CNU Journal of Agricultural Science Vol. 38, No. 1, pp. 17-23, March 2011

피트모스 혼합상토에 기비로 혼합된 석회질 비료가 'Red Madness' 페튜니아 플러그 묘 생장과 상토화학성에 미치는 영향

이풍옥[1] · 이종석[1] · 최종명[1]*

[1]충남대학교 원예학과

Effect of pre-planting liming fertilization in peatmoss based substrates on plug seeding growth of 'Red Madness' petunia and changes in soil chemical properties

Poong-Ok Lee[1], Jong-Suk Lee[1], Jong-Myung Choi[1]*

[1]Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejon, 305-764, Korea

Received on 5 February 2011, revised on 26 February 2011, accepted on 9 March 2011

Abstract : This research was conducted to investigate the influence of application rate of liming fertilizers on changes in soil chemical properties and growth of 'Red Madness' petunia in plug production. To achieve this, dolomite (DO) with 0, 1.0, 3.5, 8.0 or 13.0 $g \cdot L^{-1}$ and calcium carbonate (CC) with 0, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, or 4.0 $g \cdot L^{-1}$ were incorporated into peatmoss + vermiculite (1:1, v/v) during the root substrates formulation. The treatments of 3.5 $g \cdot L^{-1}$ of DO and 2.5 or 3.0 $g \cdot L^{-1}$ of CC had acceptable ranges of pH and EC in soil solution such as 5.6~6.2 and 0.7~1.0 $dS \cdot m^{-1}$, respectively. The faster rising of pH was observed in root media containing CC rather than those of DO. This indicates that the solubility of CC is higher than DO. The soil Ca concentrations in all treatments of CC were 1.8 times as high as those of DO. The treatments of 3.5 or 8.0 $g \cdot L^{-1}$ of DO had the highest soil Mg concentrations, but all treatments of CC had lower soil Mg concentrations than control treatment indicating that additional application of Mg fertilizers are required. The elevated application rate of DO or CC resulted in the increase of fresh and dry weight. But plant heights were not influenced by application of liming fertilizers. The results of tissue analysis showed that application of DO or CC influenced the PO_4-P, Ca and Mg contents, but not influenced the contents of other nutrients such as N, P, Fe, Mn, Zn and Cu.

Key words **:** Ca, Calcium carbonate, Dolomite, EC, Mg, pH

I. 서 론

플러그 육묘용 상토의 보수성을 증가시키기 위하여 혼합하는 피트모스는 pH가 3.0~4.5로 낮아 다른 재료와 혼합하여 혼합 상토로 조제된 후에도 강산성을 띄어 많은 문제점을 발생시키며, 상토 조제과정에서 pH를 조절한 다음에 종자를 파종하거나 작물을 정식하여야 한다(Carpenter, 1994; Nelson, 2003).

플러그 육묘에서 상토 pH가 적절한 범위를 벗어나 강산성으로 변할 경우 파종된 종자의 발아율이 떨어지거나, 발아 후 Ca, Mg, 또는 P 결핍 등 각종 생리적인 장해를 발생시켜 플러그 묘의 상품성이 저하하는 원인이 된다(Marschner, 1995; Shoemaker와 Carlson, 1990; Styer와 Koranski, 1997). Fonteno(1996)와 Nelson(2003)은 상토의 양이온 교환용량이 낮고, 한 식물체를 지주하는 상토의 양이 적은 플러그 재배에서 무기원소의 과다 및 결핍으로 인한 작물 생장 저해현상이 자주 발생한다고 하였다.

혼합상토의 산도가 낮은 경우 이를 개선하기 위하여 가장 보편적으로 취할 수 있는 방법이 상토 조제 과정에서 석회질비료를 혼합하는 것이며, 조제 과정에서 혼합된 비

***Corresponding author:** Tel: 82-42-821-5736
E-mail address: choi1324@cnu.ac.kr

료는 플러그 육묘의 생육기간인 7~8주 동안 상토의 pH를 안정적으로 유지할 수 있어야 한다. 원예작물 재배를 위해서 생석회(CaO), 소석회($Ca(OH)_2$), 탄산석회($CaCO_3$) 및 고토석회 [Dolomite, $CaMg(CO_3)_2$] 등의 석회질 비료가 이용된다. 백운석계 고토석회(dolomite)는 용해도가 낮아 토양산도의 변화가 완만하여 적절한 pH에 도달할 때까지 많은 시간이 소요된다(Lim, 2005; Nelson, 2003). 또한 플러그 재배기간인 8주~10주 동안 적절한 수준으로 pH를 교정하는 역할뿐만 아니라 Ca이나 Mg 등의 비료원으로서의 역할을 하게 된다(Williams 등, 1988). 석회질 비료 중 생석회와 소석회는 가공과정 중 열처리과정을 겪은 것으로 너무 빨리 토양 pH를 변화시키기 때문에 원예작물재배를 위한 혼합상토의 기비로 이용하기에는 적합하지 않다. 또한 용해도가 높은 석회질 비료는 토양수의 무기염류 농도를 급격히 증가시켜 수분포텐셜 저하에 따른 종자의 수분흡수 억제 등에 의하여 불균일한 종자발아나 발아 후 생장억제 현상이 발생될 가능성이 높다. 그러므로 양이온교환용량이 적어 완충력이 낮은 혼합상토에는 고토석회나 탄산석회 등 용해도가 낮아 근권부 pH를 완만하게 변화시키는 물질이 혼합되어야 한다.

