

## Polyacrylic Acid Sodium Salt를 혼합한 세 종류 상토에 지효성 비료의 시비 수준이 포트-멤 'Lima Honey'의 생육과 무기원소 흡수에 미치는 영향

최종명\*·왕현진<sup>1</sup>

배재대학교 원예조경학부, <sup>1</sup>충남대학교 원예학과

## Effect of Application Rate of a Slow-release Fertilizer in Three Media Containing Polyacrylic Acid Sodium Salt on Growth and Nutrient Contents of Potted Chrysanthemum 'Lima Honey'

Jong Myung Choi\* and Hyun Jin Wang<sup>1</sup>

Division of Horticulture & Landscape Architecture, Pai Chai University, Daejeon 302-735, Korea

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

**Abstract.** Objective of this research was to determine the effect of application rate of a slow release fertilizer (SRF) in three root media, peatmoss+vermiculite (1:1, v/v; PV), peatmoss+composted rice hall (1:1, v/v; PR), and peatmoss+composted pine bark (1:1, v/v; PB), on growth and nutrient contents of potted chrysanthemum 'Lima Honey'. All media contained polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L<sup>-1</sup>. The fresh and dry weights at 43 days after transplanting did not show statistical differences among treatments in each root media. Elevated application rate of SRF increased fresh and dry weights at 80 days after transplanting in PV and PB media, but not in PR medium. Elevated application rates of SRF resulted in the increase of tissue phosphorus content and decrease of tissue Ca, Na, and Zn contents at both 43 and 80 days after transplanting. Elevated application rates of SRF resulted in the decrease of pH and increase of EC and concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>3-</sup>, K, Ca, and Mg in the soil solution of PV and PR media. The trends of those in PR media were also similar except NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The differences among treatments in EC at 80 days after transplanting were less significant as compared to those at 43 days after transplanting in three media.

**Key words :** dry weight, electrical conductivity, plant height, soil nutrient concentrations

\*Corresponding author

### 서 언

혼합상토를 이용한 포트-멤 재배를 위해서는 정식 전에 기비로 필수원소의 일부를 상토에 혼합하고, 정식 후에는 생육 상태와 토양 조건에 따라 적절한 농도로 필수 원소의 일부를 추비해야 한다. 미국 등 구미지역에서는 혼합상토의 기비로 고토석회, 과인산석회 등 인산질 비료, 유허함유 비료, 및 6종류 미량원소를 포함한 미량원소복합제를 혼합하고 있다. 이외에도 초기생육을 위해 필요한 N 및 K비료를 기비로 혼합하고 작물 생육에 따라 N과 K를 관비하거나 지효성 비료를 시비하고 있다(Bunt, 1988; Hanan, 1998; Nelson, 2003).

동일한 농도로 시비를 하여도 물리·화학적 특성에 따라 상토의 무기염 농도가 달라진다. 보수성이 높은 상토에서는 관수를 자주하지 않아도 되며, 배수공을 통해 용탈되는 무기염의 양이 적어 상토의 무기염 농도가 높게 유지된다. 큰 공극이 상토의 내부를 점유하여 배수성이 우수한 상토에서는 포화류(saturated flow)가 빠르고 배수공을 통해 용탈되는 무기염의 양이 많아 보편적으로 상토의

무기염 농도가 낮다. 따라서 물리적 특성에 따라 상토의 무기염 농도가 달라질 수밖에 없다(Fonteno와 Bilderback, 1993).

최근에는 혼합상토의 보수성을 증가시켜 관수횟수, 물 사용량, 및 에너지 사용량을 절감하고 생산비를 줄이기 위해 상토에 고흡수성수지를 혼합하고 있다. Verdonck와 Penninck(1986) 및 Gabrils 등(1986)이 지적인 바와 같이 구성재료, 입도분포, 그리고 입자 내외에 형성된 공극의 크기에 의하여 혼합상토의 물리적 특성이 달라진다. 또한 보수성 증가를 목적으로 혼합되는 고흡수성수지의 효과도 상토에 따라 다를 수밖에 없다. 만약 크기가 작은 공극들이 혼합상토 내부를 점유한다면 고흡수성수지의 혼합을 통해 보수성이 증가하고 공극이 확대되어 토양통기성을 우수하게 유지할 수 있지만, 이미 형성된 공극이 지나치게 크고 보수성이 낮은 경우에는 보수성 증가에 더 큰 영향을 미칠 것이다(Wang, 2004).

