

Research Report

코이어 더스트 혼합상토에 용과린의 시비수준에 의한 적측면 상추의 생장과 근권부 화학성 변화

김창현¹, 최종명^{1*}, 이동훈²¹충남대학교 농업생명과학대학 원예학과²충북대학교 농업생명과학대학 바이오시스템공학과

Growth of Red-leaf Lettuce and Changes in Soil Solution Chemical Properties of Coir-dust Containing Root Media Influenced by Application Rates of Pre-planting Fused-Superphosphate

Chang Hyeon Kim¹, Jong Myung Choi^{1*}, and Dong Hoon Lee²¹Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea²Department of Biosystems Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract: This research was conducted to investigate the influence of various levels of fused superphosphate as pre-planting fertilizer on the growth of red-leaf lettuce and changes in the chemical properties of the soil solution in three root media, namely coir-dust plus expanded rice hull (8:2; v/v; CD+ERH), carbonized rice hull (6:4; CD+CRH), or ground and aged pine bark (8:2; CD+GAPB). The amounts of fused superphosphate (FSP) incorporated into the three root media during formulation were controlled from 0 to 6.0 g·L⁻¹ in 1.5 g·L⁻¹ increments. The root media containing fertilizers were packed into 300 mL plastic pots and seedlings of red-leaf lettuce at the 3rd leaf stage were transplanted. After transplanting, the crops were fed with a solution of neutral fertilizer (100 mg·L⁻¹). The growth of red-leaf lettuce was investigated 5 weeks after transplanting and soil solutions were extracted and analyzed every week for pH, EC, and concentrations of macro-nutrients. The elevation of application rates of FSP in the three root media resulted in better growth, and the crops grown in CD+ERH and CD+GRPB had greater fresh and dry weights than those in CD+CRH when compared among the treatments of equal amounts of FSP. The pH and PO₄⁻³ concentrations in the soil solution of CD+CRH at 3 weeks after transplant were in the ranges of 4.0 to 4.8 and 20 to 100 mg·L⁻¹, respectively. These were lower pH and higher PO₄⁻³ concentrations than those in CD+ERH and CD+GAPB. The K⁺ concentrations were higher in CD+CRH than those in the other two root media, and the elevation of FSP application rates resulted in higher Ca⁺², Mg⁺² and SO₄⁻² concentrations in soil solution of the three root media. The NO₃-N concentrations in soil solution rose continuously during crop cultivation, implying that the leaching percentage was elevated. The soil solution EC varied, showing the same tendencies as the NO₃-N concentrations. The above results indicated that the CD+ERH and CD+GRPB media performed better than CD+CRH, and optimum application rates of FSP in the three root media were 4.5 to 6.0 g·L⁻¹ for pot cultivation of red-leaf lettuce.

Additional key words: aged pine bark, carbonized rice hull, expanded rice-hull, fertilization

서 언

코이어 더스트는 양이온치환용량이 비교적 높고, 미생물

의 분해에 대한 저항성이 있으며, 가격이 저렴하여 원예용 혼합상토 구성재료로 많이 이용된다(Choi et al., 2009). 그러나 코이어 더스트를 다른 물질과 혼합하지 않고 단독으로

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 3 March 2015; Revised 8 June 2015; Accepted 12 June 2015. 본 연구는 2014-2015 충남대학교 CNU학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

작물 재배에 이용하면 보수력이 과도하게 높은 반면 토양 통기성이 불량하여 작물 생육이 저조해 질 수 있다. 따라서 혼합상토 공극의 양이나 크기를 늘릴 수 있는 물질이 혼합되어 토양 물리적인 단점을 보완해야 한다. 팽연왕겨, 왕겨를 가공한 혼탄, 그리고 부속시킨 소나무 수피 등은 국내에서 산업부산물로 생산되며 가격이 저렴하여 코이어 더스트의 물리적인 단점을 보완하기 위한 물질로 이용 가능성이 높다(Choi et al., 2009, 2011).

원예작물 재배를 위한 대부분의 혼합상토는 파종된 종자의 발아 후 또는 식물 이식 후 초기 생장을 위해 필요한 비료를 혼합상토 조제 과정에서 기비로 첨가한다. 모든 필수 원소가 포함되도록 비료의 종류 및 양을 조절하며 보편적으로 고토석회, 인산질 비료, KNO_3 와 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 등 N과 K를 포함한 비료 그리고 미량원소복합제가 적절한 비율로 상토에 혼합된다(Bunt, 1988; Nelson, 2003).

인산은 식물체 내의 에너지 대사에 관여하는 무기원소이며 그 농도가 적합하게 유지되지 않을 경우 생육이 현저하게 억제된다(Taiz et al., 2006). 시설 내에서 원예작물을 토경재배하는 경우 작물 생산을 위해 필요한 인산질 비료를 모두 기비로 시비하지만 혼합상토를 이용한 배지경 재배의 경우 일부는 기비로 일부는 추비로 시비하고 있다(Styer and Koranski, 1997). 혼합상토에 기비로 포함되는 인산질 비료의 경우 미국에서는 주로 산성비료인 과린산석회를 시비하지만(Nelson, 2003), 산성토양이 대부분인 국내에서는 알칼리성 인산비료인 용성인비와 산성 인산비료인 과린산석회를 혼합한 용과린이 판매되고 있다. 용과린이 시비되면 파종 또는 정식 직후에 pH가 낮아지지만 시간이 경과하면서 석회 및 고토성분 등이 포함된 용성인비가 용해되면서 점차 pH가 높아진다(Lim, 2005). 그러나 시비된 인산질 비료가 작물 생장에 미치는 영향은 시비량에 따라 달라지며, 시비량이 과다하면 근권환경이나 식물체 내에서 Fe, Zn, 및 Cu를 불용화시켜 이들 원소의 결핍증상이 발생한다(Choi and Lee, 2012; Marschner, 2012). 또한 용성인비나 용과린의 경우 P 성분 외에 다량의 CaO와 MgO가 포함되어 있으며, 시비량이 과다하면 pH 상승으로 인해 Fe, Mn, Zn, Cu 및 B를 불용화시키거나 인산 시비량 과다로 토양 염농도가 높아져 고염농도로 인한 피해가 발생할 수 있다(Lim, 2005; Nelson, 2003).