따라서 플러그 육묘용 상토의 시비체계를 확립하기 위한 연구의 일환으로 pH가 낮은 피트모스를 주재료로 플러그 육묘용 상토를 조제하는 과정에서 용해도가 낮은 고토석회나 탄산석회의 시비비율이 페튜니아 플러그 묘 생장, 토양화학성 변화, 그리고 식물체 무기물 함량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

상토는 피트모스(Acadian Peat Moss Ltd., Canada)와 질석(No. 2)을 1:1(v/v)로 혼합하여 조제하였고, 상토 혼합 시 삼중과인산석회(triple superphosphate)를 1.3 $g \cdot L^{-1}$, 미량원소복합제인 Micromax(Sierra Chem, Co. Milpitas, CA)를 0.9 $g \cdot L^{-1}$, 그리고 토양습윤제인 AquaGro^G wetting agent(Aquatrols Corp. of America, Pennsauken, NJ)를 0.9 $g \cdot L^{-1}$로 첨가하였다.

종자 파종 전 상토 혼합과정에서 두 종류의 석회질 비료를 첨가하였는데 고토석회 [$CaMg(CO_3)_2$] 를, 0.0, 1.0, 3.5, 8.0, 13.0 $g \cdot L^{-1}$로, 탄산칼슘($CaCO_3$)은 0, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 $g \cdot L^{-1}$의 비율로 혼합하였다. 상토혼합시 육안으로 판단하여 적절한 수준이 되도록 함수량을 조절하였고, 혼합 후 24시간 밀봉하여 수분평형이 일어나도록 기다렸다가 288 플러그 트레이에 충전하였다. 충전 후 페튜니아(*Petunia hybrida*) 'Red Madness' 종자를 파종하고 자엽이 발생하는 시기에 유리온실로 옮긴 후 수확기까지 재배하였다. 각 처리는 완전임의 3반복으로 배치하였으며, 재배기간 중 주·야간 평균온도는 24℃ 및 17℃, 평균일장 15 h, 그리고 광합성 유효 광양자속은 330~370 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$였다.

페튜니아 종자 파종 56일 후 식물체를 수확하여 초장과 생체중을 조사하였고, 수확된 식물체는 0.01N HCl용액에 1분간 침지한 후 증류수로 수세하여 식물의 잎에 묻어있는 이물질을 제거하였다. 이후 70℃의 건조기에서 24시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였으며, 건물중 측정 후 1 mm (20 mesh)의 screen에 통과되도록 Wiley mill로 분쇄하였다. 분쇄 시료 0.1 g을 이용하여 semi-micro Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 전질소함량을 분석하였다. 시료 0.5 g을 회화시켜 다른 필수원소를 분석하였다. 식물체 분석을 위한 방법 및 장비는 Choi 등(2009b)과 동일하였다.

토양 분석은 파종 후 1주 간격으로 수행하였다. 관수 2시간 후에 토양시료를 채취하여 Warncke(1986)의 방법으로 토양용액을 추출하였다. 미생물에 의한 NH_4^+의 산화를 억제시키기 위해 포화된 phenylmercuric acetate(1 g/18 mL DW)를 두 방울 첨가한 후 상토의 pH(pH meter, Fisher-29, USA)와 EC(EC meter, Orion-50, USA)를 측정하였다. 추출한 용액 속의 NH_4^+-N 분석은 Chaney와 Marbach (1962)의 방법으로, NO_3^--N은 Cataldo 등(1975)의 방법으로 분석하였다. 인산분석은 20 $mg \cdot L^{-1}$보다 농도가 높을 경우 Chapman과 Parker(1961)의 방법으로, 20 $mg \cdot L^{-1}$보다 낮을 경우에는 Murpy와 Riley(1962) 방법으로 분석하였다. 추출한 토양용액의 K, Ca 및 Mg 농도는 원자흡수분광광도계(AA-680, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

본 연구에서 페튜니아 플러그 묘의 생장과 상토화학성을 조사 및 분석한 결과는 Costat 통계프로그램(v. 6.3; Monterey, CA)을 사용하여 LSD검정을 하였다.

