

PLANT & FOREST

Influence of pre-planting application of dolomite at various rates in coir-dust containing root media on the growth of red-leaf lettuce

Chang Hyeon Kim, Jong Myung Choi*

Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

Abstract

This research was conducted to evaluate various levels of dolomitic lime incorporated as pre-planting fertilizers on the growth of red-leaf lettuce. To achieve this, three root media were formulated by mixing coir dust with expanded rice hull (CD+ERH, 8:2, v/v), carbonized rice hull (CD+CRH, 6:4, v/v), and ground pine bark (CD+GRPB, 6:4, v/v). During formulation, equal amounts of essential nutrients, except dolomitic lime, were incorporated into all root media and the levels of dolomitic lime were varied from 0 to 7.5 g L⁻¹ at 1.5 g increments. Seedlings of red-leaf lettuces at the 3rd leaf stage were transplanted into each medium treatment. Crop growths were measured 5 weeks after transplant and soil solutions were collected every week and analyzed for pH, EC, and nutrient concentrations. The treatments showing the heaviest fresh and dry weights in CD+ERH, CD+CRH, and CD+GRPB were 4.5 g, 4.5 g, and 7.5 g L⁻¹ of dolomite, respectively. The pHs of three root media yielding the highest crop growths were in the ranges of 6.4 to 7.1. These ECs in CD+CRH medium were around 1.0 dS m⁻¹ higher than those of CD+ERH and CD+GRPB when application rates of dolomitic lime were equal. K⁺ concentrations were higher than Ca⁺² and Mg⁺² concentrations until week 2 in three root media. But Ca⁺² and Mg⁺² concentrations were higher than K⁺ concentrations after week 3 in all root media. The concentrations of PO₄⁻³ in all root media got abruptly lower until week 2. These results indicate that appropriate levels of dolomitic lime, as pre-planting nutrient charge fertilizers in CD+ERH and CD+GRPB media, are 4.5 and 7.5 g L⁻¹, respectively.

Keywords: carbonized rice-hull, expanded rice-hull, pine bark, plant nutrition

Introduction

원예작물 재배용 혼합상토는 주로 보수력이 높은 코이어더스트 혹은 피트모스와 같은 재료와 더불어 펄라이트와 같이 입자가 크고 통기성을 높일 수 있는 물질을 포함하고 있다. 코이어더스트는 양이온치환용량이 높고 분해에 저항성이 있을 뿐만 아니라 피트모스에 비해 그 운송비용 등이 저렴하여 원예작물에서 많이 사용되고 있다(Choi et al., 2006). 또한 국내에서 산업부산물로 생산되는 물질을 혼합상토 구성재료로 활용할 경우, 수입을 통해 추가적으로 발생하는 비용을 줄여 최종적으로 작물 생산비용의 절감효과를 유발할 수 있으므로, 벼의 도정과정에 발생하



OPEN ACCESS

Citation: Kim CH, Choi JM. 2016. Influence of pre-planting application of dolomite at various rates in coir-dust containing root media on the growth of red-leaf lettuce. Korean Journal of Agricultural Science 43:176-185

DOI: <http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160020>

Editor: Kee Woong Park, Chungnam National University, Korea

Received: April, 14, 2016

Revised: June 26, 2016

Accepted: June 27, 2016

Copyright: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 왕겨와 왕겨를 가공한 훈탄, 그리고 수피를 부숙하여 만든 혼합상토 재료와 코이어더스트가 포함된 혼합상토를 개발하기 위한 연구가 수행되었다(Choi et al., 2011, 2014).

용기 재배시 코이어더스트에 대한 수피, 왕겨 및 훈탄의 적절한 혼합비율 그리고 혼합 후의 물리적인 특성과 화학적인 특성이 밝혀졌지만 작물 생산량이 비료의 적절한 공급에 의해 큰 영향을 받음에도 관련 연구가 수행되지 않았다. 작물 재배를 위한 비료공급은 관행적으로 기비와 추비로 구분하며, 기비의 경우 상토재료의 화학성을 정확하게 분석하고 초기 성장을 위해 필요한 성분들이 포함된 비료가 상토 조제과정에서 적절한 비율로 혼합되어야 한다(Sonneveld and Voogt, 2009). 보편적으로 노지작물 재배를 위한 시비량은 빗물이나 관개수 등에 의해 유실되는 양을 고려하여 작물의 흡비량 보다 2배 이상 높게 설정되어 있고, 상토를 사용한 용기재배는 노지에 비해 유실되는 양이 매우 적고 비료의 종류 및 양에 따라 작물의 생장이 민감하게 반응하므로 보다 정밀한 기비의 조성이 필요하다(Jones, 2005).

기비의 조성에는 N, P, K 등 필수무기이온을 함유한 비료와 pH를 조절하기 위한 석회질 비료가 포함된다. 노지토양에 비해 완충력이 낮은 혼합상토에 용해도가 높은 소석회를 처리하면 토양 pH가 급격하게 상승하고 뿌리에 피해를 발생시킨다. 탄산석회(CaCO₃)나 고토석회[CaMg(CO₃)₂]는 용해도가 낮고(Lim, 2005; Nelson, 2003) 약 4-5주에 걸쳐서 점차적으로 pH를 높여주므로 혼합상토에 적합하다(Nelson, 2003). 이때 포함되는 고토석회는 pH를 교정함과 동시에 토양수에 용해된 후 Ca²⁺과 Mg²⁺ 이온으로 변화되어 비료로서의 기능을 수행한다.

따라서 코이어더스트와 팽연왕겨, 훈탄, 분쇄수피를 토대로 만들어진 용기재배용 혼합상토에서 기비로 고토석회의 농도를 다르게 처리해줄 때 근권부 pH, EC, 그리고 다량원소의 농도 변화와 적축면 상추의 생육에 미치는 영향을 구명하기 위해 본 연구를 수행하였다.