상기한 바와 같은 배경을 토대로 코이어 더스트와 팽연왕겨, 혼탄 또는 부속 분쇄수피를 혼합하여 조제한 혼합상토에서 기비로 혼합된 용과린의 시비 수준 차이가 적축면 상

추의 생장과 근권부 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하여 인산 시비에 대한 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

Choi et al.(2009, 2011)의 보고내용을 고려하여 코이어 더스트(Coir-dust, 이하 CD, Imported from India, Shinsung Mineral Co., Ltd. Jincheon, Korea)를 주요 물질로 팽연왕겨(Expanded rice hull, 이하 ERH, Deawon GSI Co., Ltd. Chilgok, Korea), 혼탄(Carbonized rice hull, 이하 CRH, Deawon GSI Co., Ltd. Chilgok, Korea), 또는 부속된 분쇄수피(ground and aged pine bark, 이하 GAPB, Gumjungwon root media Co., Ltd. Yeongi, Korea)를 수집하고 혼합비율을 각각 8:2(CD+ERH, v/v), 6:4(CD+CRH, v/v) 그리고 8:2(CD+GAPB, v/v)로 조절하여 혼합상토를 조제하였다.

인산질 비료인 용과린 외에 모든 처리에서 동일한 농도로 필수원소가 포함되도록 비료의 종류 및 양을 조절하였으며 세 종류 상토에 기비로 포함된 비료는 다음과 같았다($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$): $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.75, $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.15, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.6, KNO_3 0.6, 고토석회 3.0, Micronutrient mix(Nutrichem Kombi-F, NU3 N.V. Co., Inc. Grobbendonk, Belgium). 각각의 혼합상토별로 인산질 비료인 용과린(Fused superphosphate, KG chemical Co., Ltd. Sungnam, Korea)의 시비수준을 0, 1.5, 3.0, 4.5, 및 $6.0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 조절한 5처리를 두었고, 각각의 처리구는 5 반복을 두어 완전임의배치법으로 실험을 진행하였다.

기비를 포함한 세 종류 상토를 용량이 300mL인 플라스틱 포트에 충전하였고, 생장상에서 발아한 후 본엽이 2매인 적축면 상추(*Lactuca sativa* L.)를 정식하였다. 작물 재배 중 상토 표면이 건조해지기 시작하면서 포트 전체의 무게가 용기용수량 상태 보다 40-50% 수준으로 가벼워진 시기에 증류수로 관수하였으며, 관수량을 포트당 150mL로 조절하여 두상살수 하였다. 뿌리가 활착되었다고 판단된 정식 1주 이후 매주 1회 질소기준 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 조절한 중성비료($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; MgSO_4 0.026, NH_4NO_3 0.023, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0.03, KNO_3 0.052, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.007, 상기한 미량원소복합제 0.2)를 증류수에 용해시켜 150mL씩 관비하였고, 이 외에 관수가 필요한 시점에는 증류수를 관수하였다.

충남대학교 태양광 이용형 식물공장에서 본 연구를 수행하였고, 재배 기간 중 환경조건은 주간 평균온도 26°C , 야간 평균온도 19°C , 상대습도 60-80%, 주간 평균 광합성 유효광

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

상토의 화학성을 분석하기 위해 매주 1회 관비용액을 처리하고 화학적 평형상태에 도달하였다고 판단한 2시간 후에 진공펌프(DOA-P704-AC, Gast manu- facturing, Inc. USA)를 사용하여 포트 하단부에서 약 15mL의 토양수를 추출하였다. 추출 후 시료의 화학적 변화를 막기 위해 phenylmercuric acetate 용액($55.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)을 1 μL 첨가하였고, 시료의 pH 및 EC (Multi meter CP-500L, Insteck Co. Sungnam, Korea)를 측정하였다(Choi et al., 2015). 또한 Ion chromatography(Waters 432 conductivity, Younglin, Seoul, Korea)를 사용하여 채취한 시료의 다량원소 이온 농도를 분석하였으며 분석방법 역시 Choi et al.(2015)의 방법을 따랐다.

적축면 상추를 정식하고 5주 후에 지상부 생장을 조사하였다. 조사 항목은 초장, 초폭, 엽수, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중, 그리고 지상부 건물중이었고, 엽록소 측정계(chlorophyll meter, Konica Minolta Sensing, INC., Japan)를 사용한 SPAD 값을 측정하였다.

생장 및 토양용액 분석 결과는 CoStat(Monetary, California, USA) 프로그램을 사용하여 $p \leq 0.05$ 수준에서 인산 시비 수준에 따른 처리별 LSD를 검정하였고, 1 및 2차항 회귀 분석을 하여 시비 수준에 따른 생장의 변화하는 경향을 파악하고자 하였다. 또한 세 종류 상토에 영향을 받은 식물 생장 차이는 F-검정을 하여 비교하였고 그 결과를 표에 나타내었다.

결과 및 고찰

CD+ERH, CD+CRH 그리고 CD+GAPB 혼합상토에 기비로 혼합된 용과린의 시비량을 변화시키면서 적축면 상추를 재배하고 생장을 조사하여 그 결과를 Table 1에 나타내었다. CD+ERH 혼합상토에서 기비로 혼합된 용과린의 시비수준이 높아질수록 적축면 상추의 초폭, 엽장 그리고 SPAD 값을 제외한 지상부 생장량이 증가하여 $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 시비한 처리에서 생체중 15.7g, 건물중 0.75g으로 가장 우수하였다. 생체중 및 건물중은 용과린 시비수준에 대한 처리간 통계적인 차이가 인정되었고, 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다.