III. 결과 및 고찰

고토석회(dolomite)와 탄산칼슘(calcium carbonate)의 시비비율을 조절하여 처리한 결과 대조구(석회질 비료 0.0

$g \cdot L^{-1}$)는 파종 직후 pH가 약 3.5정도였으며 8주까지 3.5~4.3범위에 포함되었다(Fig. 1A와 1B) 고토석회와 탄산칼슘 모두 시용량이 증가함에 따라 근권부 pH가 높아졌으며, 탄산칼슘은 파종 직후(0주)와 8주째의 pH가 유사하였으나 고토석회가 시용된 처리에서는 완만하였지만 지속적으로 상승하였다. 탄산칼슘 처리구에서 초기에 pH가 빠르게 변하는 것은 탄산칼슘의 용해도가 고토석회보다 높은 것이 원인이 되었다고 생각한다(Lim, 2005). Hanan(1998) 및 Nelson(2003)은 혼합 상토의 적절한 pH 범위를 5.6~6.2로 제시하였는데 본 실험에 이용된 피트모스+질석(1:1; v/v)의 혼합 상토에서는 고토석회 3.5 및 8.0 $g \cdot L^{-1}$, 탄산칼슘 2.5, 3.0 및 3.5 $g \cdot L^{-1}$가 수용될 수 있는 범위에 포함되었다.

페튜니아 플러그 묘의 생장기간동안 석회질 비료의 시용에 따른 토양의 전기전도도(electrical conductivity, EC)의 변화를 측정한 결과(Fig. 1C와 1D), 처리직후의 모든 처리구가 약 0.8~1.0 범위에 포함되었으나 8주까지 0.7 $dS \cdot m^{-1}$정도로 완만하게 감소하는 경향이었다. Styer와 Koranski(1997)는 상토를 이용한 플러그 육묘의 적절한 EC의 범위를 0.5~1.0 $dS \cdot m^{-1}$로, Hamrick(1990)은 초화류의 플러그 육묘시 적정 EC 범위를 0.3~1.0 $dS \cdot m^{-1}$으로 제시하였다. 본 연구에서 두 종류 석회질 비료의 시용량이 증가하여도 근권부의 EC는 플러그 육묘를 위한 적절한 범위에 포함되었다고 판단하며, pH와 EC를 동시에 고려할 때 고토석회 3.5 $g \cdot L^{-1}$와 탄산칼슘 2.0 및 2.5 $g \cdot L^{-1}$가 적절한 시용량이라고 생각한다.

두 종류 석회질 비료가 토양 Ca농도에 미치는 영향에서(Fig. 2A와 2B) 탄산칼슘을 시용한 처리구가 고토석회 처리구보다 약 2배정도 높은 농도를 나타냈다. 즉 탄산칼슘 4.0 $g \cdot L^{-1}$ 처리의 Ca농도는 0주에서 약 180 $mg \cdot L^{-1}$정도였으며, 이는 고토석회 8.0 $g \cdot L^{-1}$ 시비구의 Ca농도인 100 $mg \cdot L^{-1}$보다 약 1.8배정도 높은 농도이다. 탄산칼슘이 혼합된 상토에서 초기의 Ca농도가 높은 것은 pH변화(Fig. 1A와 1B)와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단한다. 즉 탄산칼슘의 용해도가 고토석회의 용해도보다 월등히 높고(Lim, 2005), 높은 용해도가 토양 Ca농도의 빠른 증가와 초기 pH의 빠른 상승의 원인이 된 것으로 생각한다.