Materials and Methods

(주)신성미네랄(Shinsung Mineral Co., Ltd. Jincheon, Korea)이 인도에서 수입한 코이어더스트(이하 CD), (주)대원 GSI (Deawon GSI Co., Ltd. Chilgok, Korea)이 생산한 팽연왕겨(Expanded rice hull, 이하 ERH)와 훈탄(Carbonized rice hull, 이하 CRH) 및 금정원상토(Gumjungwon Co., Ltd. Yeongi, Korea)에서 생산한 부숙 분쇄수피(ground and aged pine bark, 이하 GAPB)를 수집한 후 CD+ERH (8:2, v/v), CD+CRH (6:4, v/v) 및 CD+GAPB (8:2, v/v)의 세 종류 상토를 조제하였다.

조제된 세 종류 상토에 필수원소를 공급하기 위해 고토석회를 제외한 다음의 비료를 동일한 비율로 혼합하였다(g L⁻¹): CaSO₄·2H₂O 0.75, MgSO₄·7H₂O 0.15, Ca(NO₃)₂·4H₂O 0.6, KNO₃ 0.6, 용과린(Fused superphosphate, KG chemical Co., Ltd. Sunnam, Korea) 0.6, Micronutrient mix (Nutrichem Kombi-F, NU3 N.V. Co., Inc. Grobbendonk, Belgium) 2. 고토석회의 경우 세 종류 상토에 동일한 수준을 적용한 6처리를 두어 기비로 혼합하였으며 혼합량은 0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5 g L⁻¹로 조절하였고 기비를 포함한 상토는 300 mL 용량의 플라스틱 포트에 충전하였다. 이후 25°C의 성장상에서 발아시키고 본엽 2-3매인 적축면 상추(*Lactuca sativa* L.) 유묘를 포트 당 1 식물체를 정식하였고, 정식된 포트는 충남대학교 유리 온실에 치상하였다. 실험을 위해 “세종류 상토 × 고토석회 시비수준 6처리 × 처리당 5반복 × 반복당 3식물체”로 총 270포트를 완전임의로 배치하였다.

재배기간 중 관수와 추비는 작물 정식 후 상토 표면이 건조해지기 시작하면서 포트 전체의 무게가 관수 직 후에 비해 40-50% 수준으로 낮아졌다고 판단되는 시기에 하였으며, 포트 당 150 mL씩 두상살수 하였고, 배액량은 총 관수 또는 관비한 양의 약 30%정도였다. 뿌리가 활착되었다고 판단된 정식 1주 이후 매주 1회 질소기준 100 mg L⁻¹의 농도로 조절한 중성비료[MgSO₄ 0.026 g L⁻¹, NH₄NO₃ 0.023 g L⁻¹, Ca(NO₃)₂ 0.03 g L⁻¹, KNO₃ 0.052 g L⁻¹, NH₄H₂PO₄ 0.007 g L⁻¹, 미량원소 0.2 g L⁻¹]를 포트 당 150 mL씩 관비하였고, 이 외에 관수가 필요한 시점에는 증류수를 관수하였다.

재배 기간 중 환경조건은 주간 평균온도 30°C, 야간 평균온도 19°C, 상대습도 60-80%, 주간 평균 광합성 유효광양

자속(photosynthetic photon flux)은 $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ 로 조절되었다.

근권부 화학성 분석을 위해 매주 1회 관비용액을 처리한 2시간 후에 진공펌프(DOA-P704-AC, Gast manufacturing, Inc. USA)를 사용하여 포트 하단부에서 약 15 mL의 시료를 채취하였다. 시료 채취 후 화학적 변화를 막기 위해 phenylmercuric acetate를 55.5 g L^{-1} 로 희석하여 $1 \mu\text{L}$ 첨가하였고, 시료의 pH 및 EC (Multi meter CP-500L, Insteck Co. Sungnam, Korea)를 측정하였다. 또한 Ion chromatography (Waters 432 conductivity, Younglin, Seoul, Korea)를 사용하여 근권부 무기이온 농도를 분석하였다. 또한 정식 5주 후 지상부의 초장, 초폭, 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중, 그리고 건물중을 조사하였으며, 엽록소 측정계(chlorophyll meter, Konica Minolta Sensing, INC., Japan)를 사용한 SPAD값을 측정하였다.

생육 조사 및 근권부 화학성 분석을 통해 획득한 데이터는 CoStat (Monetary, California, USA) 프로그램을 사용하여 $p \leq 0.05$ 수준에서 고토석회 시비수준별 차이를 비교하였고 1, 2차항 회귀분석을 하여 경향을 파악하고자 하였다.

Results and Discussion

CD+ERH, CD+CRH 그리고 CD+GAPB 혼합상토에 기비로 혼합된 고토석회 시비량을 변화시키고 적축면 상추를 재배한 결과를 Table 1, 2 및 3에 나타내었다. CD+ERH는 고토석회 무처리부터 3.0 g L^{-1} 까지 시비수준에 따른 지상부 성장량에서 처리간 차이가 인정되지 않았다. 그러나 4.5 g L^{-1} 시비구와 6.0 g L^{-1} 시비구의 생체중이 각각 10.6 g 과 9.72 g 그리고 건물중이 0.52 g 과 0.50 g 으로 다른 처리들보다 유의하게 무거웠다. CD+CRH는 고토석회 무처리와 1.5 g L^{-1} 시비구가 다른 네 처리들보다 유의하게 저조한 지상부 성장량을 보였고, 3.0 g L^{-1} 시비구부터 7.5 g L^{-1} 시비구까지는 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 비록 이들 네 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았음에도 불구하고 근권부 pH (Fig. 1) 및 EC (Fig. 2) 등을 고려할 때 실제 작물 생산에 적용하기 위해서는 산술적인 성장량이 가장 우수하였던 4.5 g L^{-1} 와 동일하게 고토석회의 시비수준을 조절하는 것이 바람직하다고 생각한다. CD+GAPB에 고토석회의 시비수준을 높일수록 적축면 상추의 지상부 생체중 및 건물중이 무거웠으며, 6.0 과 7.5 g L^{-1} 처리의 생체중이 8.64 g 과 11.6 g 그리고 건물중이 0.42 및 0.65 g 으로 다른 시비구 보다 유의하게 무거웠다.