한편 Bres와 Weston(1993)은  $3.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 고흡수성수지를 혼합한 피트모스+펄라이트+버미큘라이트(1:1:1, v/v/v) 혼합상토에서  $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 가 50:50으로 혼합한 비료를 상부에 시비하면서 하단부의 배수공을 통해 용탈되는  $\text{NH}_4$ 와  $\text{NO}_3$ 의 양을 분석하였다. 고흡수성수지의 혼합비율이 높아질수록 용탈되는  $\text{NH}_4$  및  $\text{NO}_3$ 의 양이 감소하였고 그 정도는  $\text{NH}_4$ 가 높았다고 하였다. 이는  $\text{NH}_4$ 가 고흡수성수지의 양이온 치환부위에 흡착되었기 때문이며  $\text{NO}_3$ 은 보수성이 증가하였기 때문이라고 하였다.

따라서 국내에서 많이 생산되는 수피나 왕겨 등을 혼합상토 구성재료로 이용하고, 국산 고흡수성수지인 polyacrylic acid sodium salt의 혼합 비율을 변화시킨 후 포트-멍을 재배할 경우 지효성 비료의 시비 수준이 생육과 무기원소 흡수에 미치는 영향을 구명하여 적정 시비량을 밝히고자 본 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

혼합상토 조제를 위해 Choi 등(1999a, 1999b)의 방법에 준해 예비부숙과 주부숙을 거친 유기물질을 수집하였고, 버미큘라이트는 직경 2~4mm인 것을 상토조제에 이용하였다. 수집된 재료들을 이용하여 피트모스(Acadian Peat Moss LTD, Canada)와 질석을 1:1(v/v; PV)로 혼합한 상토, 피트모스+부숙왕겨(1:1, v/v; PR), 피트모스+부숙수피(1:1, v/v; PB)를 혼합하여 상토를 조제하였다. 조제된 상토에는 고흡수성수지인 polyacrylic acid sodium salt [(주) 송원산업, PASS]를  $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 건조된 상태에서 혼합하였다. 또한 고도석회  $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 용과린  $1.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 미량원소 복합제인 Micromax(Sierra Chem, Co. Milpitas, CA)를  $0.6\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 그리고 토양습윤제인 AquaGro<sup>®</sup>(Aquatrols Corp. of America, Pennsauken, NJ)를  $0.11\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  및  $\text{KNO}_3$ 를 각각  $0.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{CaSO}_4$ 를  $0.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 첨가하였다.

조제된 상토를 육안으로 판단하여 적절한 함량을 갖도록 수분을 첨가하였으며, 24시간 밀봉하여 수분평형이 된 후 내경 10cm의 플라스틱 포트에 채우고 포트-멍 ?ima Honey?를 정식하였다. 정식 후 2주간 3요소를 20-10-20(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)으로 배합하여 질소농도 기준으로  $450\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 매주 1회 시비하였고, 3주 이후에는 관수만 하였다. 그리고 실험 대상인 CDU 지효성 비료[20-10-20(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O), 비왕산업]는 정식 직후 0, 3.0, 6.0, 9.0  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 시비하였다.

실험은 2003년 3월 2일부터 80일간 수행하였고 재배온실의 온도는 최저 16~최고 25를 유지하였으며, 습도는 자연상태를 유지하였다. 3주 이후의 관수에는 지하수를 관수하였으며 용탈율을 50%로 조절하였다(Yelanich와 Biernbaum, 1993).

정식 43일 및 80일 후에 지상부를 채취하여 식물체의 초장, 초폭, 엽수, 관부직경, 생체중 그리고 건물중을 조사하였다. 채취된 식물체는 Choi(1994)의 방법에 준해 식물체의 무기물 함량을 분석하였다.

토양분석도 정식 43일과 80일 후에 수행하였다. 관수 2시간 후에 토양시료를 채취하여 Warncke(1986)의 방법으로 추출하였고, 미생물에 의한  $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 산화를 억제시키기 위해 포화된 phenylmercuric acetate(1g/18mL D.W.)를 두방울 떨어뜨린 후 상토의 pH, EC 및 무기원소 농도를 분석하였다.  $\text{NH}_4\text{-N}$  분석은 Chaney와 Marbach(1962)의 방법으로,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Cataldo 등(1975)의 방법으로, 그리고  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 분석은  $20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  보다 농도가 높을 경우 Chapman과 Parker(1961)의 방법으로,  $20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  보다 낮을 경우에는 Murpy와 Riley (1962)의 방법으로 비색 정량하였다.

식물체 및 토양의 무기원소 분석에서 질소분석은 Kjeldahl 분해 및 증류장치(Buchi digestion unit 412 및 distillation unit B-324, Swiss),  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , 및  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 비색정량을 위해 흡광분석기(CE-5001, Cesil, England), K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu 분석을 위해 원자흡광분석기(AA-680, Shimadzu, Japan), 그리고 pH meter(Fisher-20, USA)와 EC meter (Orion-50, USA)를 사용하였다.