고토석회를 시비한 경우 탄산칼슘을 시비한 처리구보다

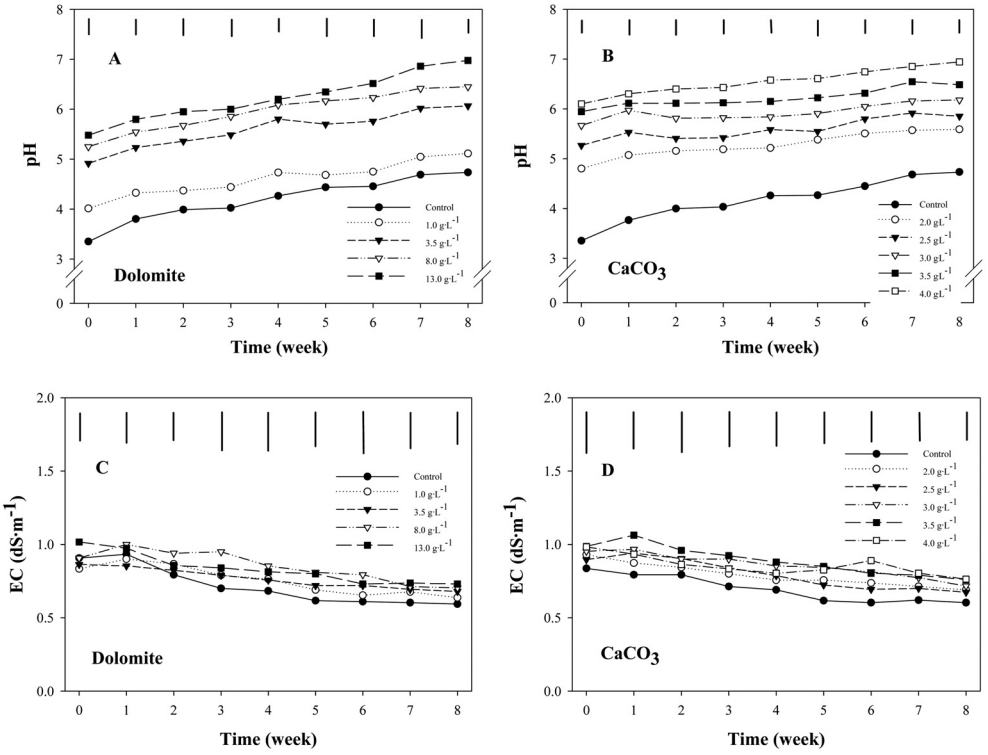

Fig. 1. Influence of pre-planting application rates of dolomite (A and C) and calcium carbonate (B and D) on the changes in pH and electrical conductivity (EC) of peatmoss + vermiculite media (1:1, v/v) during 8 weeks after sowing of 'Red Madness' petunia. Vertical bars represent the least significant differences (LSD) among treatments within each week.

약 2배 정도 Mg농도가 높았고, 탄산칼슘을 처리한 구는 대조구와 유사하거나 낮은 수준으로 나타났다(Fig. 2C와 2D). 식물이 무기원소를 흡수하는 과정에서 Ca과 Mg은 길항작용을 하여 토양 중 Ca농도가 높을 경우 식물체가 Mg 결핍증상을 발생시키는 것은 잘 알려진 사실이다(Marschner, 1995). 또한 근권부의 적정 Ca:Mg 비율이 2.5~3.1:1로 알려져 있으며(Choi 등, 2009a; Nelson, 2003), 탄산칼슘으로 상토 pH를 교정할 경우 다른 종류의 비료로부터 Mg을 공급해 주어야 안전한 작물생산이 가능할 것으로 판단된다.

상토 조제과정에서 모든 처리구에 triple superphosphate를 1.3 g·L^{-1}씩 동일한 양을 시비하였음에도 고토석회와 탄산칼슘 시비량 변화에 따라 토양 인산농도가 변하였다(Fig. 3A와 3B). 고토석회를 시비한 처리들간에는 3.5 g·L^{-1} 처리에서 인산농도가 가장 높고 13.0 g·L^{-1} 처리에서 가장 낮았으며, 탄산칼슘을 시비한 경우에도 시비량이 많아질수록 토양 인산농도가 낮아지는 경향이었다. 이와 같은 현상이 발생된 원인은 근권부에 존재하는 인산이 고토석회로부터 용해된 Ca이나 Mg, 또는 탄산석회로부터 용해된 Ca과 결합하여 불용태로 변하며, 고토석회나 탄산석회의 시비량이 많아 근권부에 두 비료로부터 발생된 Ca이나 Mg의 양이 많아질 경우 식물이 흡수할 수 있는 인산의 양이 감소한 원인이 되었다고 생각한다(Bunt, 1988; Hanan, 1998; Nelson, 2003).

토양 K의 농도는 고토석회와 탄산칼슘 처리 모두 비슷한 농도로 분석되었다(Fig. 3C와 3D). NH_4^+-N 농도는 고토석회와 탄산칼슘 처리구 모두 3주째까지 일정한 농도를 유지하였으나 4주 이후는 매우 낮은 농도로 분석되었다(Fig. 4A와 4B). 이는 상토에 존재하는 NH_4^+-N가 세균(Nitrosomonas와 Nitrobactor)에 의해 산화되는 질산화성작용으로 인하여 NO_3^--N으로 전환되고 있음을 의미하는데, Choi(1994)에 따르면 토양 중에 존재하는 NH_4^+-N는 2주 이내에 NO_3^--N으로 전환된다고 하여 이 같은 해석을 뒷받침하고 있다. 토양 NO_3^--N는 파종 직후 모든 처리에서 농도가 낮았지만 점차 상승하여 2주 또는 3주째 높은 농도를 보였으나 이후 다시 낮아지는 경향이었다(Fig. 4C와 4D). 2주부터 8주까지는 대조구를 제외한 각 처리간 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 6주 후에는 다시 높아지는 경향을 보였다. 0주부터 2주 또는 3주까지 농도가 증가하는

