 Mg이 포함되도록 조제되었으며, 토양용액의 높은 Ca 및 Mg 농도가 인산과 결합하여 불용화시키므로 인산 농도가 낮아진 원인이 되었다고 판단한다. 아울러 동일한 농도로 조절한 처리들 중 알칼리 비료를 시비한 처리의 근권부 pH가 높았으며, pH가 상승하면서 두 원소의 활성도가 증가하고, 활성도 증가에 따라 더 많은 인산을 불용화시켜 토양용액 중 농도가 낮아진 원인이 되었다고 판단한다.

근권부의  $SO_4^{2-}$  농도의 변화 또한 산성 비료와 중성 비료를 처리한 근권부 농도가 알칼리 비료를 처리한 근권부보다 농도가 높았으며 이는 비료조성상 산성 비료 및 중성 비료의  $SO_4$ -S 농도가 높았던 것이 원인이 되었다고 판단하였다.

## 적 요

비료의 종류 및 농도가 청축면 및 적축면 상추의 생장과 근권부 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 수행하였다. 연구 목적을 달성하기 위해 산성(AF), 중성(NF) 및 알칼리성(BF)의 세 종류 비료 처리용액을 만들고, 각각 질소 기준 100 또는 200mg · L<sup>-1</sup>로 농도를 조절하여 시비하면서 근권부 화학성 변화와 식물 생장에 미치는 영향을 밝혔다. 청축면 상추의 정식 10주 후 성장에서 AF를 시비한 처리보다 BF를 시비한 처리의 생체중과 건물중이 무거웠고, BF를 200mg · L<sup>-1</sup>로 시비한 처리의 생장이 가장 우수하였다. 적축면 상추도 BF 시비구의 생장이 가장 우수하였고, NF 및 AF 순으로 저조해지는 경향이있었으며 각각의 비료를 200mg · L<sup>-1</sup>

으로 시비한 처리들보다 100mg · L<sup>-1</sup>으로 시비한 처리들의 생장이 우수하였다. 토양 pH는 정식 6주 후부터 처리간 뚜렷한 차이를 보이기 시작하였다. 정식 10주 후 농도를 200mg · L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리가 100mg · L<sup>-1</sup> 처리보다 AF 시비구는 pH가 더욱 낮았고 BF 시비구는 더욱 높게 측정되었다. 두 종류의 상추를 재배하면서 세 종류 비료의 농도를 200mg · L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리들의 EC가 100mg · L<sup>-1</sup>보다 약 0.2~0.4dS · m<sup>-1</sup> 더 높았다. 산성비료를 시비한 처리들은 토양용액의 NH<sub>4</sub>-N 농도가 높았고, 알칼리 비료를 시비한 처리들은 Ca과 Mg 농도가 높았다. AF 시비구에 비해 BF 시비구의 토양 NO<sub>3</sub>-N 농도가 높았으며, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 농도는 AF, NF 및 BF 시비구 순으로 농도가 낮아지는 경향이였다. 토양용액의 무기이온 농도에서 차이가 발생하는 것은 비료의 조성 과 근권부 pH 변화에 기인한 결과라고 판단하였다.

**추가 주제어** : 시비농도, EC, 비료 조성, pH

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부 기획과제 “식물공장 핵심요소기술 개발 및 모델 구축”에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- 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.
- Argo, W.R. 1998. Root medium chemical properties. *Hort-Technology* 8:486-494.
- Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. PhD Diss., North Carolina State Univ., Raleigh, NC, USA.
- Choi, J.M., I.Y. Kim, and B.K. Kim. 2009. Root Substrates. Hackyesa. Daejeon, Korea.
- Hamrick, D. 2003. Ball red book: Crop production. 17th ed. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. University of California Agricultural Experiment Station, Circular 347.
- Lim, S.O. 2005. Fertilizer: Theory and practice in nutrient supply. Ilsin-sa. Seoul, Korea.
- Lindsay, W.L. 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press. Caldwell, NJ.
- Miller, C.T., N.S. Mattson, and W.B. Miller. 2011. Fertilizer composition, concentration, and irrigation method affect growth and development of *Oxalis regnellii* and *O. triangulo-*



- laris*. HortScience 46:1110-1115.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Shin, B.K., J.E. Son, and J.M. Choi. 2012. Physico-chemical properties of inorganic materials currently used as root medium components for crop production in Korean plant factories. J. Bio-Env. Con. 21:336-342.
- Silber, A. 2008. Chemical characteristics of soilless media. p. 210-244. In M. Raviv and J.H. Lieth (eds.). Soilless culture; Theory and practice. Elsevier, New York.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1997. Plug & transplant production: a grower's guide. Ball Publishing. Batavia. IL.
- Taylor, M.D., P.V. Nelson, and J.M. Frantz. 2008. Substrate acidification by geranium: temperature effects. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 133:508-514.