

Polyacrylic Acid Sodium Salt를 혼합한 세 종류 상토에 용과린의 시비 수준이 포트명 'Lima Honey'의 생육 및 무기원소 흡수에 미치는 영향

최종명^{1*}·왕현진²·최택용³

¹배재대학교 원예조경학부, ²충남대학교 원예학과, ³충남농업기술원 예산국화시험장

Effect of Application Rate of Fused Superphosphate in Three Media Containing Polyacrylic Acid Sodium Salt on Growth and Nutrient Contents of Potted Chrysanthemum 'Lima Honey'

Jong Myung Choi^{1*}, Hyun Jin Wang², and Taik Yong Choi³

¹Division of Horticulture & Landscape Architecture, Pai Chai University, Daejeon 302-735, Korea

²Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³Chrysanthemum Experiment Station, Yeoktap-ri 37-52, Oga-myun, Yesan-gun, Chungnam 340-910, Korea

Abstract. This research was conducted to determine the plant growth and nutrient contents of potted chrysanthemum 'Lima Honey' as influenced by application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media, peatmoss+vermiculite (1:1, v/v; PV), peatmoss+composted rice hull (1:1, v/v; PR), and peatmoss+composted pine bark (1:1, v/v; PB). All root media contained polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g · L⁻¹. The treatment of 1.4 g · L⁻¹ in PV and those of 0.7 g · L⁻¹ in PR and PB had the greatest fresh and dry weights in each root medium at both 43 and 80 days after transplanting. Elevated application rates of FSPP increased tissue contents of N, P, and K at both 43 and 80 days after transplanting in PV medium. However, the differences in tissue contents of N, P and K in PR medium were less significant among treatments of FSPP. The pre-planting FSPP also less affected the tissue contents of nutrients at 80 days after transplanting as compared to those at 43 days after transplanting. Elevated application rates of FSPP in PV medium increased EC and the concentrations of NO₃, P₂O₅, K, Ca, and Mg in soil solution of root media at 43 days after transplanting. The EC in PV medium at 80 days after transplanting was higher than that at 43 days after transplanting. The EC in all root media at 80 days after transplanting was not different among treatments of FSPP.

Key words : dry weight, fused superphosphate, tissue nutrient contents, soil nutrient concentrations

*Corresponding author

서 언

국내에서 혼합상토의 구성재료로 많이 이용되는 피트모스, 코이어, 버미큘라이트, 및 펄라이트 등은 무기물 함량이 매우 낮거나 불균형 상태인 경우가 많기 때문에 이들을 조합하여 혼합상토를 조제한 후에는 반드시 시비를 해야 한다. Nelson(2003)은 혼합상토에 대한 시비량을 설명하면서 기비방법에는 보편적으로 석회질 비료, 인산질 비료, 유허 함유 비료, 및 미량원소복합제와 작물의 초기 생육단계에서 필요로 하는 N과 K 등을 시비해야 함을 주장하였다. Bunt(1988) 및 Hanan(1998)도 용기재배를 위한 혼합상토의 시비 필요성과 상토 종류에 따른 적정 시비량을 추천한 바 있다.

Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 북미지역에서 기비방법에 도입하고 있는 인산질 비료는 과인산석회(superphosphate) 또는 3중과인산석회(triple superphosphate)이며 토양반응은 산성으로써 국내에서는 시판되지 않고 있다. 그는 또한 노지 토양이 포함된 혼합상토에 대한 과인산석회의 시비량은 최대 $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 이며, 노지토양이 포함되지 않은 순수한 개념의 혼합상토에서는 최대 $1.35\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 까지 기비로 시비할 수 있다고 하였다. 이럴 경우 용기재배되는 대부분의 작물에서 수확 또는 이식할 때까지 인산질 비료에 대한 추비 없이 비효를 유지할 수 있다고 하였다. 국내에서 시판되고 있는 인산질 비료는 용과린(fused superphosphate)이다. 과인산석회의 토양 반응이 산성인데 비해 용과린은 알칼리성으로 토양수에 용해시 pH가 8.0~8.5이며 많은 양의 Ca를 포함하고 있다(Lim, 1993).

국내에는 상기한 상토 구성재료 외에 왕겨나 수피 등 산업 부산물로 생산되는 유기물질들을 혼합상토의 구성재료로 이용하는 농가가 많으며, 대부분 완숙된 유기물질을 이용하고 있다. 그러나 부숙 과정에는 부숙을 촉진시키기 위하여 일정한 양의 무기물을 첨가하며, 첨가된 무기물은 혼합상토 조제 후에도 잔존하면서 작물 생육에 영향을 미친다(Choi 등, 1999a; 1999b). 따라서 상토 구성 재료가 변할 경우 시비량도 변화되어야 하나 관련 연구가 수행되지 않았다.