CD+CRH 혼합상토에서 재배된 적축면 상추는 용과린 무 시비구부터 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 시비수준이 증가함에 따라 처리간 유의한 차이를 보이면서 생체중 및 건물중 등 지상부 생장

량이 증가하였으나, $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 시비한 처리는 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리보다 지상부 생장량이 감소하였다. 엽수, 엽폭, 생체중, 그리고 건물중은 직선 및 2차 곡선회귀적인 변화를 보이면서 경향이 뚜렷하였으며, $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서는 생체중 및 건물중이 식물체당 10.4g 및 0.63g으로 조사되어 모든 처리 중 가장 무거웠다. $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서 지상부 생장량이 적어진 것은 상토의 구성재료인 훈탄에서 원인을 찾을 수 있다. Choi et al.(2009)은 훈탄에 인산 등 각종 무기염이 고농도로 존재한다고 보고하였으며, 훈탄 자체에 고농도로 존재하는 무기염과 추가로 공급된 용과린이 과다하게 토양 염농도를 높였고, 높아진 무기염 농도에 의해 생장이 억제되었다고 판단하였다(Fig. 1 and 4).

CD+GAPB 혼합상토에서 재배된 적축면 상추는 CD+ERH와 유사하게 용과린 시비수준이 높아질수록 처리간 유의한 차이를 보이며 지상부 생장량이 많아졌다. 초폭, 엽수 그리고 SPAD 값을 제외한 지상부 생장 조사 항목에서 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였고, $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서 생체중 13.5g, 건물중 0.73g으로 다른 처리들보다 무거웠다. 이상과 같이 CD+ERH나 CD+GAPB 혼합상토에서는 용과린의 시비수준이 높아질수록 적축면 상추의 지상부 생장량이 증가하였지만, CD+CRH 상토에서는 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서 가장 우수하였고 $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구보다 생장량이 적었다. 또한 세 종류 상토에 용과린 시비량을 동일하게 조절한 후 적축면 상추를 정식하고, 5주 후 지상부 생장량을 조사하여 비교한 결과 CD+ERH, CD+GAPB 그리고 CD+CRH 상토 순으로 생장이 저조해지는 경향이였다. 정식 5주 후 조사한 각각의 생육조사 항목 중 엽수를 제외한 초장, 초폭, 엽장, 엽폭 생체중 및 건물중에서 F-검정의 $p \leq 0.001$ 수준의 차이가 인정되었다. 혼합상토 별로 용과린 시비수준에 대한 지상부 생장량 차이가 발생한 것은 pH, EC 및 각종 무기염 농도 등 구성재료의 화학적 특성과 관련이 있으며, 적축면 상추 재배를 위한 용과린 시비수준을 설정할 때 상기한 바를 고려하여 상토별로 다르게 조절하여야 함을 나타내고 있다. 그러나 본 연구의 정식 5주 후 조사한 생체중 및 건물중은 정상적인 상추재배의 생체중이나 건물중 생산량 보다 가벼운 것이며, 정식 후 낮 시간의 평균 광량이 낮았던 것이 주요한 원인이라고 생각한다.

코이어 더스트가 포함된 세 종류의 혼합상토에서 토양용액의 pH와 EC를 매주 측정하여 그 결과를 Fig. 1과 2에 나타내었다. CD+ERH 상토에 용과린 시비수준을 변화시킨 결과 정식 2주 후까지는 모든 처리에서 pH가 상승하였지만

정식 2주 후 부터 용과린 시비 수준이 낮았던 0과 1.5g·L⁻¹ 시비구의 pH가 낮아졌다. 이는 석회를 포함하고 있는 용과린(Lim, 2005)의 시비량이 적고, 팽연왕겨가 미생물에 의해 분해되면서 발생된 H⁺가(Tate, 1995) 근권부 pH를 낮춘 원인이 되었다고 생각한다(Fig. 1A).

그러나 CD+CRH 상토는 용과린의 시비수준과 무관하게 모든 처리에서 정식 5주 후 pH가 4.4까지 낮아졌다(Fig. 1B). 정식 1주부터 3주까지 pH가 급격히 낮아진 것은 용과린의

화학적 반응에서 원인을 찾을 수 있다. 용과린은 화학적 반응이 산성이며 주로 수용성 인산을 포함하고 있는 과린산석회와, 알칼리성이며 구용성인산을 많이 함유한 용성인비를 혼합하여 조제한다(Lim, 2005). 정식 후 산성이며 수용성인산을 포함한 과린산석회가 용해되면서 pH가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 3주 이후 pH가 안정화된 것은 구용성 인산을 포함하고 화학적 반응에 알칼리성인 용성인비가 용해되면서 토양 Ca²⁺ 및 Mg²⁺ 농도가 높아져 더 이상

Table 1. Influence of the various incorporation rates of fused superphosphate in CD+ERH, CD+CRH, and CD+GAPB media as pre-planting fertilizer on the growth of red-leaf lettuce 5 weeks after transplanting.