## 결과 및 고찰

Table 1은 PASS를  $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 세 종류 상토에 지효성 비료 CDU의 처리량을 달리하고 정식 43일 후 지상부 생육을 조사한 내용이다. PV 상토에 지효성 비료의 시비량을 증가시킬 경우 조사한 모든 생육지표에서 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다. 엽수를 제외한 조사항목에서 시비 수준에 따른 차이를 발견할 수 없었으며, 엽수는 무처리 부터  $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 까지 증가하다가  $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 적어졌다. PR 상토에서는 지효성 비료의 시비 수준이 높아질수록 초장 및 초폭이 감소하였는데, 초장은 1% 수준의 직선회귀와 5% 수준의 2차곡선회귀가, 초폭에서는 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 지효성비료의 시비량 증가로 생육이 억제됨을 알 수 있었다. PB 상토에서도 정도의 차이가 있지만 PR 상토에서와 유사한 경향을 나타내었다.

세 종류 상토에서 재배된 국화의 43일 후 생육은 지효성 비료에 많은 영향을 받지 않았으며 기비로 혼합된 비료들에 영향을 받았다고 판단되었다. 이와 같이 판단하는 이유는 지효성 비료를 제외한 모든 비료를 동일하게 시비하였으며, 지효성 비료의 시비 효과가 서서히 나타나기 때문이다. 즉 캡슐형의 지효성 비료는 캡슐 내부와 외부의 압력차에 의하여 미세한 구멍이 형성되고(Hanan, 1998; Nelson, 2003) 재배후기로 갈수록 구멍이 커져 용출량이 증가한다. 따라서 43일 후에 조사한 결과에서 생체중과 건물중의 처리 간 차이가 크지 않았다고 판단되었다.

정식 80일 후에 국화의 생육을 조사한 결과 PV 상토에서 지효성 비료인 CDU의 시비량 증가는 조사한 모든 생육지표에서 생육이 우수한 원인이 되었다(Table 2). 그러나 초장, 엽수, 생체중 및 건물중에서만 시비 수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었고, 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향을 판단할 수 있었다. PR 상토에서는 조사한 모든 생육지표에서 시비 수준에 따른 차이가 인정되지 않았고, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 발견할 수 없었다. PB 상토에서는

지효성 비료의 시비량이 증가할수록 엽수, 생체중 및 건물중이 증가하였으며, 시비 수준에 따른 처리간 통계적인 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 이 상토에서 생육이 가장 우수한 처리는  $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 라고 판단되었다.

Table 3은 정식 43일 후 포트-묘의 지상부를 수확하여 식물체의 무기원소 함량을 분석한 결과이다. CDU 지효성 비료의 시비량이 증가해도 PV 상토에서 재배된 국화의 N 및 K 함량은 차이를 나타내지 않았다. 그러나 지효성 비료의 시비량이 증가할수록 식물체내 인산함량이 증가하고 Ca, Na, 및 Zn 함량이 감소하였다. 인산함량의 증가는 지효성 비료의 시비량 보다는 상토의 pH에 더 큰 영향을 받았기 때문이다. Bunt(1988)와 Nelson(2003)은 혼합상토의 pH 변화에 따른 무기원소의 식물 이용도는 노지 토양과는 차이가 있으며, 강산성으로 변화할 경우 노지토양에서는 인산이 Al이나 Fe의 수산화물과 결합하여 불용화되나, 상토에서는 가용화된 인산량이 급격히 증가하여 식물에 의한 흡수량이 증가한다고 하여 본 연구결과를 뒷받침하고 있다. 그러나 20-10-20(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)으로 조성된 CDU 복합비료의 시비 수준이 높아져도 N과 K의 함량에서 처리 간 차이를 보이지 않은 것은 예상 밖의 결과로써 보완 연구가 필요하다고 판단되었다. Ca, Mg, 및 Na의 흡수량은 상토의 pH에 많은 영향을 받았다고 판단된다. Table 5에 나타난 바와 같이 지효성 비료의 시비량이 증가할수록 pH가 산성으로 변했고, 산성조건에서 불용화되는 Ca, Mg, 및 Na의 양이 증가하여 식물체의 흡수량 저하 원인이 되었다고 판단되었다(Hanan, 1998; Nelson, 2003). Zn은 인산과 결합하여 쉽게 불용화 되며, 가용화된 인산의 양이 증가할 경우 토양 용액이나 흡수 과정에서의 식물체내 통도조직에서 Zn과 인산이 결합하여 불용화 된다(Marschner, 1995; Mengel과 Kirkby, 1987). 따라서 인산 흡수량 증가가 Zn 흡수량 감소의 원인이 되었다고 판단되었다.