한편 혼합상토의 보수성 증가를 목적으로 혼합되는 고흡수성 수지의 수분 흡수능은 그들을 둘러싼 외부용액의 무기염 농도에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 1가 양이온 보다 Ca^{2+} 등 2가 양이온이 고농도로 존재할 경우 수분 흡수능이 심하게 훼손된다(Wang, 2004). 따라서 혼합상토에 인산질 비료인 용과린이 기비로 혼합될 경우 그 안에는 많은 양의 Ca^{2+} 가 포함되어 있고, 이는 토양수에 용해되면서 고흡수성 수지의 수분 흡수능과, 이에 따른 작물 생육에 영향을 미칠 수밖에 없다.

따라서 고흡수성 수지 polyacrylic acid sodium salt를 혼합한 세 종류 상토에서 포트-럼 ?ima Honey'를 재배하면서 기비로 혼합되는 용과린의 시비 수준이 작물생육 및 무기원소 흡수에 미치는 영향을 구명하여 용과린 적정 시비량을 밝히기 위해 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

Choi 등(1999a; 1999b)의 방법으로 부숙된 유기물질과 피트모스(Acadian Peat Moss LTD, Canada) 및 직경 2~4mm인 버미큘라이트를 혼합상토 조제에 이용하였다. 수집된 재료들을 이용하여 피트모스+질석(1:1, v/v; PV), 피트모스+부숙왕겨(1:1, v/v; PR), 피트모스+부숙수피(1:1, v/v; PB)의 세 종류 상토에 고흡수성 수지인 polyacrylic acid sodium salt [(주) 송원산업, PASS]를 $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 건조된 상태에서 혼합하였다. 상토 조제과정에서 용과린(조선비료)을 0, 0.7, 1.4, 및 $2.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 시비하였으며, 고토석회($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)를 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 미량원소 복합제인 Micro-max(Sierra Chem, Co. Milpitas, CA)를 $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 토양습윤제인 AquaGro[®]를 $0.11\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 및 KNO_3 를 각각 $0.6\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합하였다.

비료 혼합 후 육안으로 판단하여 적절한 함량이 되도록 수분을 첨가하였다. 24시간 후 내경 10cm의 플라스틱 화분에 채우고 플러그 육묘된 포트-럼 ?ima Honey'를 정식하였으며, 정식된 화분은 재배온실에 위치시켰다. 재배 중 시비는 NK비료(조선비료)를 질소 농도 기준으로 $450\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로 용해시켜 매주 1회 관비하였다. 관비 중간에는 상토가 건조함을 고려하여 지하수를 관수하였으며, 관수 또는 관비시 용탈률을 50%로 조절하였다(Yelanich와 Biernbaum, 1993). 실험은 2003년 3월 2일부터 10주 동안 수행하였고, 재배온실의 온도는 최저 16~최고 25를 유지하였으며,

습도는 자연상태를 유지하였다.

정식 43일 후 및 수확기인 80일 후에 지상부를 채취하여 식물체의 생육을 조사하였고, Choi(1994)와 동일한 방법으로 식물체의 무기물 함량을 분석하였는데, 지상부 전체를 분석 대상으로 하였다.

토양 분석도 정식 43일 및 80일 후에 수행하였다. 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 P_2O_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 비색정량하였다.

식물체 및 토양의 무기원소 분석에서 질소분석은 Kjeldahl 분해 및 증류장치(Buchi digestion unit 412 및 distillation unit B-324, Swiss), 비색정량을 위해 흡광분석기(CE-5001, Ceşil, England), 기타 무기원소 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 1에는 PASS를 $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 비율로 혼합한 각종 상토에 용과린의 시비량을 달리하고 정식 43일 후에 지상부의 생육을 조사한 결과를 나타내었다. PV 상토에서는 용과린의 시비에 의한 초장, 초폭 및 엽수에서의 차이가 없었고, 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다. 용과린의 시비량이 증가할수록 관부직경은 유의하게 굵어졌으며 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 무처리구 부터 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 까지 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 생체중 및 건물중이 증가하였고, $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 용과린 처리에서 생체중이 20.6g, 건물중이 1.42g으로 측정되어 가장 무거웠으며, $2.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리 보다 낮아지는 결과를 보였다. PR 상토에서도 초장, 초폭 및 엽수에서는 처리 간 차이가 없었고 경향도 발견할 수 없었다. 그러나 용과린의 시비량이 증가할수록 관부직경이 굵어져 시비 수준에 따른 차이와 함께 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 이 상토에서는 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 용과린을 시비한 처리에서 생체중 및 건물중이 19.3g 및 1.55g으로 측정되어 가장 무거웠고, 기타 처리 간에는 통계적인 차이가 없었다. PB 상토에서는 초장 및 엽수에서 처리간 차이가 없었다. 그러나 생체중 및 건물중은 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 가장 무거웠으나 무처리, $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 및 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 세 처리간에는 통계적인 차이가 없었고, $2.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서만 유의하게 가벼웠다.