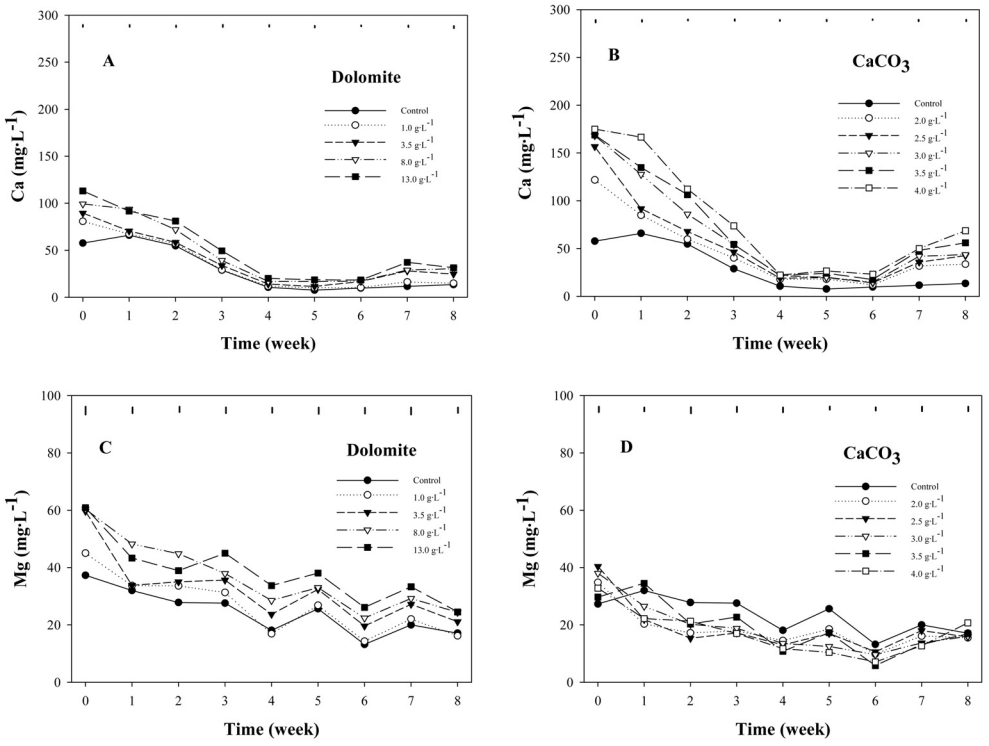

Fig. 2. Influence of pre-planting application rates of dolomite (A and C) and calcium carbonate (B and D) on the changes in calcium concentrations and magnesium concentrations of peatmoss + vermiculite media (1:1, v/v) during 8 weeks after sowing of 'Red Madness' petunia. Vertical bars represent the least significant differences (LSD) among treatments within each week.