PR과 PB 상토에서의 식물체내 무기물 함량도 PV 상토에서와 유사한 경향을 나타내었다. 특히 지효성 비료의 시비량이 증가할 경우 Fe 및 Mn의 흡수량이 증가하였는데, PB 상토에서의 Mn 함량은 처리 간 차이와 함께 직선 및 2차곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다. 이는 지효성 비료의 시비량 증가로 토양 pH가 산성으로 변하였고, 산성 조건에서 가용화된 Fe 및 Mn 양이 증가하였기 때문이라고 판단되었으며 Hannan (1998), Mortvedt 등(1991) 및 Nelson(2003)도 유사한 결과를 보고한 바 있다.

Table 4에 나타난 바와 같이 정식 80일 후인 출하기에 지상부 전체의 무기물 함량을 분석한 결과 PV 상토에서 지효성비료의 시비량 증가로 식물체내 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ca, Fe, 및 Mn 함량이 증가하였다. 그러나 PR 및 PB 상토에서는 정식 43일 후의 결과와 유사한 경향이었고, 지효성 비료의 시비 수준에 따른 식물체내 무기물 함량은 차이가 적었다. 이와 같은 이유는 정식 전 두 상토에서의 영농도가 높았으며(데이터는 제시하지 않음), 높은 영농도로 인해 추비된 지효성 비료에 대하여 반응이 크지 않았다고 판단되었다.

Table 5는 정식 43일 후에 토양시료를 채취하여 화학적 특성을 분석하고 그 결과를 나타내었다. PV 상토에서 지효성 비료의 시비량이 증가할수록 상토의 pH가 저하되었고, 전기전도도가 뚜렷하게 상승하였으며, NH<sub>4</sub>-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K, Ca, 및 Mg의 농도가 뚜렷하게 증가하였다. CDU 지효성 비료는 20-10-20(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O)로 조성되어 있으며 지효성 비료의 시비량 증가가 토양 중 3대 요소의 증가 원인이 됨은 당연한 결과라고 판단되었다. 그러나 Ca 및 Mg의 농도 증가는 흡수과정에서의 양이온간 길항작용 때문이라고 판단된다. Mengel과 Kirkby(1987) 및 Marschner(1995)는 식물에 의한 무기원소 흡수과정에서의 양이온간 길항작용을 설명하면서 토양 중 특정 양이온의 증가는 다른 양이온의 흡수량을 저하시킨다고 보고하였다. 또한 특정 양이온의 토양 중 농도 증가를 통한 흡수량이 증가할 경우 다른 양이온의 흡수량이 저하되나 흡수한 총 양이온의 양은 큰 차이를

보이지 않는다고 하였다. 본 실험에서 지효성 비료의 시용을 통해 양이온인  $\text{NH}_4$ , Na, 및 K의 양이 급격히 증가함에 따라 Ca 및 Mg의 흡수량이 저하되었고, 결국 흡수되지 못하고 상토에 잔존하는 양이 많아 상토 내 농도 증가의 원인이 되었다고 판단되었다.

정식 80일 후인 출하기에 토양을 분석한 결과(Table 6)에서도 Table 5와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 재배 후반기로 갈수록 43일 후 보다 지효성비료의 시비 수준에 따른 상토의 염농도(EC)에서 처리 간 차이가 적었다. 또한 43일후에는 세 종류 상토 간  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도가 유사한 수준을 유지하였으나 80일 후에는 PV 상토에서 보다 PR 이나 PB 상토에서 월등히 낮았다. 이는 작물재배 중 미생물에 의해 분해되는 왕겨나 수피의 양이 많음을 의미하며, 유기물의 부속에 관여하는 미생물들에 의해 질소가 이용되므로 상토의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도를 낮게 유지하였다고 판단된다(Tate, 1995). Bunt(1988) 및 Nelson(2003)은 부속 또는 분해되기 쉬운 유기물질을 혼합상토의 구성재료로 이용할 경우 높은 C/N율과 미생물의 활동으로 인해 상토 내에 존재하는 질소가 미생물에 이용되며 작물이 질소 결핍증상을 발현하는 경우가 많다고 하였다. 또한 완숙된 유기물질도 작물 재배 중에 분해될 수 있으며 분해과정에서 미생물에 의한 질소결핍 가능성을 보고하였다. 따라서 PR 또는 PB 상토에서의 낮은  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는 유기물질의 부속과정에서 미생물에 의한 질소의 이용 때문이라고 판단되었다. 기타 분석한 무기원소의 토양 중 농도는 정식 43일 후와 유사한 경향을 보였다.

이상의 결과에서 고흡수성 수지 polyacrylic acid sodium salt를  $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합한 세 종류 상토에서 국화의 생체중과 건물중 등 작물 생육을 고려한 지효성 비료 CDU의 적정 시비량은 PV 상토는  $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , PR 및 PB 상토는  $6.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 라는 결론을 얻었다.