Table 2에는 정식 80일 후인 출하기에 지상부 생육을 조사한 내용을 나타내었다. PV 상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 초장은 유의하게 감소하였고, 초폭 및 엽수에서는 통계적인 차이를 발견할 수 없었다. 관부직경은 무처리부터 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 까지 시비량이 증가할수록 굵어졌고, $2.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 다시 가늘어져 5% 및 1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 생체중 및 건물중은 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 과 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 무처리구나 $2.1\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리보다 유의하게 무거웠으나 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 및 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 처리 간에는 차이가

인정되지 않았다.

PR이나 PB 상토에서는 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 용과린을 시비할 경우 생체중 및 건물중이 가장 무거워 PV 상토의 $1.4\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 처리에서 생체중 및 건물중이 가장 무거웠던 것과 차이가 있었다. 그러나 PB 상토에서는 생체중과 건물중의 처리간 차이가 인정되지 않았으나, PR 상토에서는 $0.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 와 무처리간 통계적인 차이가 인정되었다.

이와 같이 생육이 우수한 용과린 처리량이 상토의 종류에 따라 달랐던 것은 왕겨 및 수피 등 유기물질의 부속을 촉진하기 위해 부속 과정에서 많은 무기물이 첨가되고, 완숙된 후 혼합상토에 이용하였으며, 부속 과정에서 첨가된 물질이 혼합상토 조제 후에도 잔존하면서 생육에 영향을 미쳤기 때문이라고 판단되었다.

Table 3은 정식 43일 후 지상부 전체를 수확하여 무기물 함량을 분석한 결과이다. PV 상토에서 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 식물체내 질소, 인산 및 칼슘 함량이 증가하였다. 마그네슘 함량도 점차 증가하는 경향이었으나 통계적인 차이는 없었다. P, Ca 및 Mg의 함량증가는 용과린에 많은 양의 인산, 칼슘 및 마그네슘이 포함되어 있어(Lim, 1993), 작물재배 중 용해되면서 흡수량 증가의 원인이 되었다고 판단되었으나 질소의 함량 증가는 원인이 불분명하여 보완연구가 필요하다고 판단되었다.

PR 상토에서의 식물체내 무기물 함량은 PV 상토에서와 같이 처리 간 차이가 뚜렷하지 않았다. 이와 같은 원인은 정식 전 PR 상토의 무기물 함량이 매우 높았고, 결과적으로 시비된 용과린에 영향을 덜 받았기 때문이라고 판단되었다(Table 5 참조).

PB 상토에서는 용과린의 시비 수준이 높아질수록 식물체내 인산, 칼슘, 및 마그네슘 함량이 증가하였고, 칼륨 함량이 감소하여 1% 및 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 인산, 칼슘, 및 마그네슘 함량이 증가한 원인은 전술한 바와 동일하다고 판단되었다. 칼륨의 식물체내 함량감소는 흡수과정에서 양이온간 길항작용이 발생하였기 때문이라고 판단되었다. 즉, 용과린의 시비량 증가를 통해 칼슘 및 마그네슘의 흡수량이 증가하므로써 상대적으로 칼륨 흡수가 억제되었으며 Mengel과 Kirkby(1987)도 유사한 보고를 한 바 있다.

Table 4에는 정식 80일 후인 출하기에 지상부를 채취하여 무기물 함량을 분석하고 그 결과를 나타내었다. 용과린 시비량이 증가함에 따라 질소와 인산의 식물체내 함량이 증가하였고, 질소에서는 0.1% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가, 인산에서는 1% 및 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 그러나 분석한 기타 모든 무기원소에서는 용과린의 시비 수준에 따른 차이가 인정되지 않았다. PR과 PB 상토에서의 경향은 정식 43일 후 분석한 결과(Table 3)와 매우 유사하였다. 출하기에 PV 상토에서 재배된 국화의 무기물 함량이 시비 수준에 따라 뚜렷한 차이를 나타내지 않은 것은 기비로 혼합된 비료보다 추비에 더 큰 영향을 받았기 때문이라고 판단된다. Choi(1994)에 의하면 포트-엠 재배시 기비로 혼합된 과인산석회는 처리 3주까지 고농도를 유지하나, 3주 이후에는 대부분 용탈되어 상토내의 농도가 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이하의 저농도로 유지된다고 하였다. 따라서 기비로 용과린의 시비량을 달리해도 정식 후 재배 초기에는 많은 영향을 미치지 않으나, 재배 후반기에는 추비의 종류 및 양에 더 큰 영향을 받을 것으로 추정되었다. 또한 본 연구에서 PV 상토의 보수성 및 양이온치환용량이 가장 높았고(데이터는 제시하지 않음), 높은 보수성 및 양이온치환용량에 기인하여 상토의 무기물 농도를 높게 유지하여 식물체내 무기물 함량이 높은 원인이 되었다고 사료된다.