Root medium ^z	Application rate (g·L ⁻¹)	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll content (SPAD)	Shoot weight (g/plant)	
								fresh	dry
CD+ERH	0.0	21.2	26.8	7.4	17.6	10.4	13.8	5.9	0.25
	1.5	20.8	27.0	7.2	16.6	9.7	15.5	9.5	0.38
	3.0	22.2	26.6	8.0	17.7	11.3	13.6	11.0	0.51
	4.5	25.6	29.1	8.2	17.4	11.6	13.6	12.1	0.59
	6.0	25.2	30.1	8.2	18.4	12.0	14.3	15.7	0.75
	LSD ^y	3.2	4.7	0.9	1.5	1.7	2.2	2.2	0.16
	Linear	**	NS	*	NS	**	NS	***	***
Quadratic	**	NS	*	NS	*	NS	***	***	
CD+CRH	0.0	18.0	23.0	6.0	14.0	5.5	12.7	3.8	0.17
	1.5	20.0	17.0	7.0	14.0	6.5	14.1	4.8	0.23
	3.0	17.0	20.0	8.0	14.0	9.0	13.5	5.8	0.33
	4.5	21.0	24.0	8.0	17.0	10.5	13.7	10.4	0.63
	6.0	19.0	18.0	8.0	14.5	7.0	13.3	7.1	0.38
	LSD ^z	1.1	1.6	0.7	1.9	1.4	0.4	0.2	0.04
	Linear	NS	NS	***	NS	*	NS	***	***
Quadratic	NS	NS	***	NS	***	**	***	***	
CD+GAPB	0.0	20.3	22.8	6.5	13.5	9.5	12.8	6.9	0.33
	1.5	18.3	22.8	7.2	15.8	9.1	14.7	7.9	0.38
	3.0	19.8	22.8	7.5	16.0	10.7	12.9	10.2	0.40
	4.5	19.8	23.0	7.2	18.0	11.2	14.9	11.3	0.60
	6.0	22.2	23.2	7.6	17.5	11.4	14.5	13.5	0.73
	LSD ^z	1.3	2.6	1.1	1.3	1.4	1.4	1.9	0.11
	Linear	*	NS	NS	***	***	NS	***	***
Quadratic	***	NS	NS	***	**	NS	***	***	
<i>F-significance</i> Root media		***	***	NS	***	***	***	***	***

^zAbbreviations in root medium: CD+ERH: coir dust + expanded rice hull (8:2, v/v), CD+CRH: coir dust+carbonized rice hull (6:4, v/v), CD+GAPB: coir dust + ground and aged pine bark (8:2, v/v).

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

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

의 과도한 pH 저하가 발생하지 않았다고 생각한다. 특히 CD+CRH 혼합상토의 구성재료인 혼탄(CRH)은 탄화 처리 후 표면에 불용성인 인산($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)이 고농도로 존재하며 Lindsay(2001)가 보고한 바와 같이 작물 재배 중 발생된 H^+ 이 ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)의 용해에 이용되므로써 다른 혼합상토 보다 pH변화 정도가 적었다고 생각한다. 본 연구에서도 정식 이후 알칼리성 원소인 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 의 토양용액 내 농도가 상승하였고 5주째에 낮아져 이와 같은 논리를 뒷받침하고 있다(Fig. 4).

CD+GAPB 혼합상토의 토양용액 pH 변화는 용과린 시비 수준에 따른 차이가 뚜렷하지 않았으며 정도의 차이가 있지만 CD+ERH 상토의 pH 변화와 매우 유사한 경향으로 변화하였고, 동일한 이유에 기인하였다고 생각한다(Fig. 1C).

정식 후 세 혼합상토 토양용액의 EC 변화(Fig. 2)는 정식

직후 용과린 시비수준에 따라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으나 두상살수 과정에서 용탈로 인해 정식 2주차까지 감소하였고 2주 후부터는 안정화 되어 시비수준에 따른 토양용액의 EC차이가 뚜렷하지 않았다. Choi et al.(2002)는 혼합상토를 이용한 국화재배에서 다량의 과린산석회를 시비하였음에도 불구하고 정식 2주 이후 토양용액 내 인산 농도가 매우 낮게 분석되었다고 하였으며, 전 생육기간 동안 작물이 흡수하는 인산의 총 양이 많지 않으므로 토양 용액 내 인산 농도가 아주 낮은 수준으로 유지되어도 작물 생장에 큰 문제가 발생하지 않는다고 하였다. 따라서 본 연구에서 토양 EC가 2주까지 급격히 낮아진 것은 인산을 비롯하여 일부 양이온과 많은 양의 음이온이 배수공을 통해 용탈되었기 때문이라고 생각한다.

기비로 혼합된 용과린의 시비수준 차이가 적축면 상추를

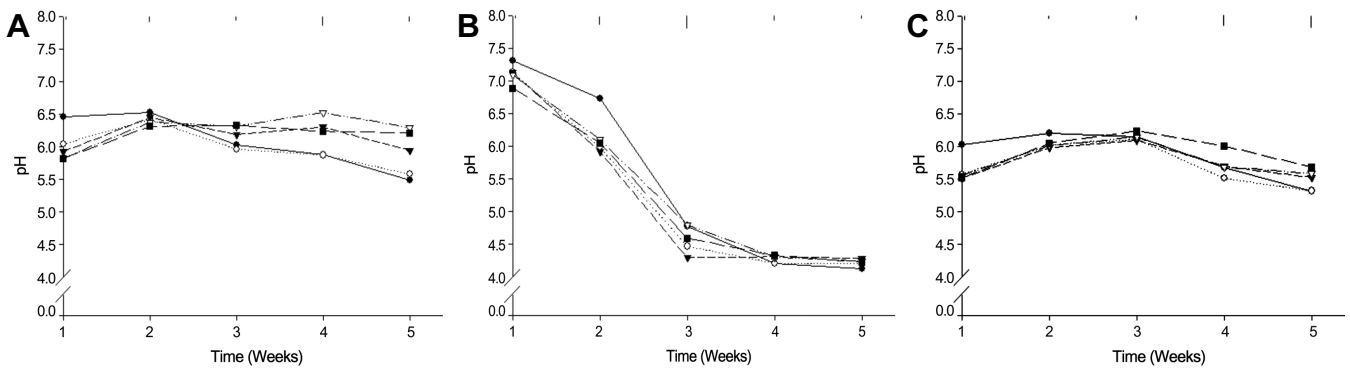


Fig. 1. Changes of the pH in the soil solution of root media during cultivation of red-leaf lettuce as influenced by various application rates of fused superphosphate as pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) at $p \leq 0.05$ among treatments within each week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