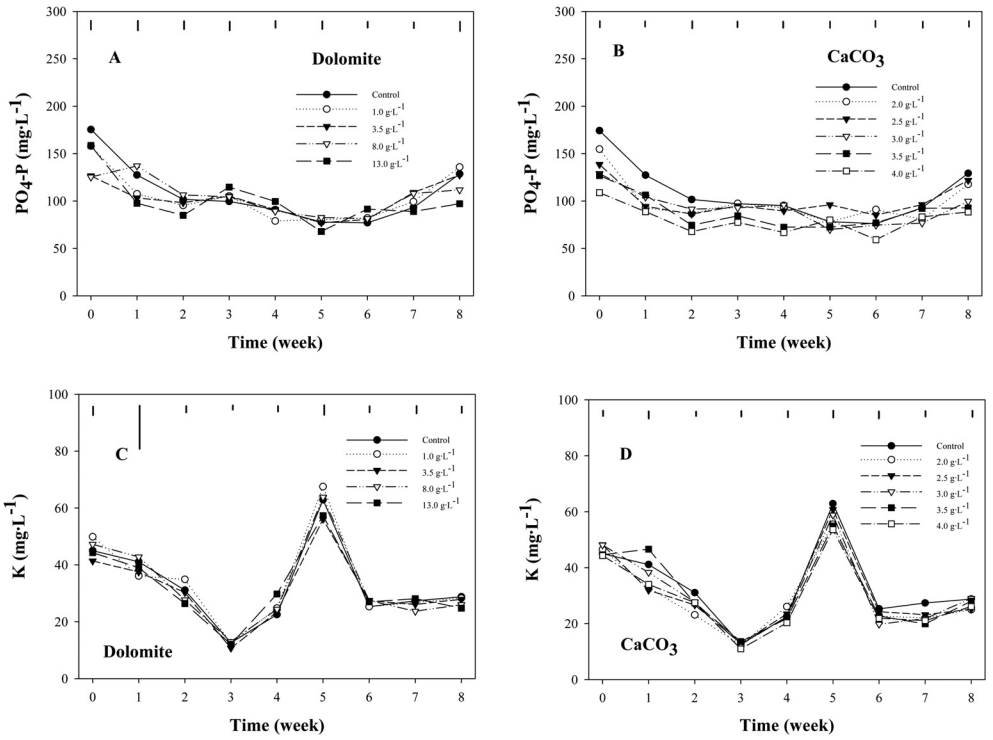

Fig. 3. Influence of pre-planting application rates of dolomite (A and C) and calcium carbonate (B and D) on the changes in phosphorus concentrations and potassium concentrations of peatmoss + vermiculite media (1:1, v/v) during 8 weeks after sowing of 'Red Madness' petunia. Vertical bars represent the least significant differences (LSD) among treatments within each week.

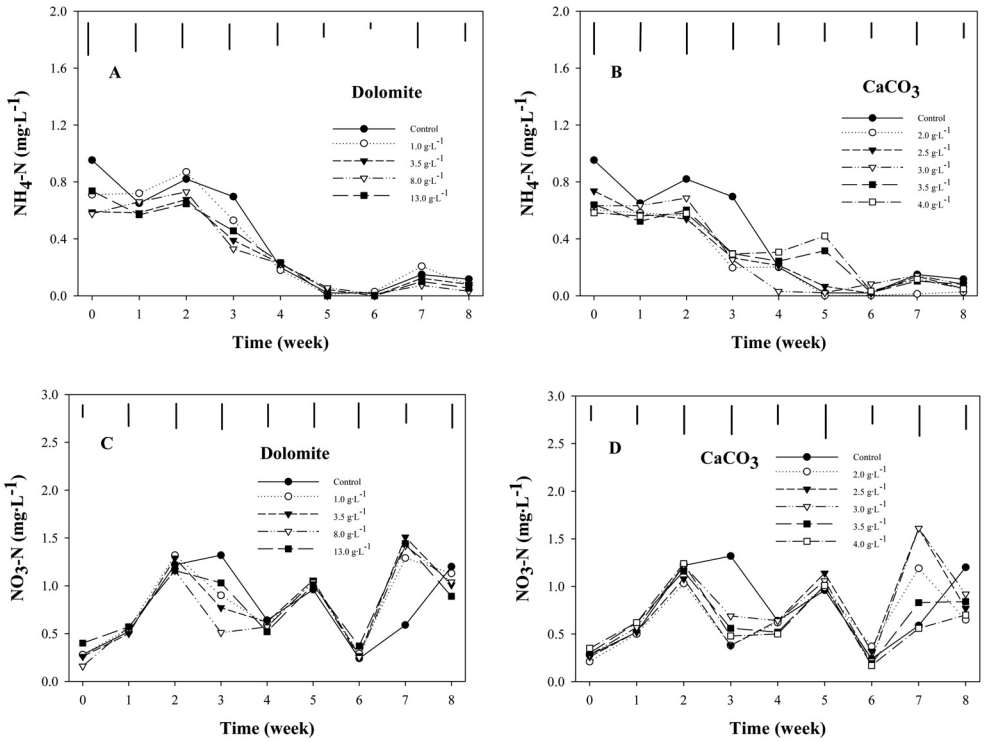

Fig. 4. Influence of pre-planting application rates of dolomite (A and C) and calcium carbonate (B and D) on the changes in ammonical nitrogen concentrations and nitrate nitrogen concentrations of peatmoss + vermiculite media (1:1, v/v) during 8 weeks after sowing of 'Red Madness' petunia. Vertical bars represent the least significant differences (LSD) among treatments within each week.

것은 토양 미생물에 의해 NH_4^+-N이 NO_3^--N으로 변화되고 있음을 의미하며, 6주 후에 다시 농도가 높아진 것은 상토 중에 존재하는 유기태 질소가 토양미생물들에 의해 질소무기화 작용을 거쳐 질산화 작용을 겪은 것으로 판단된다(Choi, 1994; Tate, 1995).

고토석회와 탄산칼슘 시비량에 따른 파종 56일 후의 페튜니아 식물생장 반응을 Fig. 5에 나타내었다. 고토석회의 시비량이 증가할수록 식물체의 초장이 커졌고, 생체중 및 건물중이 무거웠으며, 고토석회를 시비한 처리들보다 탄산칼슘 처리구가 초장, 생체중 및 건물중 등 생육지표에서 유의하게 우수하였다.