Table 5는 PASS를 $4.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 혼합한 상토에 용과린의 시비 비율을 달리하고 포트-엠 ?ima Honey'를 정식하기 전 분석한 혼합상토의 화학적 특성이다.

PV 상토에 용과린의 시비 비율을 증가시킬 경우, 상토의 pH, $\text{NH}_4\text{-N}$, P_2O_5 및 Mg 농도가

상승하여 시비 수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었고 직선 및 곡선회귀도 성립하여 경향을 찾을 수 있었다. EC와 Ca 농도도 점차 상승하였으나 시비 수준에 따른 차이는 인정할 수 없었고 경향도 발견할 수 없었다. PR 상토에서는 용과린의 시비량이 증가함에 따라 pH 및 EC가 상승하였고, Ca 및 Mg 농도도 증가하였으나, EC는 용과린을 시비한 세 처리에서, Mg은 모든 처리에서 용과린 시비 수준에 따른 차이가 인정되지 않았다. PB 상토에서는 용과린의 시비량이 증가할수록 인산, 칼슘 및 마그네슘의 농도가 증가하였으며 인산은 1% 수준의 직선 및 5% 수준의 2차곡선회귀, Ca과 Mg은 각각 5% 수준의 직선 및 2차곡선회귀가 성립하였다. 그러나 Table 5의 결과를 정식 43일후 분석한 결과(Table 6)와 비교할 때 용과린의 시비 수준에 영향 받은 각 무기원소의 토양 중 농도가 뚜렷하지 않았으며, 이는 기비로 시비된 비료가 토양수에 완전히 용해되지 않았고, 각 처리 내의 반복 간 편차가 심하였기 때문이라고 판단되었다.

Table 6에는 정식 43일 후 토양시료를 채취하여 무기물 함량을 분석한 결과를 나타내었다. PV 상토에서 용과린의 시비량을 증가할 경우 EC가 상승하였고, 토양의 P_2O_5 , Ca, 및 Mg의 농도가 증가하였는데, 용과린의 시비량 증가에 직접적으로 영향을 받았기 때문이라고 판단된다. K의 농도 증가는 흡수과정에서 Ca 및 Mg과의 길항작용으로 인해 K의 흡수량이 저하되고, 결과적으로 상토에 잔존하는 K 양이 증가한 원인이 되었다고 판단되었다(Marschenr, 1995).

PR 상토에서는 P_2O_5 , Ca, 및 Mg 농도에서만 시비 수준에 따른 통계적인 차이가 인정되었다. 이 상토에서 시비 수준이 높아질수록 EC가 점차 상승하는 경향이었으나 통계적인 차이가 인정되지 않았다. PB 상토에서는 용과린의 시비 수준 증가와 함께 토양 인산 농도가 직선적으로 높아져 5% 수준의 직선회귀가 성립하였다.

정식 80일 후의 토양 화학성 분석에서(Table 7) PV 상토는 NH_4-N 과 P_2O_5 에서만 차이가 있었다. NH_4 의 경우 모든 처리에서 $1.74mg \cdot L^{-1}$ 이하의 낮은 농도로 분석되어 의미를 부여할 수준은 아니라 판단되었으며, 용과린의 시비량이 많은 처리에서 P_2O_5 의 농도가 높아서 기비로 시비된 비료에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 같은 원인에 의해 PR 또는 PB 상토에서도 용과린의 처리량이 높을수록 인산 및 Mg의 농도가 증가한 것으로 추정되었다.

재배후기로 갈수록 PV 상토에서 다른 두 종류 상토에서 보다 EC가 높아졌다. 이는 PV 상토가 보유한 높은 보수성과 양이온치환용량으로 인해(데이터는 제시하지 않음) 작물재배 중 관수할 때에 화분의 배수공을 통해 용탈되는 무기염의 양을 감소시켰고, 결과적으로 상토의 EC를 높게 유지하였다고 사료된다(Table 5, 6 참조).