이상의 결과는 상토를 구성하는 개별 재료별로 pH가 다르고 구성재료의 종류 및 비율을 조절하여 조제한 혼합상토 역시 pH가 다를 수밖에 없음을 의미한다. pH의 변화에 따라 근권부에 존재하는 각종 무기원소의 가용성 및 작물에 의한 흡수량이 변화됨을 고려할 때(Lindsay, 2001; Nelson, 2003) 원하는 수준으로 pH를 조절하기 위해서는 혼합

Table 1. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer in CD+ERH on the growth of red leaf lettuce 5 weeks after transplant.

Dolomitic lime (g L^{-1})	Plant height (cm)	Plant Width (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0.0	19.0	20.8	7.6	16.9	9.5	13.3	7.56	0.31
1.5	19.2	19.4	7.4	15.2	8.3	11.0	5.86	0.29
3.0	18.8	19.0	6.8	14.5	7.5	11.2	5.84	0.24
4.5	18.0	22.6	7.6	17.2	10.3	14.3	10.63	0.52
6.0	19.4	20.8	8.2	15.8	10.6	14.0	9.72	0.50
7.5	21.0	23.0	7.8	16.5	10.4	13.3	7.39	0.36
LSD ²	2.7	3.3	1.5	2.6	1.8	2.0	2.27	0.15
Linear	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*
Quadratic	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS

²LSD: Least significant difference, $p \leq 0.05$.

NS,*: Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, respectively.

Table 2. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer in CD+CRH on the growth of red leaf lettuce 5 weeks after transplant.

Dolomitic lime (g L ⁻¹)	Plant Height (cm)	Plant Width (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0.0	19.0	23.3	5.8	14.6	7.0	14.2	4.42	0.26
1.5	21.7	23.1	6.6	14.4	7.5	14.2	4.88	0.29
3.0	24.8	26.6	7.0	15.6	9.1	14.1	7.47	0.37
4.5	26.6	28.6	7.0	17.8	9.6	14.5	8.22	0.38
6.0	26.0	28.0	6.8	17.2	10.2	13.8	7.77	0.39
7.5	25.4	29.0	7.0	15.9	9.4	14.4	7.01	0.32
LSD ^z	2.1	3.0	0.9	2.2	1.8	0.9	2.08	0.11
Linear	***	***	*	*	***	NS	**	NS
Quadratic	***	***	**	*	***	NS	***	NS

^zLSD: Least significant difference, $p \leq 0.05$.

NS, *, **, ***: Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

Table 3. Influence of the various incorporation rates of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer in CD+GAPB on the growth of red leaf lettuce 5 weeks after transplant.

Dolomitic limestone (g L ⁻¹)	Plant Height (cm)	Plant Width (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0.0	21.2	26.6	6.8	15.6	9.1	14.3	5.43	0.28
1.5	16.9	23.1	5.8	13.4	8.0	13.8	4.15	0.21
3.0	18.8	24.3	6.2	14.1	8.4	13.6	4.64	0.23
4.5	20.6	27.8	6.2	15.6	9.1	14.0	6.27	0.31
6.0	21.7	28.9	7.0	17.2	10.9	14.3	8.64	0.42
7.5	19.8	28.4	7.2	15.8	12.2	15.0	11.04	0.65
LSD ^z	3.7	5.3	1.1	2.5	2.1	0.9	2.82	0.14
Linear	NS	NS	NS	NS	***	NS	***	***
Quadratic	NS	NS	*	NS	***	**	***	***

^zLSD: Least significant difference, $p \leq 0.05$.

NS, *, **, ***: Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively.

상토 별로 고토석회의 시비수준을 변화시켜야 함을 나타내고 있다.

CD+ERH 상토에 고토석회 시비수준을 변화시킨 결과 무처리구와 1.5 g L⁻¹ 시비구의 근권부 pH가 다른 처리들보다 뚜렷하게 낮았고, 이들 두 처리를 제외한 다른 시비구간에는 차이가 분명하지 않았다. 특히 무시비구와 1.5 g L⁻¹ 시비구는 정식 3주와 4주 후에 뚜렷하게 pH가 낮아졌는데 이는 CD+ERH 상토의 구성재료인 팽연왕겨가 미생물에 의해 분해되면서 발생된 H⁺ 양이 증가하고(Paul, 2006), 양이온치환 부위에서 Ca⁺²을 탈착시킨 후 H⁺이 대신 흡착되었으며(Choi et al., 2009), 탈락된 Ca⁺²이 배수공을 통해 용탈됨으로써 근권부의 pH가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다. 이와 같이 판단하는 이유는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 다양한 수준으로 고토석회를 혼합하였음에도 불구하고 정식 3주와 4주 후 토양용액 Ca⁺²가 아주 낮은 농도로 분석되었고 처리간 차이도 뚜렷하지 않았기 때문이며, 유기물 분해에 대한 Paul (2006)의 보고와 무기원소 상호간 결합에 관한 Lindsay (2001) 및 Sposito (1994)의 보고 내용을 고려할 때 이해가 쉬워진다.