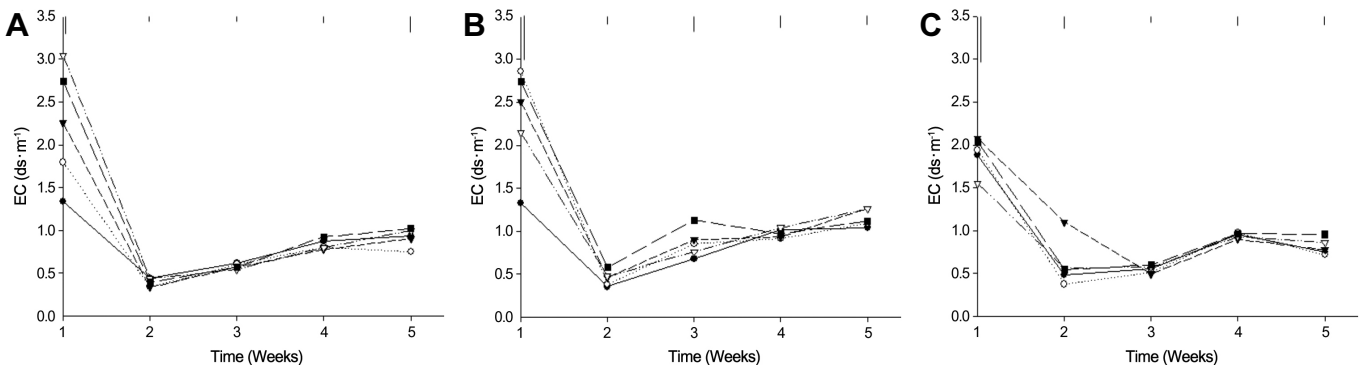


Fig. 2. Changes of the EC in the soil solution of root media during cultivation of red-leaf lettuce as influenced by various application rates of fused superphosphate as pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) at $p \leq 0.05$ among treatments within each week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

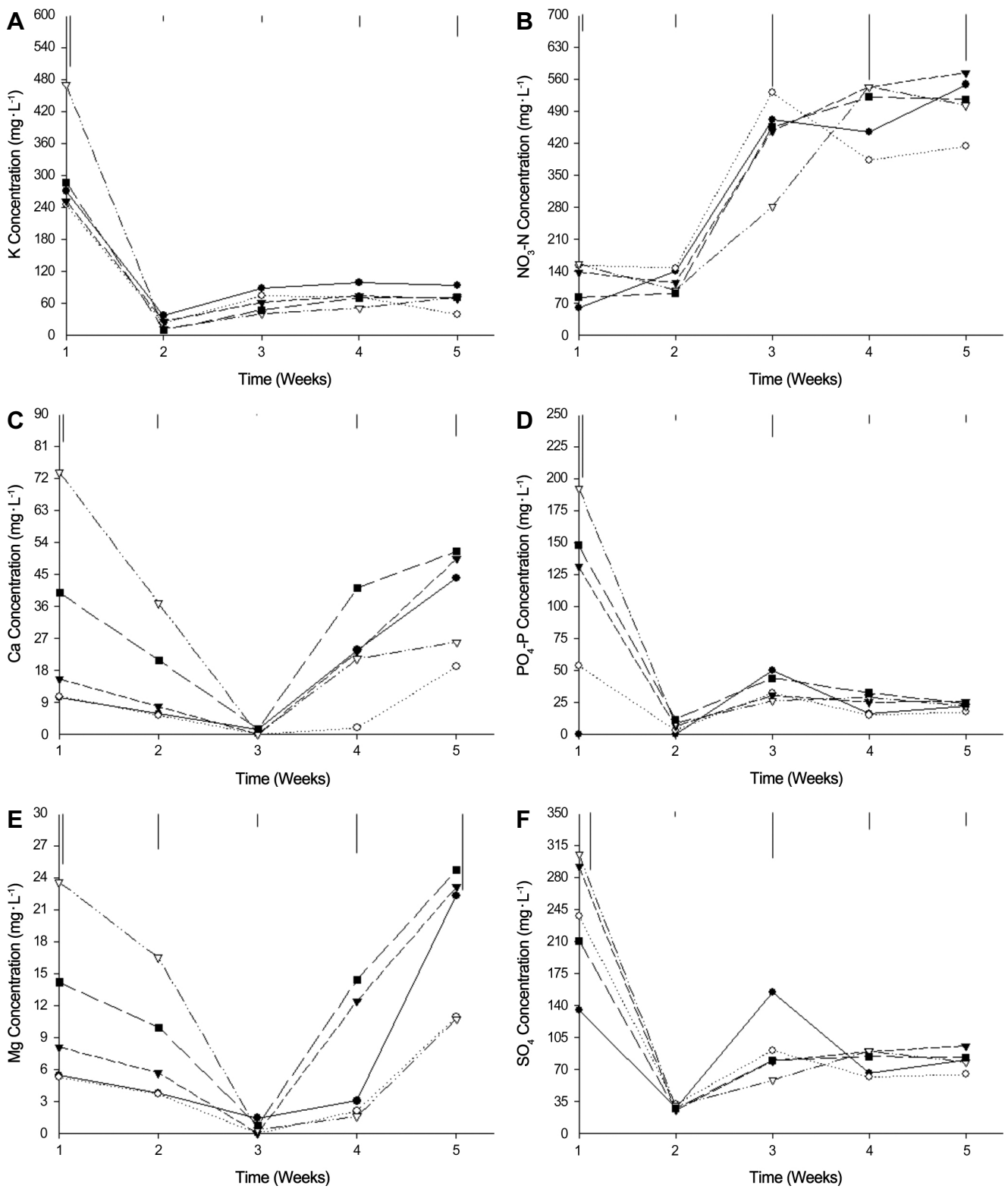


Fig. 3. Changes in the concentrations of macro nutrients in the soil solution of CD+ERH medium during the cultivation of red-leaf lettuce as influenced by various levels of fused superphosphate as pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A, K; B, $\text{NO}_3\text{-N}$; C, Ca; D, $\text{PO}_4\text{-P}$; E, Mg; F, SO_4^{2-} ; ●: 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 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$).