이상의 결과를 요약하면 식물 생육을 고려할 때 PASS를 $4.5g \cdot L^{-1}$ 로 혼합한 세 종류 상토에서 용과린의 적정 시비량은 PV 상토의 경우 $1.4g \cdot L^{-1}$, PR, 및 PB 상토는 $1.4g \cdot L^{-1}$ 수준이라고 판단되었다. 또한 이상의 세 처리에서 작물 재배중 특별한 무기원소 결핍 증상이 발현되지 않았으며, 식물체내 무기원소 함량도 대부분 수용될 수 있는 범위에 있었다.

적 요

본 연구는 보수성 증가를 위하여 polyacrylic acid sodium salt를 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 혼합한 후 용과린의 시비량을 변화시킬 경우 포트-멤 ?ima Honey'의 생육과 무기원소 흡수에 미치는

영향을 구명하고자 수행하였다. PV 상토에서는 용과린 1.4g · L⁻¹ 처리에서, PR 및 PB 상토에서는 0.7g · L⁻¹로 시비한 처리에서 정식 43일 및 80일 후의 생체중 및 건물중이 가장 무거웠다. 정식 43일 및 80일 후 지상부 전체를 수확하여 무기물 함량을 분석한 결과, PV 상토에 용과린의 시비량을 증가시킬 경우 식물체내 질소, 인산, 및 칼슘 함량이 증가하였다. PR 상토에서의 식물체내 무기물 함량은 용과린 시비 수준에 따른 차이가 뚜렷하지 않았다. 또한 정식 80일 후의 식물체 무기물 함량이 43일 결과보다 용과린 시비수준에 따른 처리 간 차이가 뚜렷하지 않았다. PV 상토에서 용과린의 시비량을 증가할 경우 정식 43일 후 EC가 상승하였고, 토양의 NO₃-N, P₂O₅, K, Ca, 및 Mg의 농도가 증가하였다. 세 종류 상토에서 정식 80일 후 P₂O₅, Ca, 및 Mg을 제외한 분석한 원소의 토양 농도는 용과린 시비수준에 따른 통계적인 차이가 인정되지 않았고, PV 상토의 EC가 다른 두 종류 상토에서 보다 높았다.

주제어 : 건물중, 식물체 무기원소 함량, 용과린, 토양 무기염 농도

인 용 문 헌

1. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
2. 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.
3. Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinica Chem. 8:130-132.
4. 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.
5. Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. PhD Diss., North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
6. 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.
7. 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.
8. Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
9. Lim, S.W. 1993. Plant nutrition and fertilizers. 4th ed. p. 360-372. Ilsinsa, Seoul.
10. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. p. 436-478. Academic Press. Inc., San Diego.
11. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. p. 347-384. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
12. 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.
13. Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ.
14. 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.
15. Warncke, D.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225.
16. 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 fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g · L⁻¹ on growth characteristics of potted chrysanthemum 'Lima Honey' at 43 days after transplanting (mid-crop).

Level of FSPP (g · L ⁻¹)	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	12.1 a ²	15.0 a	46.2 a	0.566 b	17.9 b	1.34 b
0.7	14.1 a	15.3 a	43.5 a	0.573 b	18.2 b	1.35 b
1.4	14.3 a	15.6 a	48.2 a	0.602 a	20.6 a	1.42 a
2.1	12.6 a	15.3 a	43.8 a	0.616 a	18.0 b	1.27 b
Sigbificance ^y						
Linear	ns	ns	ns	*	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	*	*	*
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>						
0.0	12.2 a	15.2 a	41.0 a	0.499 b	16.3 b	1.29 b
0.7	12.8 a	15.2 a	47.7 a	0.540 ab	19.3 a	1.55 a
1.4	12.2 a	14.3 a	46.7 a	0.545 a	16.7 b	1.37 b
2.1	12.3 a	14.5 a	43.8 a	0.538 ab	16.6 b	1.33 b
Sigbificance ^y						
Linear	ns	ns	ns	*	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	*	ns	*
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>						
0.0	12.6 a	16.4 a	52.7 a	0.533 b	18.6 ab	1.48 ab
0.7	14.1 a	15.9 ab	52.3 a	0.583 b	20.9 a	1.73 a
1.4	12.7 a	15.6 ab	47.0 a	0.643 a	17.1 ab	1.41 ab
2.1	13.4 a	14.7 b	49.2 a	0.584 b	16.5 b	1.39 b
Sigbificance ^y						
Linear	ns	**	ns	*	ns	ns
Quadratic	ns	*	ns	*	*	*

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

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

Table 2. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L⁻¹ on growth characteristics of potted chrysanthemum ‘Lima Honey’ at 80 days after transplanting (end-crop).