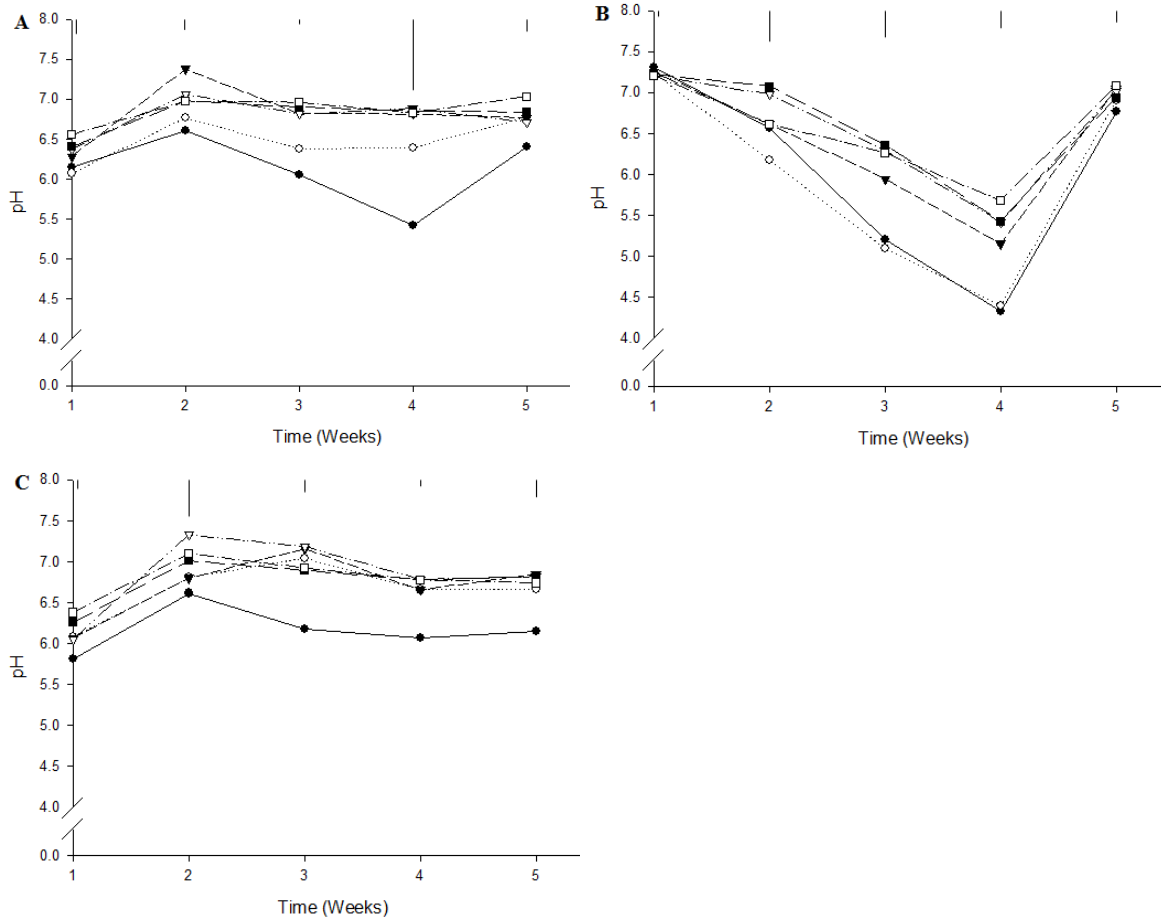


Fig. 1. Changes in pH in soil solutions of root media during cultivation of red leaf lettuce as influenced by various application rates of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer in each root medium. Vertical bars represent least significant difference (LSD) at $p \leq 0.05$ among treatments within each week (A: CD+ERH, B: CD+CRH, C: CD+GAPB; ●: 0.0 g L^{-1} , ○: 1.5 g L^{-1} , ▼: 3.0 g L^{-1} , ▽: 4.5 g L^{-1} , ■: 6.0 g L^{-1} , □: 7.6 g L^{-1}).

CD+CRH 상토의 pH는 모든 처리에서 정식 3주와 4주 후 뚜렷하게 낮아졌다. 고토석회 무처리구와 1.5 g L^{-1} 시비구는 정식 2, 3 및 4주 후 다른 처리들 보다 유의하게 pH가 낮았다. 3.0 g L^{-1} 부터 7.5 g L^{-1} 시비구 까지는 고토석회의 시비수준이 높을수록 pH가 높아지는 경향을 보였음에도 통계적인 차이는 인정되지 않았다. 정식 후부터 정식 4주 후까지 토양용액의 pH가 지속적으로 낮아진 것은 상토 구성 재료인 혼탄의 화학적 특성에서 원인을 찾을 수 있다. Choi et al. (2014)에 의하면 혼탄에 인산이 고농도로 존재하며, 고토석회로 시비된 후 토양수에 용해되어 이온화된 Ca^{+2} 과 혼탄으로부터 용해된 인산이 결합하여 칼슘을 불용화시킴으로(Lindsay, 2001) pH가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다. 정식 3주 후까지 고토석회의 시비수준과 무관하게 토양 Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 농도가 매우 낮게 분석되었던 것도 이를 뒷받침하고 있다고 생각한다(Fig. 4). CD+GAPB 혼합상토에서 토양용액의 pH 변화는 정도의 차이가 있을 뿐 CD+ERH 상토에서의 pH 변화와 유사한 경향을 보이며 변화되었으며, 동일한 이유에 기인하였다고 생각한다.

Fig. 2에는 정식 후 토양용액의 EC 변화를 나타내었다. 세 종류 상토의 정식 직후 EC는 CD+ERH 상토에서 다른 두 종류 상토 보다 낮았으며, 이는 혼탄에 무기원소가 고농도로 존재하였던 것이 원인이라고 생각한다. CD+ERH와 CD+GAPB 상토는 정식 2주 후까지 낮아진 후 점차 안정화되는 경향을 보였으며 고토석회의 시비수준이 높아질수록 EC가 높은 경향을 보였다. CD+CRH 상토에서 정식 4주 후 EC가 높아진 것은 인산과 결합하여 불용화되었던