## 적 요

본 연구는 보수성 증가를 위하여 피트모스+버미큘라이트(1:1, v/v; PV), 피트모스+부속왕겨(1:1, v/v; PR), 그리고 피트모스+부속수피(1:1, v/v; PB)의 세 종류 상토에 polyacrylic acid sodium salt를  $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 후 CDU 지효성비료의 시비량이 포트-멍 ?ima Honey'의 생육과 무기원소 흡수에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다. 세 종류 상토에 지효성 비료의 시비량을 증가시켜도 정식 43일 후의 국화 생육은 지효성 비료에 많은 영향을 받지 않아 처리 간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 정식 80일 후에는 지효성 비료의 시비량 증가로 PV와 PB 상토에서 건물중이 무거워졌으나, PR 상토에서는 처리 간 차이가 뚜렷하지 않았다. 지효성 비료의 시비량이 증가할수록 정식 43일과 80일 후 식물체내 인산함량이 증가하고, Ca, Na, 및 Zn 함량이 감소하였다. 지효성 비료의 시용은 PV 및 PB 상토의 pH 저하, EC의 상승,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , K, Ca, 및 Mg 농도 상승의 원인이 되었다. PR 상토에서도  $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 제외한 다른 원소에서는 유사한 경향을 나타내었다. 정식 80일 후에는 43일 후 보다 지효성비료의 시비 수준에 따른 상토의 염농도(EC)에서 처리 간 차이가 적었다.

주제어 : 건물중, 전기전도도, 초장, 토양 무기염농도

## 인용문헌

1. Bres, W. and L.A. Weston. 1993. Influence of gel additives on nitrate, ammonium, and water retention and tomato growth in a soilless medium. HortScience 28:1005-1007.
2. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
3. Cataldo, D.A., M. Haroon, L.E. Schrader, and V.L. Young. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 6:71-80.
4. Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinica Chem. 8:130-132.
5. Chapman, H.D. and F.P. Parker. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. p. 169-170. Univ. of Calif., Div. of Agr. Sci.
6. Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. PhD Diss., North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
7. Choi, J.M., H.J. Chung, and J.S. Choi. 1999a. Physical properties of pine bark affected by peeling method and improving moisture retention capacity. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:363-367.
8. Choi, J.M., H.J. Chung, B.K. Seo, and C.Y. Song. 1999b. Improved physical properties in rice hull, saw dust and wood chip by milling and blending with recycled rockwool. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 40:755-760.
9. Fonteno, W.C. and T.E. Bilderback 1993. Impact of hydrogel on physical properties of coarse-structured horticultural substrates. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:217-222.
10. Gabrils, R., O. Verdonck, and O. Mekers. 1986. Substrate requirements for pot plants in recirculating water culture. Acta Hort. 178:93-100.
11. Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
12. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. p. 436-478. Academic Press. Inc., San Diego.
13. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. p. 347-384. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
14. Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman, and R.M. Welch. 1991. Micronutrient in agriculture. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.
15. Murphy, J. and J.F. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27:31-36.
16. Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ.
17. Tate, R.L. 1995. Soil microbiology. p. 254-282. John Wiley & Sons, Inc., New York.
18. Verdonck, O. and R. Penninck. 1986. Air content in horticultural substrate. Acta Hort. 178:101-105.
19. Wang, H.J. 2004. Physicochemical properties of root media as influenced by incorporation of polyacrylic acid sodium salt and its effect on growth and nutrient uptake of marigold in plug production, PhD Diss., Chungnam National Univ., Daejeon Korea.
20. Warncke, D.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 21:223-225.
21. Yelanich, M.V. and J.A. Biernbaum. 1993. Root-medium nutrient concentration and growth of poinsettia at three fertilizer concentrations and four leaching fractions. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118:771-776.

**Table 1.** Effect of application rate of slow release fertilizer (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L<sup>-1</sup> on growth characteristics of potted chrysanthemum 'Lima Honey' at 43 days after transplanting (mid-crop).

Level of SRF (g L <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>						
0.0	12.3 a <sup>z</sup>	13.6 a	44.0 b	0.498 a	13.6 a	1.09 a
3.0	12.0 a	13.3 a	46.3 ab	0.576 a	13.7 a	1.11 a
6.0	12.1 a	15.2 a	53.3 a	0.556 a	14.5 a	1.13 a
9.0	11.6 a	14.1 a	40.3 b	0.585 a	17.4 a	1.27 a

Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)						
Significance <sup>y</sup>						
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0.0	12.5 a	14.8 a	42.8 a	0.526 a	14.9 a	1.18 a
3.0	11.2 ab	14.8 a	35.8 a	0.531 a	13.6 a	1.08 a
6.0	11.0 b	13.9 a	36.2 a	0.568 a	13.5 a	1.09 a
9.0	10.6 b	12.9 a	38.8 a	0.558 a	13.5 a	1.08 a
Significance						
Linear	**	*	ns	ns	ns	ns
Quadratic	*	*	ns	ns	ns	ns
Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)						
0.0	12.9 a	14.9 a	42.5 a	0.535 a	16.0 a	1.42 a
3.0	12.5 a	14.0 a	42.8 a	0.526 a	16.6 a	1.34 a
6.0	11.9 ab	14.8 a	42.7 a	0.590 a	15.0 a	1.31 a
9.0	10.7 b	14.5 a	45.2 a	0.584 a	14.4 a	1.21 a
Significance						
Linear	**	ns	ns	ns	ns	*
Quadratic	*	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>a</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at  $P=0.05$ .

<sup>y</sup>Significance: \*\*\* $P=0.001$ ; \*\* $P=0.01$ ; \* $P=0.05$ ; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

**Table 2.** Effect of application rate of slow release fertilizer (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L<sup>-1</sup> on growth characteristics of potted chrysanthemum 'Lima Honey' at 80 days after transplanting (end-crop).

Level of SRF (g L <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	Plant width (cm)	Number of leaves	Crown diameter (mm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)						
0.0	18.9 b <sup>c</sup>	16.6 a	57.7 c	4.47 a	40.2 c	4.82 c
3.0	19.4 ab	17.7 a	72.2 b	4.53 a	53.5 b	6.06 b

6.0	20.4 ab	18.3 a	84.2 a	4.60 a	59.7 ab	6.62 ab
9.0	20.6 a	18.4 a	81.3 a	4.82 a	65.0 a	6.74 a
Significance <sup>y</sup>						
Linear	**	ns	***	ns	***	**
Quadratic	*	ns	***	ns	***	**
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>						
0.0	18.5 a	16.8 a	67.3 a	4.62 a	41.4 a	5.17 a
3.0	19.1 a	17.7 a	73.3 a	3.98 a	45.5 a	5.49 a
6.0	18.3 a	18.5 a	66.7 a	4.80 a	47.8 a	5.56 a
9.0	18.6 a	16.7 a	72.7 a	4.30 a	50.1 a	5.55 a
Significance						
Linear	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>						
0.0	19.2 a	16.9 a	73.2 c	4.92 a	44.2 b	5.87 b
3.0	18.6 a	17.6 a	78.5 bc	4.79 a	54.7 a	6.29 ab
6.0	18.6 a	18.4 a	84.8 a	4.50 a	61.6 a	6.83 a
9.0	19.4 a	17.7 a	84.0 ab	4.37 a	62.1 a	6.67 a
Significance						
Linear	ns	ns	**	*	***	**
Quadratic	ns	ns	**	ns	***	**

<sup>2</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at  $P=0.05$ .

<sup>3</sup>Significance: \*\*\* $P=0.001$ ; \*\* $P=0.01$ ; \* $P=0.05$ ; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

**Table 3.** Effect of application rate of slow-release fertilizers (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of  $4.5 \text{ g L}^{-1}$  on changes of tissue nutrient contents of chrysanthemum ‘Lima Honey’ collected at 43 days after transplanting (mid-crop).

Level of SRF ( $\text{g L}^{-1}$ )	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----						----- ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) -----			
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>										
0.0	2.49 a <sup>2</sup>	0.81 c	2.15 a	1.44 a	0.72 a	0.99 a	235 a	241 a	107.4 a	2.20 a
3.0	1.96 a	0.98 b	2.06 a	1.21 b	0.71 a	0.80 ab	188 a	278 a	99.9 ab	2.67 a



6.0	1.93 a	1.06 b	2.18 a	0.93 c	0.61 a	0.66 b	202 a	211 a	68.7 b	2.32 a
9.0	2.10 a	1.39 a	2.20 a	0.89 c	0.66 a	0.67 b	276 a	251 a	69.1 b	2.22 a
Significance <sup>y</sup>										
Linear	ns	***	ns	***	ns	**	ns	ns	**	ns
Quadratic	ns	***	ns	***	ns	**	ns	ns	*	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>										
0.0	2.28 a	0.81 c	1.76 a	0.94 a	0.63 a	1.00 a	193 a	302 a	66.6 a	2.56 a
3.0	2.33 a	0.96 b	1.87 a	0.94 a	0.66 a	0.81 ab	194 a	368 a	55.1 a	2.64 a
6.0	2.47 a	1.13 a	1.82 a	0.93 a	0.65 a	0.67 b	201 a	368 a	62.9 a	2.46 a
9.0	2.54 a	1.23 a	1.99 a	0.70 b	0.54 a	0.67 b	216 a	378 a	59.1 a	2.21 a
Significance										
Linear	ns	***	ns	*	ns	**	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	***	ns	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>										
0.0	2.35 a	0.66 c	2.23 a	1.30 a	0.70 a	0.36 ab	242 a	101 c	62.9 a	2.41 a
3.0	2.26 a	0.96 b	1.99 c	1.21 a	0.75 a	0.39 a	254 a	187 b	56.8 a	2.39 a
6.0	2.42 a	1.17 a	2.06 bc	1.02 b	0.62 b	0.32 bc	297 a	231 a	56.5 a	2.53 a
9.0	2.31 a	1.29 a	2.15 ab	0.73 b	0.53 c	0.27 c	349 a	230 a	50.2 a	2.53 a
Significance										
Linear	ns	***	ns	***	**	**	ns	***	*	ns
Quadratic	ns	***	**	***	***	**	ns	***	ns	ns