Level of FSPP (g · L ⁻¹)	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	22.2 a ^z	20.6 a	70.7 a	4.48 b	64.6 b	7.85 b
0.7	21.9 ab	20.3 a	82.0 a	4.79 ab	71.4 a	12.12 a
1.4	20.1 b	19.9 a	71.2 a	4.93 a	73.4 a	12.83 a
2.1	20.4 b	19.5 a	73.7 a	4.65 ab	61.4 b	6.59 b
Significance ^y						
Linear	*	ns	ns	*	*	ns
Quadratic	*	ns	ns	**	*	*
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>						
0.0	16.4 b	14.9 a	48.3 b	4.52 a	37.9 b	4.62 b
0.7	18.4 ab	17.7 a	62.2 a	4.71 a	50.9 a	6.29 a
1.4	19.5 a	16.6 a	57.5 a	4.74 a	47.1 ab	5.81 ab
2.1	18.7 ab	17.1 a	63.7 a	4.80 a	46.2 ab	5.53 ab
Significance ^y						
Linear	ns	ns	*	*	ns	ns
Quadratic	*	ns	*	*	*	*
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>						
0.0	20.4 a	18.8 a	76.5 a	4.67 a	58.6 a	6.49 a
0.7	20.8 a	19.4 a	78.3 a	4.84 a	60.6 a	6.80 a
1.4	19.6 a	18.5 a	75.3 a	5.14 a	58.4 a	6.74 a
2.1	20.4 a	19.8 a	78.5 a	5.17 a	58.2 a	6.49 a
Significance ^y						
Linear	ns	ns	ns	*	ns	ns
Quadratic	ns	ns	ns	*	ns	ns

^zMean separation within a column for each root medium by DMR test at $P=0.05$.

^ySignificance: *** $P=0.001$; ** $P=0.01$; * $P=0.05$; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

Table 3. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g · L⁻¹ on changes of tissue nutrient contents of potted chrysanthemum 'Lima Honey' collected at 43 days after transplanting (mid-crop).

Level of dolomite (g · L ⁻¹)	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	
	----- (%) -----					----- (mg/kg) -----					
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>											
0.0	2.00 b ^z	1.05 b	2.03 a	1.07 b	0.69 a	0.65 a	281 a	269 a	65.2 a	1.89 a	
0.7	2.05 b	1.04 b	1.91 a	1.11 b	0.73 a	0.78 a	187 a	262 a	57.1 a	2.26 a	
1.4	2.19 ab	1.08 b	1.89 a	1.34 a	0.75 a	0.66 a	228 a	218 a	57.5 a	1.98 a	
2.1	2.33 a	1.14 a	2.16 a	1.45 a	0.78 a	0.66 a	198 a	221 a	58.6 a	2.12 a	
Sigbifcance ^y	Linear	**	*	ns	**	ns	ns	ns	*	ns	ns
	Quadratic	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>											
0.0	2.33 a	0.89 a	1.78 a	0.53 a	0.62 a	0.50 a	266 a	442 a	51.5 a	2.15 a	
0.7	2.21 a	0.10 a	1.91 a	0.69 a	0.62 a	0.34 ab	186 a	406 a	56.9 a	1.69 b	
1.4	2.26 a	1.02 a	1.85 a	0.90 a	0.66 a	0.24 b	170 a	381 a	57.5 a	1.95 ab	
2.1	2.10 a	1.00 a	2.00 a	0.89 a	0.69 a	0.34 ab	171 a	388 a	60.3 a	1.98 ab	
Sigbifcance ^y	Linear	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
	Quadratic	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>											
0.0	2.28 a	0.86 c	2.15 a	0.99 b	0.66 b	0.42 a	194 a	165 a	57.1 a	1.71 b	
0.7	2.45 a	0.91 bc	2.04 ab	1.19 ab	0.67 b	0.44 a	204 a	187 a	54.1 a	1.82 b	
1.4	2.40 a	1.06 ab	2.00 ab	1.39 a	0.72 ab	0.41 a	198 a	203 a	53.2 a	1.90 ab	
2.1	2.28 a	1.14 a	1.91 b	1.47 a	0.79 a	0.54 a	211 a	207 a	48.5 a	2.15 a	
Sigbifcance ^y	Linear	ns	**	**	*	*	ns	ns	*	ns	**
	Quadratic	ns	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*

^zMean separation within a column for each root medium by DMR test at $P=0.05$.

^ySignificance: *** $P=0.001$; ** $P=0.01$; * $P=0.05$; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

Table 4. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L⁻¹ on changes of tissue nutrient contents of potted chrysanthemum 'Lima Honey' collected at 80 days after transplanting (end-crop).