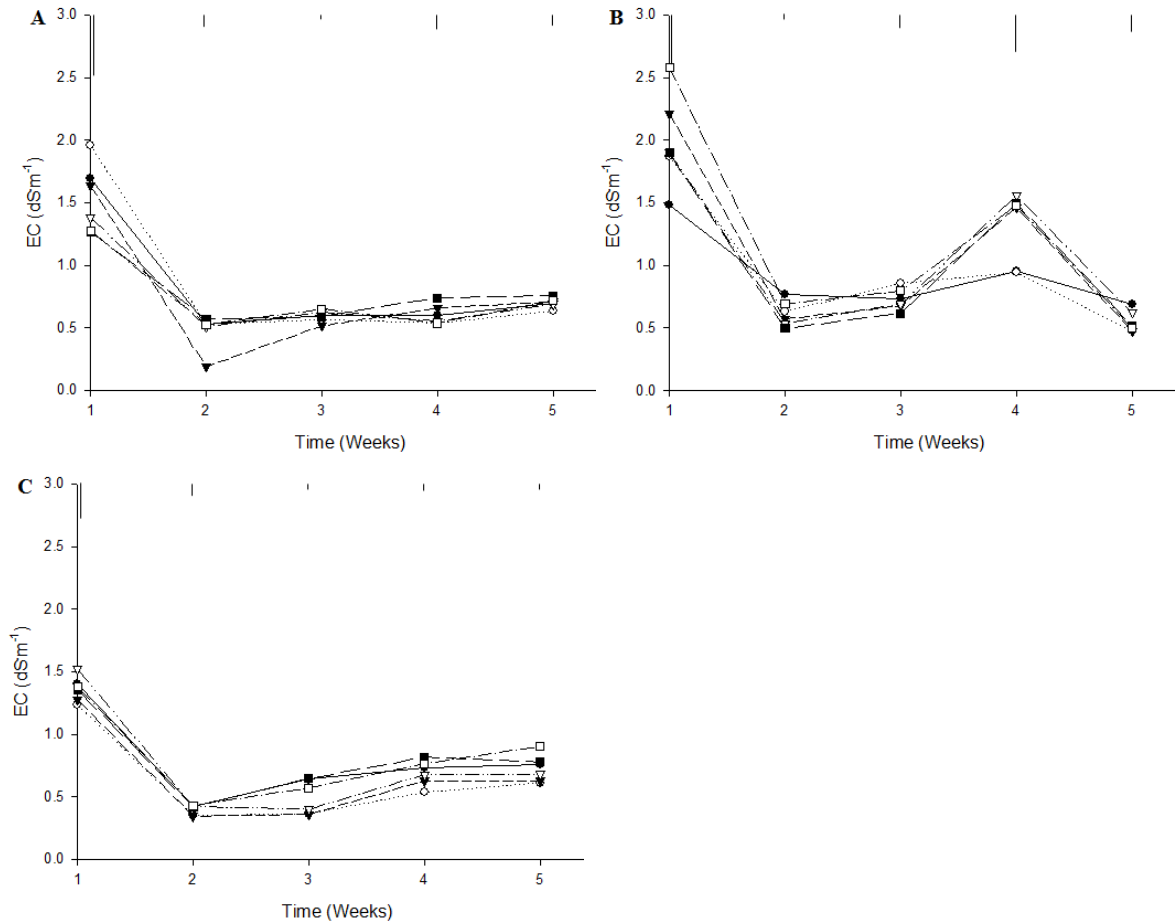


Fig. 2. Changes of EC in soil solutions of root media during cultivation of red leaf lettuce as influenced by various application rates of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer in each root medium. Vertical bars represent least significant difference (LSD) at $p \leq 0.05$ among treatments within each week (A: CD+ERH, B: CD+CRH, C: CD+GAPB; ●: 0.0 g L^{-1} , ○: 1.5 g L^{-1} , ▼: 3.0 g L^{-1} , ▽: 4.5 g L^{-1} , ■: 6.0 g L^{-1} , □: 7.6 g L^{-1}).

Ca^{+2} 이 pH가 산성으로 변하면서 가용화되어(Lindsay, 2001; Sposito, 1994) 토양 EC를 상승시킨 원인이 되었다고 생각하며 Fig. 1의 pH 변화 그리고 Fig. 4와 5에 나타난 토양용액의 Ca^{+2} 과 Mg^{+2} 농도 변화가 이를 증명하고 있다고 생각한다.

기비로 혼합된 고토석회의 시비수준 차이가 적축면 상추를 재배한 세 종류 혼합상토(CD+ERH, CD+CRH, CD+GAPB)의 토양 용액 내 무기이온 농도에 미치는 영향을 분석하고자 매주 1회 토양용액을 채취하여 분석하고 그 결과를 Fig. 3, 4 및 5에 나타내었다.

CD+ERH 혼합상토에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 정식 2주 후까지 낮은 농도로 분석되었지만 3주 후부터 상승하여 $10\text{-}18 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도로 분석되었다(Fig. 3). $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 역시 적축면 상추를 정식한 2주 후까지 농도가 낮아졌지만 3주 후부터 농도가 상승하였고, 정식 5주 후 $320\text{-}500 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도 범위로 분석되었다. 정식 2주 후까지 두 종류 질소 농도가 낮아진 것은 무기원소의 분해와 관련하여 판단할 수 있다. Choi et al. (2014)은 팽연왕겨는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 그리고 리그닌 등 다양한 종류의 유기물을 포함하고 있고, 이중 헤미셀룰로오스나 셀룰로오스는 미생물에 의해 쉽게 분해되는 물질이라고 하였다. 미생물에 의해 유기물질이 분해될 때 많은 양의 질소가 미생물에 의해 흡수되어 토양농도가 낮아지는 원인이 된다(Paul, 2006). 따라서 정식 후 초기에 유기물질의 분해과정에서 N이 미생물에 의해 흡수되므로 토양용액 N 농도가 낮아졌지만, 3주 이후에는 비교적 난분해성인 리그닌이 잔존하여 유기물질 분