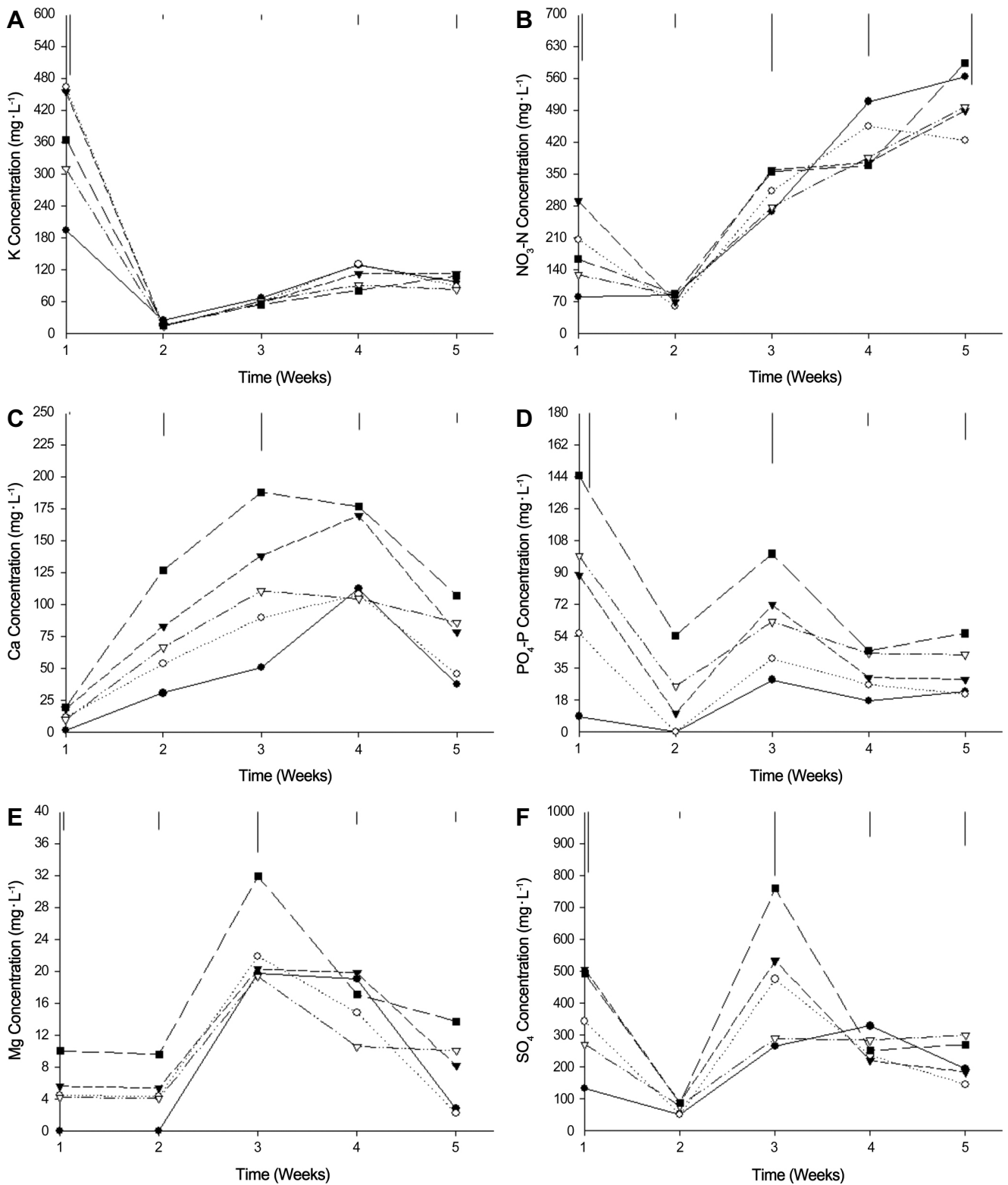


Fig. 4. Changes in the concentrations of macro nutrients in the soil solution of CD+CRH medium during cultivation of red-leaf lettuce as influenced by various levels of fused superphosphate as pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A, K; B, NO₃-N; C, Ca; D, PO₄-P; E, Mg; F, SO₄²⁻; ●: 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).