Level of FSPP (g L ⁻¹)	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----					----- (mg/kg ⁻¹) -----				
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>										
0.0	2.11 c ^z	0.53 b	2.39 a	0.74 a	0.40 a	0.33 b	109 a	152 a	50.3 b	4.68 ab
0.7	2.21 bc	0.48 b	2.29 a	0.97 a	0.43 a	0.42 ab	109 a	134 a	48.2 b	3.48 b
1.4	2.30 b	0.60 a	2.41 a	1.06 a	0.46 a	0.38 ab	117 a	133 a	43.8 b	4.27 ab
2.1	2.57 a	0.59 a	2.34 a	1.14 a	0.48 a	0.47 a	131 a	133 a	66.1 a	6.82 a
Sigbificance ^y										
Linear	***	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic	***	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>										
0.0	3.02 b	0.51 b	2.33 a	0.76 a	0.36 a	0.31 a	101 a	279 a	47.4 a	5.21 ab
0.7	3.21 a	0.54 ab	2.39 a	0.88 a	0.37 a	0.42 a	113 a	190 b	37.6 a	3.79 b
1.4	3.00 b	0.57 ab	2.37 a	0.92 a	0.39 a	0.33 a	104 a	205 b	54.4 a	7.09 a
2.1	2.50 c	0.61 a	2.22 a	1.04 a	0.39 a	0.38 a	105 a	209 b	58.7 a	5.43 ab
Sigbificance ^y										
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	1.77 a	0.54 b	2.22 a	0.40 b	0.35 b	0.31 a	133 b	86.0 a	59.4 a	6.18 a
0.7	1.81 a	0.58 ab	2.34 a	0.51 ab	0.36 b	0.35 a	175 a	97.4 a	61.4 a	5.32 a
1.4	1.85 a	0.60 a	2.26 a	0.62 a	0.41 ab	0.31 a	172 a	93.9 a	54.4 a	4.47 a
2.1	1.82 a	0.62 a	2.36 a	0.62 a	0.44 a	0.30 a	142 ab	90.4 a	41.8 a	3.21 a
Sigbificance ^y										
Linear	ns	**	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	*
Quadratic	ns	**	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns

^zMean separation within a column for each root medium by DMR test at P=0.05.

^ySignificance: ***P=0.001; **P=0.01; *P=0.05; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

Table 5. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L⁻¹ on changes of soil chemical properties at transplanting of potted chrysanthemum 'Lima Honey'.

Level of FSPP (g L ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
			----- (mg L ⁻¹)						
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.20 b ^z	3.26 a	28.9 b	191.8 a	452 a	342 a	81.9 a	62.6 b	72.1 a
0.7	5.44 ab	3.38 a	35.9 b	152.9 a	484 a	352 a	81.1 a	79.2 ab	71.0 a
1.4	5.71 a	3.51 a	29.1 b	146.5 a	513 a	343 a	81.3 a	83.9 a	74.7 a
2.1	5.73 a	3.69 a	53.2 a	161.1 a	534 a	364 a	83.9 a	93.1 a	79.9 a
Sigbificance ^y									
Linear	*	ns	*	ns	*	ns	ns	**	ns
Quadratic	*	ns	*	ns	*	ns	ns	*	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.21 c	4.79 b	82.9 a	661.0 a	1263 a	432 a	87.9 b	149.3 a	72.4 b
0.7	5.47 b	5.26 a	78.6 a	396.6 c	1118 a	456 a	109.6 a	137.1 a	90.2 a
1.4	5.47 b	5.47 a	76.1 a	543.0 b	1280 a	443 a	114.4 a	166.5 a	61.8 b
2.1	5.74 a	5.47 a	77.5 a	582.0 ab	1143 a	455 a	115.6 a	163.7 a	64.4 b
Sigbificance ^y									
Linear	***	*	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	6.14 a	4.33 a	74.8 a	258.8 a	140 b	465 a	131.5 b	125.2 b	65.5 a
0.7	6.15 a	4.48 a	68.9 a	217.9 a	159 b	409 a	144.0 b	143.2 b	75.5 a
1.4	6.37 a	4.60 a	73.2 a	224.1 a	209 ab	471 a	163.4 b	174.6 a	62.6 a
2.1	6.23 a	5.05 a	73.7 a	209.2 a	234 a	462 a	177.0 a	171.1 a	64.9 a
Sigbificance ^y									
Linear	ns	ns	ns	ns	**	ns	*	*	ns
Quadratic	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	ns

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

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

Table 6. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L⁻¹ on changes of soil chemical properties at 43 days after transplanting of potted chrysanthemum 'Lima Honey' (mid-crop).