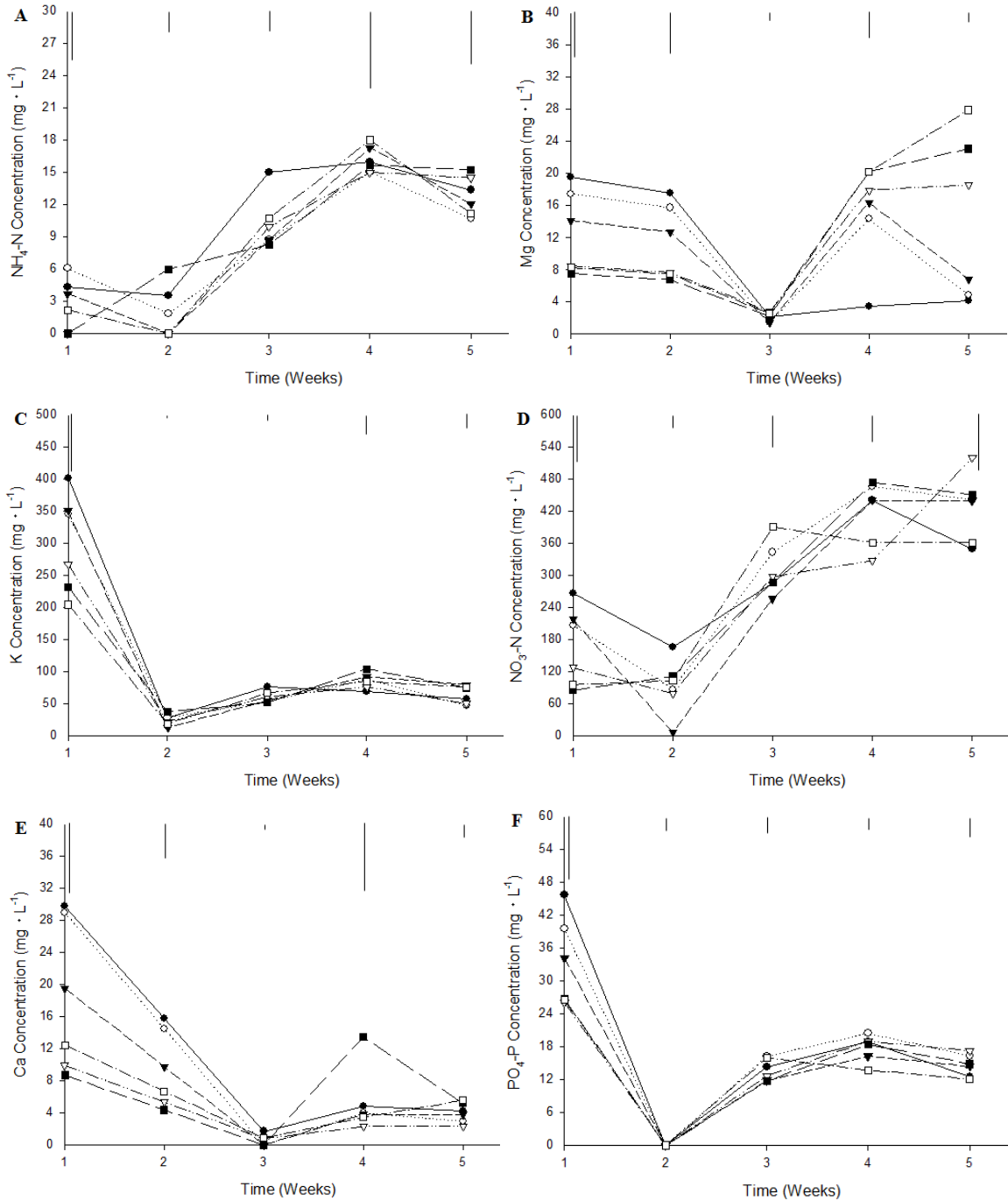


Fig. 3. Changes in the concentration of macro nutrients in soil solutions of CD+ERH medium during cultivation of red leaf lettuce as influenced by various levels of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A: $\text{NH}_4\text{-N}$, B: Mg, C: K, D: $\text{NO}_3\text{-N}$, E: Ca, F: $\text{PO}_4\text{-P}$; ●: 0.0 g L^{-1} , ○: 1.5 g L^{-1} , ▼: 3.0 g L^{-1} , ▽: 4.5 g L^{-1} , ■: 6.0 g L^{-1} , □: 7.6 g L^{-1}).

해가 더디게 진행되고, 상대적으로 미생물에 의한 흡수량이 적어 토양 N 농도가 높아진 원인이 되었다고 생각한다.

인산은 시비된 고토석회에 포함된 Ca과 결합하여 쉽게 불용화되어 토양 농도가 낮아졌을 뿐만 아니라(Lindsay, 2001), 음이온으로써 상토입자의 양이온치환 부위에 흡착되지 못하고 쉽게 용탈되는 것이 정식 2주 후까지 급격히 토양농도가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 정식 3주 이후에는 토양 pH가 점차 산성화되면서 불용화 상