파종 56일 후의 페튜니아 식물체내 무기원소 함량은 Table 1에 나타내었다. 식물체 N함량은 탄산칼슘 3.0 $g \cdot L^{-1}$ 시비한 처리가 가장 높았고, 각 비료내의 처리간 통계적인 차이가 인정되었지만 두 종류의 석회질 비료 시비에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 식물체내 인산함량도 처리간 통계적인 차이는 인정되었지만 두 종류의 석회질 비료 시비에 따른 현저한 차이는 나타나지 않았다.

식물체의 Ca함량은 탄산칼슘 처리구가 고토석회 처리구보다 약 2배 이상 높게 분석되었는데, 고토석회가 시용된 처리들은 70~100 $mg \cdot L^{-1}$ 정도로 조사된 반면 탄산칼슘을 시용한 처리들은 약 150~200 $mg \cdot L^{-1}$의 Ca농도를 보여 2배 이상 차이가 있었으며, 이는 토양 Ca농도에 영향을 받은 것으로 판단된다(Fig. 2). 식물체의 Mg 함량은 고토석회를 시용한 처리들이 탄산칼슘을 시용한 처리보다 높게 분석되었고, 이는 고토석회 [$CaMg(CO_3)_2$] 와 탄산칼슘($CaCO_3$)의 구조에 기인한 결과라고 생각한다. 즉 고토석회를 처리한 구들이 탄산칼슘을 처리한 구보다 토양 Mg농도가 높았

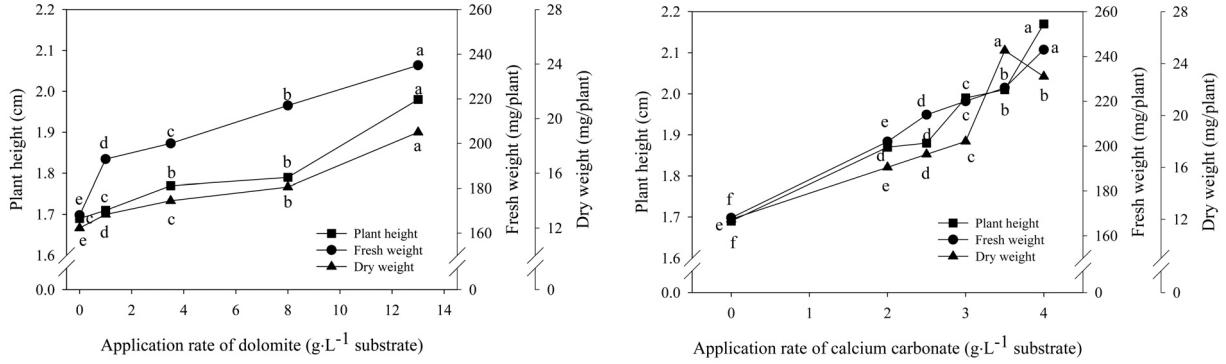

Fig. 5. Plant height, fresh weight, and dry weight of petunia 'Red Madness' at 56 days after sowing as influenced by the application rates of pre-planting dolomite (upper) and calcium carbonate (lower).

Table 1. Nutrient contents based on the whole above ground plant tissue at 56 days after sowing of petunia 'Red Madness' as influences by pre-planting application rates of dolomite and calcium carbonate.

Treatment ($g \cdot L^{-1}$)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	..... (%)					..... ($mg \cdot kg^{-1}$)			
Control	1.75 b[z]	0.43 h	4.17 a	0.45 d	0.40 d	20.1 a	31.1 a	7.0 b	0.5 a
Dolomite									
1.0	1.74 cd	0.55 g	3.83 a	0.62 d	0.47 c	17.8 a	35.3 a	6.3 b	0.4 a
3.5	1.51 h	0.64 de	3.84 a	0.66 cd	0.59 b	17.6 a	39.6 a	6.3 b	0.6 a
8.0	1.54 g	0.67 b	4.41 a	0.68 bcd	0.61 ab	28.8 a	45.4 a	10.0 a	0.5 a
13.0	1.61 f	0.63 e	4.53 a	0.84 abcd	0.63 a	19.1 a	32.2 a	5.3 b	0.6 a
Calcium carbonate									
2.0	1.72 d	0.64 de	3.77 a	0.94 abcd	0.35 e	11.6 b	35.3 a	7.4 b	0.6 a
2.5	1.68 e	0.65 cd	3.94 a	1.16 abc	0.35 e	18.3 a	36.3 a	7.8 b	0.6 a
3.0	1.86 a	0.66 bc	4.25 a	1.20 ab	0.38 de	13.2 b	38.7 a	10.7 a	0.6 a
3.5	1.68 e	0.69 a	3.87 a	1.20 ab	0.38 de	13.1 b	38.9 a	8.4 b	0.6 a
4.0	1.79 b	0.60 f	4.16 a	1.23 a	0.33 e	25.3 a	34.6 a	7.6 b	0.5 a

[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test, 5% level.