Level of FSPP (g L ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
			----- (mg L ⁻¹) -----						
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.69 a ²	2.29 b	0 a	143.5 b	69.6 b	75.2 b	15.9 b	14.5 b	128.9 a
0.7	5.73 a	2.40 b	44.3 a	173.0 b	97.4 b	92.5 ab	45.7 a	15.5 b	139.2 a
1.4	5.33 a	2.74 b	0 a	140.1 b	92.9 b	105.7 ab	43.9 a	16.6 b	123.1 a
2.1	5.53 a	3.60 a	0 a	230.3 a	173.3 a	149.6 a	58.9 a	41.2 a	119.4 a
Sigbificance ³									
Linear	ns	*	ns	*	**	**	**	ns	*
Quadratic	ns	*	ns	*	**	*	**	*	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>									
0.0	6.05 b	1.49 a	0	94.3 a	85.9 b	133.2 a	20.4 b	17.6 b	96.1 a
0.7	6.64 a	1.71 a	0	99.1 a	124.8 ab	186.7 a	21.8 b	23.3 ab	115.2 a
1.4	6.11 b	1.86 a	0	95.9 a	130.5 ab	117.5 a	33.5 ab	23.2 ab	88.7 a
2.1	6.07 b	1.84 a	0	73.3 a	145.6 a	108.3 a	42.2 a	32.3 a	78.0 a
Sigbificance ³									
Linear	ns	ns	nd	ns	*	ns	*	*	ns
Quadratic	ns	ns	nd	ns	*	ns	*	*	ns
<i>Peatmoss + Composted pine bark (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.81 a	2.49 b	0	106.8 a	78.6 b	120.8 a	38.9 a	29.8 a	123.4 a
0.7	5.93 a	2.59 ab	0	92.4 a	85.1 b	139.6 a	55.9 a	40.6 a	127.2 a
1.4	5.69 a	2.79 ab	0	137.2 a	116.2 a	131.2 a	58.7 a	49.9 a	125.6 a
2.1	5.78 a	3.10 a	0	118.2 a	126.0 a	118.7 a	50.4 a	52.1 a	119.7 a
Sigbificance ³									
Linear	ns	*	nd	ns	**	ns	ns	*	ns
Quadratic	ns	*	nd	ns	**	ns	*	*	ns

^aMean separation within a column for each root medium by DMR test at $P=0.05$.

^bSignificance: *** $P=0.001$; ** $P=0.01$; * $P=0.05$; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.

Table 7. Effect of application rate of fused superphosphate (FSPP) in three root media containing polyacrylic acid sodium salt at a rate of 4.5 g L^{-1} on changes of soil chemical properties at 80 days after transplanting of potted chrysanthemum 'Lima Honey' (end-crop).

Level of FSPP (g L ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
				----- (mg L ⁻¹)					
<i>Peatmoss + Vermiculite (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.22 a ^z	2.95 a	1.74 a	206.9 a	114.6 b	183.4 a	126.0 a	57.1 a	87.5 a
0.7	5.31 a	2.92 a	1.21 a	187.3 a	152.6 a	186.3 a	116.9 a	56.3 a	75.5 a
1.4	5.45 a	2.73 a	1.21 a	162.8 a	169.0 a	177.2 a	110.3 a	55.8 a	79.4 a
2.1	5.32 a	2.90 a	0.00 b	207.6 a	180.0 a	188.1 a	117.6 a	62.0 a	76.0 a
Sigbificance ^y Linear	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
<i>Peatmoss + Composted rice hull (1:1, v/v)</i>									
0.0	5.80 a	1.68 a	0.00 a	64.5 a	182.5 b	146.2 a	34.0 b	18.8 b	54.3 a
0.7	5.95 a	1.41 a	0.00 a	20.7 a	233.2 ab	125.8 a	49.3 b	29.3 ab	53.3 a
1.4	5.92 a	1.80 a	0.13 a	46.7 a	349.0 a	156.8 a	54.6 b	34.8 a	58.5 a
2.1	5.92 a	1.85 a	0.00 a	41.2 a	321.6 a	147.2 a	84.3 a	31.9 a	68.3 a
Sigbificance ^y 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	5.71 a	1.75 a	1.48 a	111.7 a	125.6 b	127.8 a	65.9 a	29.4 b	53.3 a
0.7	5.75 a	1.68 a	0 b	86.5 a	153.0 b	113.9 a	46.3 a	24.7 b	51.7 a
1.4	5.80 a	1.71 a	0 b	86.7 a	183.7 a	114.5 a	39.0 a	28.7 b	53.2 a
2.1	5.88 a	1.79 a	1.48 a	99.8 a	185.7 a	129.0 a	65.2 a	35.7 a	60.9 a

Significance ^y									
Linear	*	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Quadratic	ns	ns	***	ns	**	*	ns	**	ns

^zMean separation within a column for each root medium by DMR test at $P=0.05$.

^ySignificance: *** $P=0.001$; ** $P=0.01$; * $P=0.05$; NS, not significant; L, linear; and Q, quadratic.