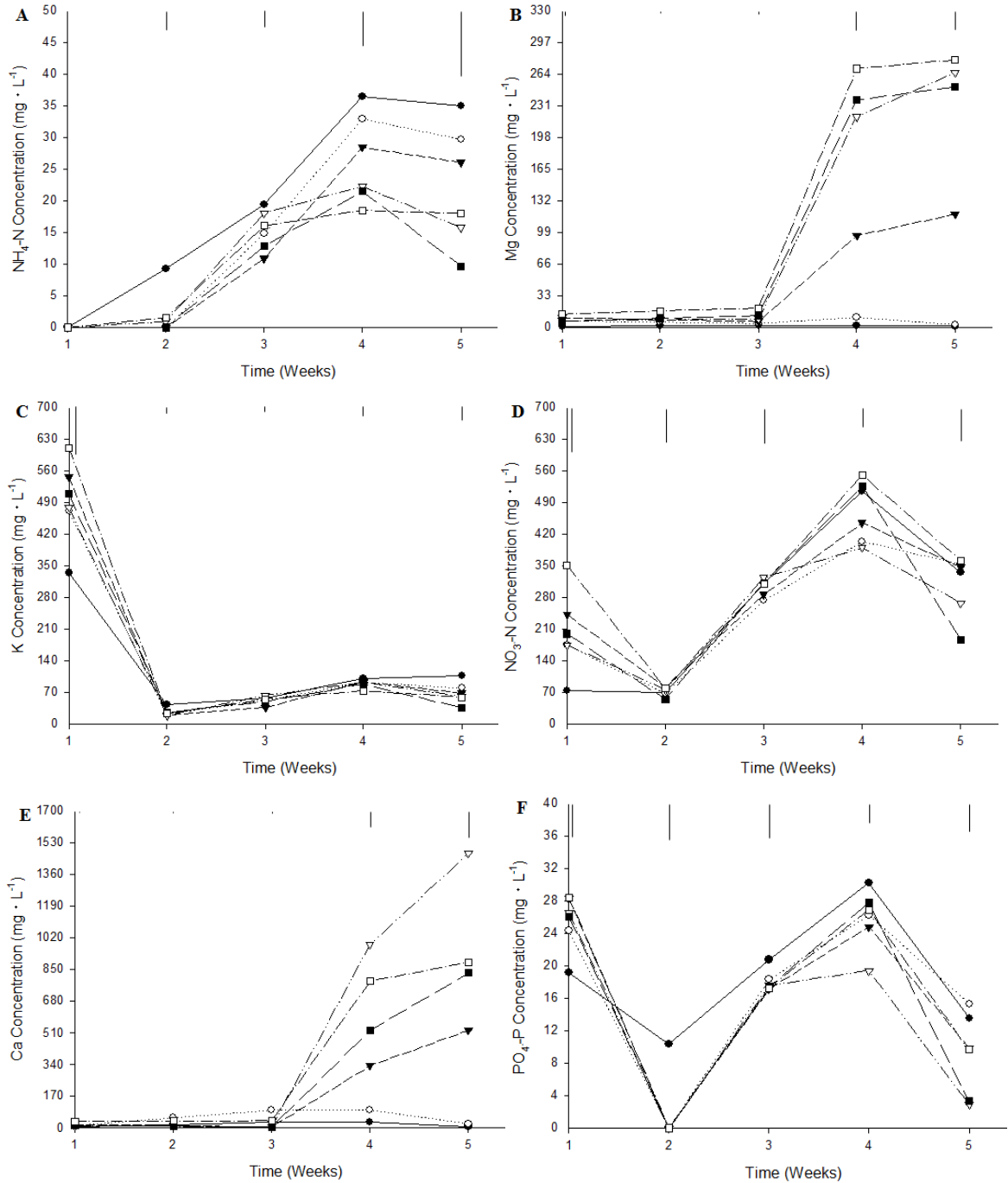


Fig. 4. Changes in the concentration of macro nutrients in soil solutions of CD+CRH medium during cultivation of red leaf lettuce as influenced by various levels of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A: $\text{NH}_4\text{-N}$, B: Mg, C: K, D: $\text{NO}_3\text{-N}$, E: Ca, F: $\text{PO}_4\text{-P}$; ●: 0.0 g L^{-1} , ○: 1.5 g L^{-1} , ▼: 3.0 g L^{-1} , ▽: 4.5 g L^{-1} , ■: 6.0 g L^{-1} , □: 7.6 g L^{-1}).

태인 인산이 가용화되어 토양 농도가 높아졌다고 판단하며 pH 변화에 따른 토양용액 P 농도변화를 보고한 Nelson (2003)의 보고 내용도 본 연구결과를 뒷받침하고 있다.

토양용액의 K^+ 농도도 정식 2주 후 급격히 농도가 낮아진 후 3주 후에 약간 높아졌으며, 이후 정식 5주 후까지 유사한 농도로 분석되었다. 정식 1주 후 고농도로 분석되었던 것은 기비로 혼합된 K^+ 이 아직도 상토 내에 존재하여 토양