고(Fig. 2), 높은 토양 Mg농도가 식물체내 Mg함량이 높아진 원인이 되었다고 판단한다. 식물체내 미량원소(Fe, Mn, Zn, Cu)의 분석에 있어서는 다소간의 차이는 있었지만 고토석회와 탄산칼슘간에 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었다.

IV. 결 론

피트모스+버미큘라이트(1:1, v/v) 혼합상토를 이용한 페튜니아의 플러그 육묘에서 석회질 비료인 고토석회와 탄산칼슘의 시비수준이 상토의 토양화학성 변화, 식물생장, 그리고 무기원소 흡수에 미치는 영향을 구명하기 위해 본 연구를 수행하였다. 고토석회는 3.5 $g \cdot L^{-1}$, 탄산칼슘은 2.5 또는 3.0 $g \cdot L^{-1}$ 처리구에서 pH가 5.6~6.2 그리고 EC가 0.7~1.0 $dS \cdot m^{-1}$ 범위로 조사되었다. 탄산칼슘 처리구에서는 토양 pH가 빠른 속도로 상승한 후 안정되어 탄산칼슘이 고토석회에 비해 용해도가 높고 토양 pH에 빠르게 영향을 미친 것으로 조사되었다. 상토의 Ca 농도는 시비수준이 높아질수록 비례적으로 상승하였고, 탄산칼슘 처리구가 고토석회 처리구보다 2배 이상 높은 농도로 분석되었다. 토양 Mg 농도는 고토석회 처리구에서 8.0과 13.5 $g \cdot L^{-1}$ 처리에서 가장 높았고, 모든 탄산칼슘 처리구에서는 대조구보다 낮은 농도로 분석되어 추가로 Mg이 공급되어야 한다고 판단하였다. 고토석회나 탄산칼슘의 시비수준이 높아질수록 식물체의 Ca 또는 Mg 함량이 증가하였고, 인산함량은 낮아지는 경향을 나타내었다. 고토석회 시비구에서 탄산석회 시비구의 Mg 함량보다 뚜렷하게 높았다. 탄산칼슘 또는 고토석회의 시비수준이 높아질수록 페튜니아의 생체중과 건물중이 증가하는 경향이었으나 초장은 큰 차이를 나타내지 않았다.

참 고 문 헌

1. Bunt AC. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
2. Carpenter TD. 1994. Growing media and nutrient delivery systems for greenhouse vegetable and other crops. pp. 120-131. In *Greenhouse Systems, Automation, Culture and Environment* edited by North Regional Agricultural Engineering Service. New Brunswick, NJ.
3. Cataldo DA, Haroon M., Schrader LE, Youngs VL. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue. Commun. Soil Sci. and Plant Analysis 6: 71-80.
4. Chaney AL, Marbach EP. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chem. 8: 130-132.
5. Chapman HD, Parker FP. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. pp. 169-170. Univ. of Calif., Div. of. Agr. Sci.
6. Choi JM. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. Ph.D. Diss., North Carolina State Univ., Raleigh, USA.
7. Choi JM, Kim IY, Kim BG. 2009a. *Root Media*. Hagyesa, Daejeon, Korea.
8. Choi JM, Jeong SK, Ko KD. 2009b. Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in 'Maehyang' strawberry as influenced by phosphorus concentrations in the fertigation solution. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27: 55-61.
9. Eastin EF. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Anal. Biochem. 85: 591-594.
10. Fonteno WC. 1996. Media, fertilizer, and water. pp. 59-96. In *GrowerTalks on Plugs Ⅱ*. 2nd ed. edited by Hamrick D. Geo, J. Ball Publishing, Batavia, IL.
11. Hamrick D. 1990. The 3C bedding plant plugs. pp. 6-8. In *GrowerTalks on Plugs* edited by Hamrick D. Geo. J. Ball Publishing, Batavia, IL.
12. Hanan JJ. 1998. *Greenhouse: Advanced Technology for Protected Horticulture*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
13. Lim SW. 2005. *Fertilizers*. Ilsinsa, Seoul, Korea. [in Korean]
14. Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. pp. 505-565. Academic Press, San Diego, CA.
15. Murphy J, Riley JF. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27: 31-36.
16. Nelson PV. 2003. *Greenhouse Operation and Management*. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
17. Shoemaker CA, Carlson WH. 1990. pH affects seed germination of eight bedding plant species. HortScience 25: 762- 764.
18. Styer RC, Koranski DS. 1997. *Plug & Transplant Production: A Grower's Guide*. Ball Publishing, Batavia, IL.
19. Tate RL. 1995. *Soil Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc. NY.
20. Warncke DD. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 21: 223-225.
21. Williams BJ, Peterson JC, Utzinger JD. 1988. Liming reactions in sphagnum peat-based growing media. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 210-214.