<sup>2</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at  $P=0.05$ .

<sup>3</sup>Significance: \*\*\* $P=0.001$ ; \*\* $P=0.01$ ; \* $P=0.05$ ; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

**Table 4.** Effect of application rate of slow release fertilizers (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of  $4.5 \text{ g L}^{-1}$  on changes of tissue nutrient contents of chrysanthemum 'Lima Honey' collected at 80 days after transplanting (end-crop).

Level of SRF ( $\text{g L}^{-1}$ )	T-N	$\text{P}_2\text{O}_5$	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----						----- ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) -----			

<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>										
0.0	1.86 b <sup>z</sup>	0.50 c	2.33 a	0.56 b	0.35 b	0.22 c	129 b	40.7 c	48.9 ab	1.85 a
3.0	2.16 ab	0.50 c	2.36 a	0.76 ab	0.40 ab	0.32 bc	157 ab	133.9 b	53.6 a	2.02 a
6.0	2.49 a	0.57 b	2.25 a	1.17 a	0.46 a	0.36 b	166 ab	136.5 b	31.7 c	1.91 a
9.0	2.66 a	0.71 a	2.35 a	0.95 ab	0.40 ab	0.50 a	201 a	176.9 a	41.2 b	1.97 a
Significance <sup>y</sup>										
Linear	**	***	ns	*	ns	***	*	***	*	ns
Quadratic	**	***	ns	*	ns	***	*	***	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>										
0.0	2.93 a	0.52 b	2.32 ab	0.94 a	0.42 a	0.43 a	104 a	168.2 b	33.1 a	0.97 b
3.0	2.47 c	0.59 a	2.40 a	1.02 a	0.46 a	0.40 a	103 a	243.0 a	34.8 a	1.23 a
6.0	2.88 ab	0.65 a	2.13 b	0.87 a	0.42 a	0.40 a	100 a	242.1 a	35.3 a	1.32 a
9.0	2.62 bc	0.65 a	2.39 a	0.93 a	0.44 a	0.37 a	124 a	222.3 a	36.2 a	1.33 a
Significance										
Linear	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Quadratic	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>										
0.0	1.93 a	0.49 c	2.32 a	0.95 a	0.45 a	0.23 c	109 a	46.8 d	35.5 b	1.05 b
3.0	1.89 a	0.57 b	2.34 a	0.97 a	0.49 a	0.37 bc	120 a	89.1 c	38.9 ab	1.49 a
6.0	1.92 a	0.71 a	2.32 a	0.10 a	0.46 a	0.54 a	169 a	159.5 b	42.3 a	1.57 a
9.0	1.93 a	0.78 a	2.26 a	0.87 a	0.46 a	0.44 ab	172 a	202.3 a	39.9 ab	1.66 a
Significance										
Linear	ns	***	ns	ns	ns	**	ns	***	ns	***
Quadratic	ns	***	ns	ns	ns	**	ns	***	ns	***

<sup>z</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at  $P=0.05$ .

<sup>y</sup>Significance: \*\*\* $P=0.001$ ; \*\* $P=0.01$ ; \* $P=0.05$ ; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

**Table 5.** Effect of application rate of slow release fertilizers (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L<sup>-1</sup> on changes of soil chemical properties at 43 days after transplanting of potted chrysanthemum 'Lima Honey' (mid-crop).