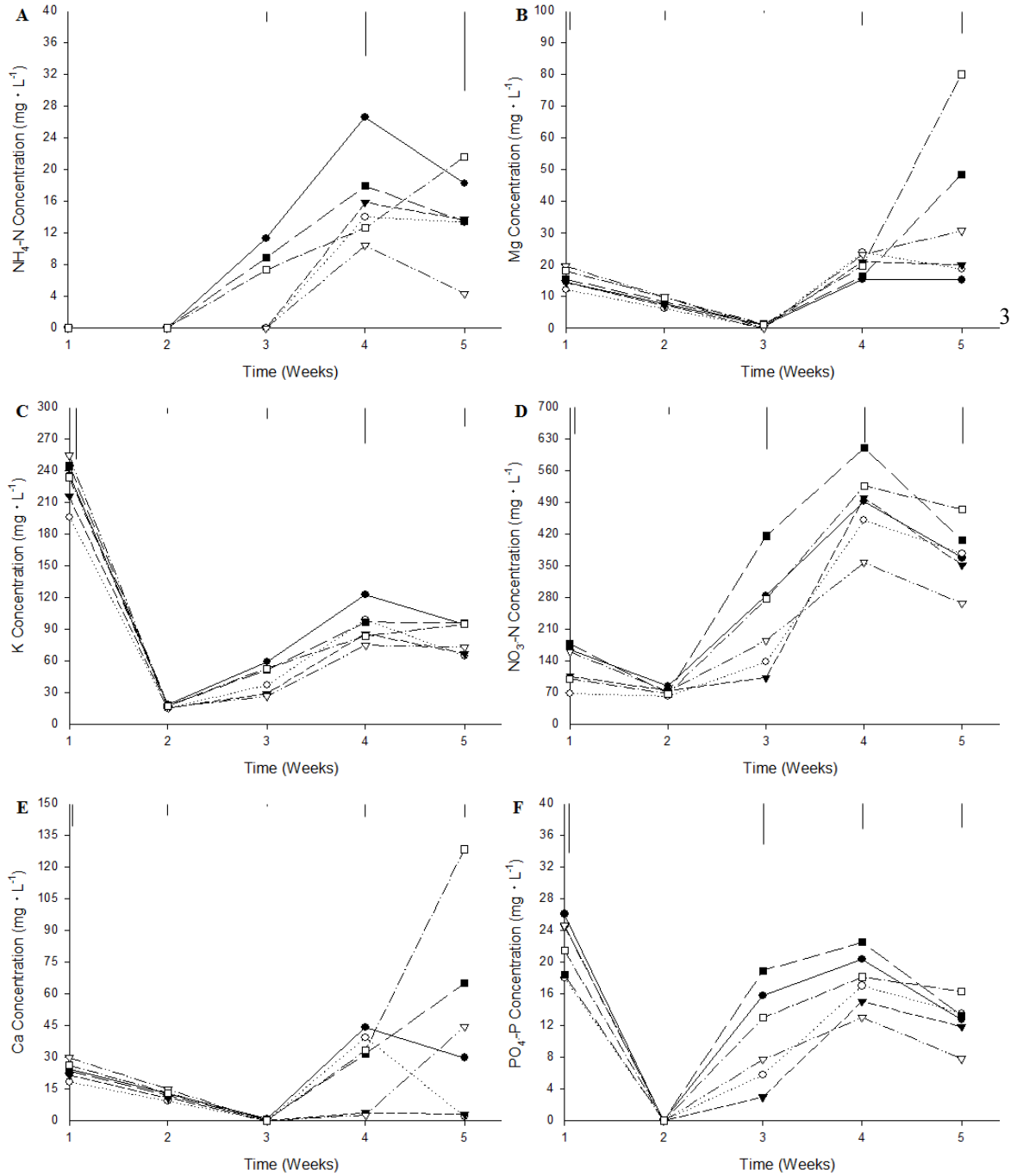


Fig. 5. Changes in the concentration of macro nutrients in soil solutions of CD+GAPB medium during cultivation of red leaf lettuce as influenced by various levels of dolomitic lime as a pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A: $\text{NH}_4\text{-N}$, B: Mg, C: K, D: $\text{NO}_3\text{-N}$, E: Ca, F: $\text{PO}_4\text{-P}$; ●: 0.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ○: 1.5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ▼: 3.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ▽: 4.5 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ■ : 6.0 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, □: 7.6 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

농도가 높은 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 정식 1주 후 고토석회의 시비수준이 낮을수록 토양 K^+ 농도가 높게 분석되었다. 이는 상토의 양이온치환부위에서 고토석회에 포함된 Ca^{+2} 또는 Mg^{+2} 과 K^+ 이 경합하고(Choi et al., 2009), 흡착되지 못한 일부의 K이 토양용액으로 밀려나온 후 매 관수 시 배수공을 통해 용탈됨으로써 발생한 결과라고 판단된다.

고토석회의 시비수준이 높을수록 정식 1주와 2주 후 분석한 토양용액 내 Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 농도가 높은 경향이였다. 비록 정식 3주 후 Ca^{+2} 과 Mg^{+2} 이 매우 낮은 농도로 분석되었지만 고토석회의 시비수준이 높을수록 정식 4주와 5주 후의 토양 농도도 높게 분석되었다. 이와 같은 결과는 고토석회의 용해도가 낮아 정식 후 5주까지 서서히 용해되면서 토양 Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 농도를 일정 수준 이상으로 유지시키고 있음을 나타낸다고 생각한다.

CD+CRH 상토에서 토양용액의 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 그리고 K^+ 농도는 CD+ERH 상토와 유사한 경향을 보였으며 앞에서 설명한 바와 동일한 원인 때문이라고 생각한다(Fig. 4). 그러나 토양 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도는 정식 2주 후에 급격히 낮아진 후 정식 3, 4 및 5주 후 CD+ERH 상토보다 월등히 높은 농도로 분석되었다. 혼합상토는 일반 토양보다 그 구성재료의 무기물 함량에서 Al^{+3} 이나 Fe^{+2} 농도가 월등히 낮고, 토양 pH가 낮아질 때 불용화되는 인산 양이 적어 비교적 낮게 토양 pH를 관리하고 있다(Bunt, 1988; Choi et al., 2009; Nelson, 2003). 따라서 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 정식 3주와 4주 후 CD+CRH 상토의 pH가 급격히 낮아졌으며 불용화되어 있던 인산이 점차 가용화되면서 토양 농도가 높아졌다고 생각한다(Lindsay, 2001; Nelson, 2003; Sposito, 1994). 정식 3주 후까지 CD+CRH 상토의 토양 Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 농도가 매우 낮게 분석되었지만 상기한 바와 같이 pH가 저하되면서 인산과 결합하였다가 해리된 Ca^{+2} 및 Mg^{+2} 양이 증가하여 토양 농도가 높아졌다고 생각한다. CD+GAPB 상토의 각종 무기이온 농도는 CD+ERH 상토의 토양 용액 내 무기이온 농도와 유사한 경향을 보였으며 동일한 원인에 의해 발생한 결과라고 생각한다(Fig. 5).

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. 세 종류 상토에서 지상부 생장량이 가장 많았던 고토석회의 시비수준은 CD+ERH 상토 4.5-6.0 g, CD+CRH 상토 4.5 g, 그리고 CD+GAPB 상토 6.0-7.5 g L^{-1} 였다. 아울러 이들 처리들의 근권부 pH는 보편적으로 추천되는 범위인 5.6-6.2 보다 약간 높아 약산성 및 중성인 6.4-7.1에 포함되었다.

Acknowledgements

본 연구는 2015-2016 충남대학교 CNU학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

References

- Bunt AC. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
- Choi JM. 2006. Effect of dolomite levels in various root media containing micronutrient mixes on growth of marigold plug seedlings. *Journal of Bio-Environment Control* 15:217-224. [in Korean]
- Choi JM, Kim IY, Kim BK. 2009. Root Substrates. pp. 278-279. Hackyesa. Daejeon, Korea. [in Korean]
- Choi JM, Park EY. 2011. Physico-chemical properties of various pine barks as root medium components circulated in Korea. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 29:78. [in Korean]
- Choi JM, Park EY, Shim CY. 2014. Development of root media containing carbonized and expanded rice hull for container cultivation of horticultural crops. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology* 32:157-164. [in Korean]
- Jones JB. 2005. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower 2nd ed. CRC Press, London.
- Lim SW. 2005. Fertilizers; Principles of nutrient supply and practical application method. Ilsinsa, Seoul, Korea. [in Korean]
- Lindsay WL. 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, Caldwell, NJ, USA.
- Nelson PV. 2003. Greenhouse operation and management, 6th ed. Prentice Hall, NJ, USA.
- Paul EA. 2006. Soil microbiology, ecology, and biochemistry. 3rd ed. Academic Press, San Diego, USA.
- Sonneveld C, Voogt W. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer. New York, USA.
- Sposito G. 1994. Chemical equilibria and kinetics in soils. Oxford University Press, New York.