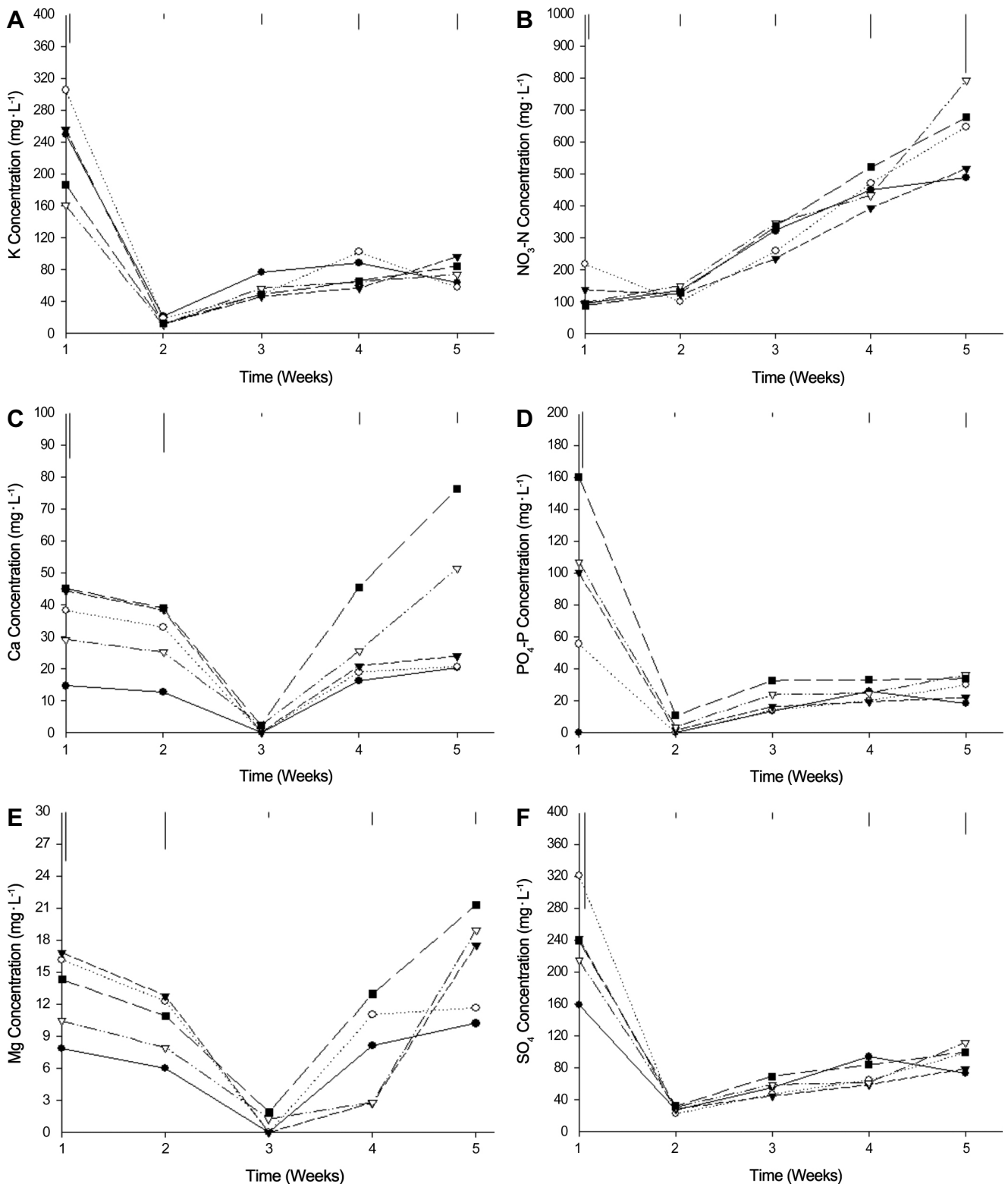


Fig. 5. Changes in the concentrations of macro nutrients in the soil solution of CD+GAPB medium during the cultivation of red leaf lettuce as influenced by various levels of fused superphosphate as pre-planting fertilizer. Vertical bars represent least significant difference (LSD) among treatments within each week at $p \leq 0.05$ (A, K; B, $\text{NO}_3\text{-N}$; C, Ca; D, $\text{PO}_4\text{-P}$; E, Mg; F, SO_4^{2-} ; ●: 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 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$).

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 나타냈다.

CD+ERH 혼합상토의 토양용액 내 K 농도는 2주까지 급격히 낮아진 후 3주에 약간 상승하였고, 상승한 농도가 5주까지 유사하게 유지되었다. 토양용액의 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 농도는 3주까지 낮아진 후 4주와 5주에 높아졌다. 토양용액 내 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 등 알칼리성 원소의 농도는 정식 3주 후 까지 용과린 $4.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 시비구에서 가장 높았지만 3주 후에는 3 및 $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 가장 높았고, 전 기간 동안 용과린 시비수준이 낮은 처리들에서 토양 용액 내 농도도 낮은 경향이였다. 음이온인 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 모든 처리에서 2주에 유사한 농도로 분석되었지만 3주 후 급상승하였고, 높아진 농도가 5주 후 까지 유지되는 경향이였다. 그러나 처리간 다소간의 차이가 있었음에도 통계적인 차이는 인정되지 않았다. $\text{PO}_4\text{-P}$ 및 SO_4^{2-} 농도는 정식 2주 후까지 낮아진 후, 다시 3주 후 약간 상승하여 정식 5주후까지 유사한 농도로 유지되었다.

앞에서 설명한 바와 같이 과린산석회와 용성인비를 혼합하여 시판되는 용과린은 수용성 인산과 구용성 인산을 포함하고 있다. 또한 과린산석회와 용성인비는 인광석을 가공하여 속효성 인산 함량이 높도록 조제되지만 인광석에는 많은 양의 CaO과 MgO이 함유되어 있으며, 인산을 시비할 목적으로 용과린을 처리하면 속효성인산 비료인 과린산석회에 포함된 인산, 칼슘, 마그네슘 및 황이 정식 후 비교적 빠른 시기에 용출되어 토양 농도를 높인다(Lim, 2005). 본 연구에서도 정식 1주 및 2주 후 용과린의 시비수준이 높아질수록 토양용액 내 Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{PO}_4\text{-P}$ 및 SO_4^{2-} 농도가 높았으며, 용과린 비료의 성분 조성에 영향을 받았음을 알 수 있다. 그러나 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도의 변화는 다른 접근이 필요하다. 정식 후 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 기준으로 추비의 수준이 결정되었으며, 식물이 흡수하는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 양보다 시비를 통해 공급된 양이 더 많아 상토에 집적되었고, 이러한 이유로 토양 농도가 높게 분석되었다고 생각하며, 관비시 배수율과 토양 용액 무기이온 농도 변화를 보고한 Choi(2015)가 이러한 결과에 대한 논리적인 배경을 제공한다.

혼탄이 포함된 CD+CRH 혼합상토에서 토양용액 내 주요 다량원소의 농도 변화는 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. K^+ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 약간의 차이가 있음에도 불구하고 CD+ERH 혼합상토(Fig. 3)와 유사한 경향을 보이며 변하였다. 그러나 정식 3, 4 및 5주 후 용과린 시비수준이 높았던 처리에서

토양용액 내 $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도가 높게 유지되었고, 동일한 수준으로 용과린을 시비하였던 CD+ERH 혼합상토보다 높은 농도로 분석되었다. 토양용액 내 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 농도도 CD+ERH 상토와 다른 경향을 보여 Ca^{2+} 은 정식 4주 후까지, Mg^{2+} 은 정식 3주 후까지 농도가 높아진 후 다시 낮아졌다. 이와 같은 차이가 발생하는 것은 CD+CRH 혼합상토의 구성재료인 혼탄의 화학성에서 원인을 찾을 수 있다. 왕겨를 탄화시킨 혼탄은 인산을 비롯한 CaO 및 MgO 등 무기원소 함량이 매우 높으며(Choi et al., 2009), 작물 정식 후 재배기간이 경과함에 따라 혼탄에 포함된 원소들이 가용화되어 토양 농도를 높인 원인이 되었다고 판단하였다.