Level of SRF (g L <sup>-1</sup> )	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na
			----- (mg L <sup>-1</sup> )						

<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>									
0.0	6.13 a <sup>z</sup>	1.63 c	0.00 b	79.4 b	92.5 b	42.4 c	25.7 b	12.9 c	122.4 a
3.0	5.85 a	2.08 bc	0.13 b	93.1 b	111.7 b	99.2 b	34.9 a	19.7 bc	127.6 a
6.0	5.93 a	2.56 ab	1.75 a	100.5 ab	111.3 b	120.1 b	31.1 ab	24.6 b	129.5 a
9.0	5.74 a	3.33 a	0.00 b	140.9 a	158.3 a	197.7 a	37.1 a	33.8 a	128.0 a
Significance <sup>y</sup>									
Linear	ns	***	ns	**	**	***	*	***	ns
Quadratic	ns	**	ns	**	**	***	ns	***	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>									
0.0	6.21 ab	1.24 c	0.00 b	58.2 b	105.1 b	92.5 c	11.9 b	6.5 b	90.6 b
3.0	6.29 a	1.80 bc	2.55 b	106.2 ab	90.0 b	138.5 bc	22.5 a	20.3 a	93.1 ab
6.0	5.70 bc	2.20 ab	7.65 a	125.9 a	135.0 b	163.4 ab	24.4 a	29.0 a	90.7 b
9.0	5.41 c	2.94 a	0.13 b	154.2 a	217.2 a	221.0 a	23.2 a	27.0 a	113.5 a
Significance									
Linear	*	***	***	***	***	***	*	**	ns
Quadratic	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>									
0.0	6.53 a	0.82 d	0.13 c	12.9 c	160.8 a	22.5 d	11.3 b	5.6 b	117.0 a
3.0	5.45 b	2.15 c	6.58 b	89.3 b	94.9 b	96.0 c	20.4 b	18.6 b	127.0 a
6.0	5.49 b	3.25 b	8.92 a	150.1 a	106.0 b	185.9 b	44.2 a	42.5 a	127.9 a
9.0	4.81 c	3.96 a	2.82 c	171.2 a	139.9 a	245.6 a	40.4 a	39.7 a	127.8 a
Significance									
Linear	*	***	ns	***	ns	***	**	***	ns
Quadratic	***	***	**	***	***	***	**	**	ns

<sup>z</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at  $P=0.05$ .

<sup>y</sup>Significance: \*\*\* $P=0.001$ ; \*\* $P=0.01$ ; \* $P=0.05$ ; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

**Table 6.** Effect of application rate of slow release fertilizer (SRF) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of  $4.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  on changes of soil chemical properties at 80 days after transplanting of potted chrysanthemum

'Lima Honey' (end-crop).

Level of SRF (g L <sup>-1</sup> )	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Na	
			----- (mg L <sup>-1</sup> ) -----							
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>										
0.0	5.49 a <sup>z</sup>	2.29 a	0.00 b	138.2 b	124.0 b	136.8 b	76.2 b	41.2 b	57.6 ab	
3.0	5.55 a	2.71 a	0.00 b	175.9 ab	151.4 ab	167.3 a	95.8 ab	49.9 ab	68.0 ab	
6.0	5.30 a	2.75 a	2.01 ab	182.8 a	173.1 a	186.0 a	109.8 ab	56.0 ab	72.2 a	
9.0	5.58 a	2.99 a	4.70 a	191.3 a	180.4 a	171.7 a	150.8 a	67.7 a	56.0 b	
Significance <sup>y</sup>										
Linear	ns	ns	**	*	***	*	*	*	ns	
Quadratic	ns	ns	**	*	**	**	*	*	*	
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>										
0.0	6.16 a	1.15 a	2.28 a	19.6 b	236.1 ab	109.1 a	25.4 c	15.3 a	36.8 a	
3.0	5.93 b	1.29 a	0.40 b	52.8 a	208.7 b	121.3 a	34.2 b	25.6 a	40.2 a	
6.0	5.89 b	1.49 a	0.27 b	58.6 a	271.2 ab	121.2 a	30.2 bc	28.3 a	47.0 a	
9.0	5.88 b	1.57 a	0.00 b	48.1 a	306.0 a	120.9 a	43.7 a	30.1 a	46.5 a	
Significance										
Linear	**	*	*	ns	*	ns	**	ns	ns	
Quadratic	**	ns	**	**	*	ns	**	ns	ns	
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>										
0.0	6.02 a	1.38 b	0.00 a	51.0 b	221.3 a	110.5 b	30.9 b	21.4 b	54.7 a	
3.0	5.87 ab	1.64 ab	0.00 a	76.0 ab	169.4 b	121.1 ab	37.7 b	24.3 b	58.1 a	
6.0	5.73 b	1.73 ab	0.00 a	84.4 ab	165.3 b	130.9 ab	55.0 a	33.2 ab	54.7 a	
9.0	5.73 b	2.10 a	0.13 a	104.3 a	182.9 b	147.8 a	68.2 a	44.5 a	57.7 a	
Significance										
Linear	**	**	ns	**	ns	*	***	***	ns	
Quadratic	**	*	ns	*	**	*	***	**	ns	

<sup>z</sup>Mean separation within a column for each root medium by DMR test at P=0.05.

<sup>y</sup>Significance: \*\*\*P=0.001; \*\*P=0.01; \*P=0.05; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.