코이어 더스트와 부숙분쇄수피를 혼합하여 조제한 CD+GAPB 혼합상토에서 토양용액 내 개별 다량원소의 농도 변화(Fig. 5)는 Fig. 3에 나타낸 CD+ERH 상토와 매우 유사한 경향을 보이며 변하였다. 이는 혼합상토 조제 전 CD+GAPB와 CD+ERH의 구성재료인 부숙수피와 팽연왕겨의 무기 원소 농도가 매우 낮아 구성재료가 함유한 무기원소 보다 기비 또는 추비로 시비된 비료에 화학적 특성이 영향을 받았기 때문이라고 판단하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. 코이어 더스트가 포함되도록 조제한 CD+ERH, CD+CRH, 그리고 CD+GAPB 혼합상토에서 적축면 상추를 재배하기 위해 기비로 포함된 용과린의 적절한 시비수준은 각각 6.0 , 4.5 및 $6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 였다. CD+ERH와 CD+GAPB 혼합상토의 pH는 작물 재배기간 동안 적절한 범위인 5.5-6.5를 유지하였지만 CD+CRH에서 지속적으로 낮아졌고, 정식 1-2주 후 CD+ERH나 CD+CRH의 EC가 CD+GAPB 보다 높았다.

초 록

코이어 더스트(coir-dust, CD)와 팽연왕겨(expanded rice hull, ERH), 혼탄(carbonized rice hull, CRH), 및 분쇄수피(ground pine bark, GRPB)를 혼합하여 조제한 CD+ERH(8:2, v/v), CD+CRH(6:4) 및 CD+GRPB(6:4)의 세 종류 혼합상토에 기비로 혼합된 용과린의 시비수준이 적축면 상추의 생장과 근권부 화학성 변화에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 용과린을 $0.0\text{-}6.0\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 $1.5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 씩 시비수준의 차이를 두어 상토에 혼합한 후 본엽 3매인 적축면 상추를 정식하고 5주간 태양광 병용형 식물공장에서 재배하였다. 매주 1회 중성비료를 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 농도를 조절하여 포트당 150mL씩 공급하였고, 시비 30분 후 포트

하단부에서 토양수를 추출하여 근권부 pH, EC 및 무기이온 농도 변화를 분석하였으며, 정식 5주 후에 지상부 생장을 조사하였다. 적축면 상추는 CD+CRH 보다 CD+ERH와 CD+GRPB에서 지상부 생장량이 많았고, 각 상토에서 용과린 시비수준이 높을수록 지상부 생장량이 많은 경향이었다. 정식 3주 이후 CRH를 포함한 상토의 근권부 pH는 4.0-4.8, PO_4^{3-} 농도는 $20-100mg \cdot L^{-1}$ 범위로 분석되었는데 이는 ERH와 GRPB를 포함한 혼합상토 보다 pH는 낮고 PO_4^{3-} 농도는 높은 결과이다. 용과린의 시비수준이 높을수록 세 종류 상토의 토양용액 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 농도가 높았지는 경향이 있었으며, CD+CRH에서 다른 혼합상토보다 K^+ 농도가 높았다. 재배기간이 경과함에 따라 세 종류 상토의 NO_3-N 농도가 높아졌으며, NO_3-N 농도가 높을 때 토양용액 EC도 상승하는 경향을 나타냈다. 이상의 결과를 종합하면 식물공장에서 적축면 상추를 재배하기 위해 적합한 혼합상토는 CD+ERH와 CD+GRPB 였고, 기비로 혼합되는 용과린의 적정 시비수준은 $4.5-6.0g \cdot L^{-1}$ 의 범위라고 판단하였다.

추가 주요어 : 부숙수피, 훈탄, 팽연왕겨, 시비

인용문헌

- Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
- Choi, J.M. 2014. Performance of seedling grafts of tomato as influenced by root medium formulations and leaching fractions in irrigation or fertigation. *Protected Hort. Plant Fac.* 23:235-243.
- Choi, J.M., C.S. Kang, J.W. Ahn, and C.W. Lee. 2011. Influence of fertilizer concentrations on the performance of seedling grafts of tomato grown in coir based root media. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 52: 393-401.
- Choi, J.M. and C.W. Lee. 2012. Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system. *J. Plant Nutr.* 35:1349-1358.
- Choi, J.M., C.W. Lee, and J.S. Park. 2015. Performance of seedling grafts of tomato as influenced by root substrate formulations, fertigation leaching fractions, and N concentrations in fertilizer solution. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56:17-21.
- Choi, J.M., C.Y. Shim, and J.S. Choi. 2002. Effect of phosphorus fertilization on changes in concentrations of nutrients in rice-hull based root media, crop growth, and nutrient contents of chrysanthemum. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:235-238.
- Choi, J.M., I.Y. Kim, and B.K. Kim. 2009. Root Substrates. Hackyesa. Daejeon, Korea. p. 278-279.
- Lim, S.W. 2005. Fertilizers. Ilsinsa, Seoul.
- Lindsay, W.L. 2001. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, Caldwell, NJ.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management, 6/e. Prentice Hall, NJ.
- Marschner, P. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Elsevier. New York.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1997. Plug & transplant production: a grower's guide. Ball Publishing. Batavia, IL.
- Tate, R.L. 1995. Soil microbiology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology, 4th ed. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA.