

NH₄⁺ : NO₃⁻ 시비 비율이 금어초 플러그 묘 성장과 상토 화학성 변화에 미치는 영향

이풍옥 · 이종석 · 최종명*
충남대학교 농업생명과학대학 원예학과

Influence of NH₄⁺ and NO₃⁻ Ratios in Fertigation Solution on Growth of Snapdragon Plug Seedlings and Changes in Medium Chemical Properties

Poong Ok Lee, Jong Suk Lee, and Jong Myung Choi*

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

Abstract. Objective of this research was to investigate the influence of NH₄⁺ and NO₃⁻ ratios in liquid feeding on the growth of snapdragon 'Potomac Red' and changes in medium chemical properties. The seeds were sown into 200 plug trays and fertigated once a week with nutrient solution containing various ratios of NH₄⁺ and NO₃⁻ such as 0 : 100, 27 : 73, 50 : 50, 73 : 27, and 100 : 0. The total N concentrations were adjusted to 50, 100 and 150 mg · L⁻¹ in plug stages of 2, 3, and 4, respectively. Determination of seedling growth and analysis of plant tissue and root medium were conducted at 56 days after sowing. The treatment of 27 : 73 (NH₄⁺ : NO₃⁻) had the greatest plant height, fresh weight, and dry weight. The N and P contents in 27 : 73 (NH₄⁺ : NO₃⁻) treatment based on the above ground plant tissues were 2.39 and 0.39%, respectively, which were the greatest among treatments. The elevation of NH₄⁺ ratio in fertigation solution decreased tissue Ca and Mg contents, but that did not influence tissue K content. The variations in NH₄⁺ : NO₃⁻ ratios impacted the soil solution pH and the difference among treatments had been severe since three weeks after sowing. Elevation of NH₄⁺ ratios in fertigation solution increased electrical conductivity and concentrations of K, Ca, and Mg in soil solution of root medium. The NH₄⁺ and NO₃⁻ concentrations in the soil solution were high in weeks 2, 3, and 4, then decreased gradually as the biomass of seedlings increased. Medium P concentration decreased gradually as seedlings grew, but statistical differences were not observed among treatments.

Key words : dry weight, EC, fresh weight, nutrient solution, pH

서 론

식물은 NH₄⁺ 또는 NO₃⁻ 형태의 질소를 흡수하고, 시비하는 질소의 종류에 따라 식물체내 질소 축적, 양이온-음이온 균형 및 호흡작용(Escobar 등, 2006; Matsumoto와 Tamura, 1981)이 영향을 받는다. 또한 식물체내 수분 수지(Ragab, 1980)나 광합성(Siddiqi 등, 2002) 등 다양한 식물체내 대사작용에도 영향을 미친다. 일반적으로 NH₄⁺ 형태의 질소만을 시비할 경

우 식물 생육에 유해하며, 많은 재배농가에서는 안전한 NO₃⁻ 형태의 질소를 시비하려는 경향이 강하다.

그러나 음이온인 NO₃⁻를 시비하면 토양의 양이온교환 부위에 흡착하지 못하여 용탈양이 증가하고 흡수 효율이 감소하는 문제점이 있으며, 양이온인 NH₄⁺이 양이온교환부위에 흡착하고 서서히 이용될 수 있으므로 흡수효율 증진에 더 바람직하다. 최근 국내의 화훼류 플러그 육묘가 200공 이상의 플러그 트레이에 경량인 인공상토를 충전한 후 이루어지고, 노지토양과 달리 양이온교환용량이 적으므로 시비된 질소의 흡수 효율 증진에 NH₄⁺ 태 질소가 더 바람직하다.

일반적으로 플러그 육묘를 하는 농가에서는 한 종류

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr
Received June 25, 2010; Revised September 18, 2010;
Accepted November 13, 2010

의 질소를 시비하지 않고 NH_4^+ 또는 NO_3^- 형태의 질소의 비율을 달리하여 시비한다. 그러나 시비되는 N 비료 중 NH_4^+ 질소의 적절한 비율은 작물의 종류에 따라 다르고, 각 식물내에서도 품종에 따라 다르다. 예를들면 벼(*Oriza sativa* L.) 또는 소나무류는 암모늄을 단일 비료로 시비할 때 생육이 우수하지만(Britto와 Kronzucker, 2002, 2004) 오이나 토마토의 생장을 극대화시키기 위하여는 NH_4^+ 의 비율을 최소화시켜야 한다(Roosta 등, 2009).

NH_4^+ 또는 NO_3^- 형태의 질소는 식물체내 대사작용 뿐만 아니라 근권부를 둘러싼 토양 용액의 pH를 변화시킨다. 식물 뿌리가 한 분자의 NH_4^+ 를 흡수할 경우 뿌리로부터 한 분자의 H^+ 가 용출되어 토양 산도를 산성화시키고, 한 분자의 NO_3^- 를 흡수하면 뿌리로부터 OH^- 가 용출되어 근권부 pH를 알칼리로 변화시킨다(Marschner, 1995). 토양 pH 변화는 근권부에 존재하는 각종 무기원소의 가용성에 영향을 미치고 흡수되는 무기원소의 종류 및 흡수량이 변화된다(Hanan, 1998). 또한 흡수과정에서의 양이온간 또는 음이온간 길항작용에 의해서도 NH_4^+ 또는 NO_3^- 형태의 질소는 다른 무기원소의 흡수량과 흡수 후의 식물 생육에 영향을 미친다.

금어초는 일반적으로 pH 6 부근의 약산성에서 잘 생육하며 육묘를 위한 적정 pH도 6.0 주변의 약산성 조건으로 추천되었다(Rogers, 1992; Styer와 Koranski, 2000). 그러나 금어초 육묘를 위해 상기한 인용문헌에서 추천한 pH는 실험 결과에 근거한 보고 내용이 아니라 단지 토양에서의 성장 상태를 고려하여 막연하게 추천된 내용이다. 따라서 피트모스 + 버미큘라이트 상토를 이용한 금어초의 플러그 육묘에서 NH_4^+ 또는 NO_3^- 의 시비비율이 성장, 무기원소 흡수 및 토양 화학

성 변화에 미치는 영향을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

피트모스와 질석(No. 2)을 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 조제하면서, 탄산칼슘 $2.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 삼중과인산석회(triple superphosphate) $1.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 미량원소복합제인 Micromax(Sierra Chem. Co., Milpitas, CA) $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 그리고 입상 토양습윤제인 AquaGro wetting agent (Aquatrols Corp. of America, Pennsauken, NJ)를 $0.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 첨가하였다.

상토 혼합시 적절한 함수량을 갖도록 조절하고, 24시간 밀봉하여 수분균형이 일어나도록 기다렸다가 200 플러그 트레이에 충전하였다. 이후 금어초(*Antirrhinum majus*) ‘Potomac Red’ 종자를 파종하여 온도를 27°C 로 조절한 발아실에서 발아시켜, 자엽이 발생한 Stage 2부터 온실로 옮겨 재배하였다.

자엽이 발생하는 시기인 stage 2부터 Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 기본으로 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 비율(mM)을 0:100, 27:73, 50:50, 73:27, 100:0으로 조절한 처리용액을 만들어 시비하였으며(Table 1), 각 처리는 3반복으로, 각 반복당 10식물체로 배치하였다. 시비수준은 Hoagland 용액의 질소농도를 기준으로 stage 2, 3(자엽발생기부터 본엽 2매까지의 시기), 그리고 stage 4(본엽 2매 이후)에 각각 50, 100, $150\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 조절하여 매주 1회 시비하고, 관비중간에는 지하수로 관수하였다.

본 실험은 충남대학교 농업생명과학대학의 유리온실에서 수행하였으며, 재배기간 중의 평균 주간·야간온도는 24 및 15°C 였고, 상대습도는 60~70%, 평균일장

Table 1. Composition of nutrient solution used to investigate the effect of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios on growth and nutrient uptake of snapdragon ‘Potomac Red’ in plug production².

$\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ Ratio (%)	NH_4^+	NO_3^-	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	SO_4^{2-}	H_2PO_4^-	Cl^-
	(mM)							
0:100	0	15	6	5	2	2	1	0
27:73	4	11	5	5	2	2	1	6
50:50	7.5	7.5	5	5	2	2	1	13
73:27	11	4	5	5	2	5.5	1	13
100:0	15	0	5	5	2	7	1	18

²Micronutrient (in mg per L solution): $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 1.81; H_3BO_3 , 2.86; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.22; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.08; $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0.09; and Na_2FeEDTA , 0.79.

NH₄⁺:NO₃⁻ 시비 비율이 금어초 플러그 묘 성장과 상토 화학성 변화에 미치는 영향

15시간, 광도 330~370 μmolm⁻²s⁻¹였다.

파종 56일 후 식물체의 지상부를 수확하여 초장, 생체중, 그리고 건물중을 조사하였다. 수확한 식물체는 0.01N HCl 용액에 1분간 침지한 후 증류수로 수세하여 식물의 잎에 묻어있는 이물질들을 제거하였다. 이후 70°C의 건조기에서 24시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였으며 건물중 측정후 무기물 함량 분석은 Choi 등(2008)의 방법에 준해 동일한 기종의 장비로 분석하였다.

파종 후 1주 간격으로 관비 2시간 후에 토양시료를 채취하여 Warncke(1986)의 방법으로 토양용액을 추출하였다. 추출용액은 미생물에 의한 NH₄⁺의 산화를 억제시키기 위해 포화된 phenylmercuric acetate(1g/18mL DW)를 한 두방울 첨가한 후 pH와 EC를 측정하고, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, PO₄-P, K, Ca 및 Mg를 분석하였는데, 측정 및 분석의 방법과 장비는 Choi 등(2008)의 방법과 동일하였다.

결과 및 고찰

NH₄⁺:NO₃⁻의 시비비율이 금어초의 지상부 성장에 미

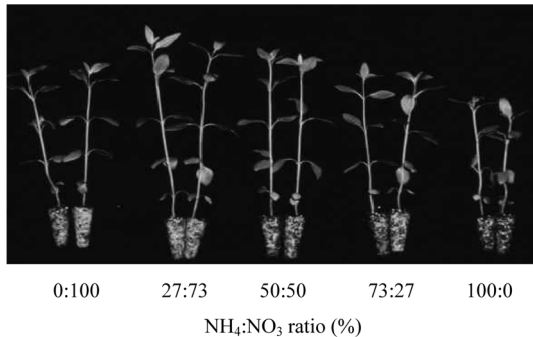


Fig. 1. Growth of snapdragon ‘Potomac Red’ fertilized with various ratios of NH₄⁺:NO₃⁻ at 56 days after sowing.

치는 영향을 조사한 결과 27:73 처리에서 초장, 생체중 및 건물중이 가장 크거나 무거웠고 50:50, 73:27 및 100:0으로 NH₄⁺의 비율이 높아질수록 생장이 저조해지는 경향을 보였다(Fig. 1, 2). Rogers(1992)는 NH₄⁺보다 NO₃⁻의 비율을 높일 때 금어초의 지상부 성장량이 증가한다고 보고하였다. 또한 Styer와 Koranski(2000)도 금어초 육묘를 위한 근권부의 적정 pH는 약 6.5이며 NH₄⁺보다 NO₃⁻를 시비할 때 근권부의 pH가 상승하고 금어초의 생장에 유리한 근권부 환경을 조성한다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 0 NH₄⁺:100 NO₃⁻ 처리의 생장이 저조하였고, 27:73 처리에서 생장이 가장 우수하였으며, 50:50 이상으로 NH₄⁺의 비율이 높아질수록 생장이 저조하여 그들의 보고와 다른 경향을 보였다. NH₄⁺ 시비비율이 높아질수록 금어초의 생장이 저조하였던 것은 Britto와 Kronzucker(2002, 2004) 또는 Matsumoto와 Tamure(1981)가 보고한 내용과 같이 NH₄⁺의 독성으로 인해 유발된 결과라고 생각한다.

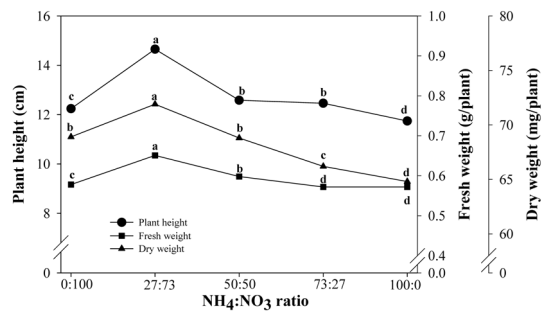


Fig. 2. Plant height, fresh weight and dry weight of snapdragon ‘Potomac Red’ fertilized with various ratios of NH₄⁺ and NO₃⁻ at 56 days after sowing. Values on each index of growth followed by same letter are not significantly different (Duncan’s multiple range test, P = 0.05).

Table 2. Nutrient contents of snapdragon ‘Potomac Red’ fertilized with various ratios of NH₄⁺ and NO₃⁻ at 56 days after sowing.

NH ₄ ⁺ :NO ₃ ⁻ Ratio (%)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	N					(mg · kg ⁻¹)			
0 : 100	2.56 c	0.31 c	2.05 a	0.55 c	0.66 b	80.7 a	24.0 ab	16.3 a	0.7 a
27 : 73	2.84 a	0.35 b	2.08 a	0.69 b	0.77 a	83.8 a	25.6 ab	14.2 b	0.7 a
50 : 50	2.77 b	0.34 b	2.06 a	0.74 a	0.78 a	74.1 b	22.9 c	14.1 b	0.6 a
73 : 27	2.45 d	0.39 a	2.01 a	0.57 c	0.66 b	68.0 c	23.7 b	14.8 b	0.6 a
100 : 0	2.38 e	0.35 b	1.92 a	0.57 c	0.63 c	75.0 b	29.8 a	14.8 b	0.6 a

^aMean separation in columns by Duncan’s multiple range test, 5% level.

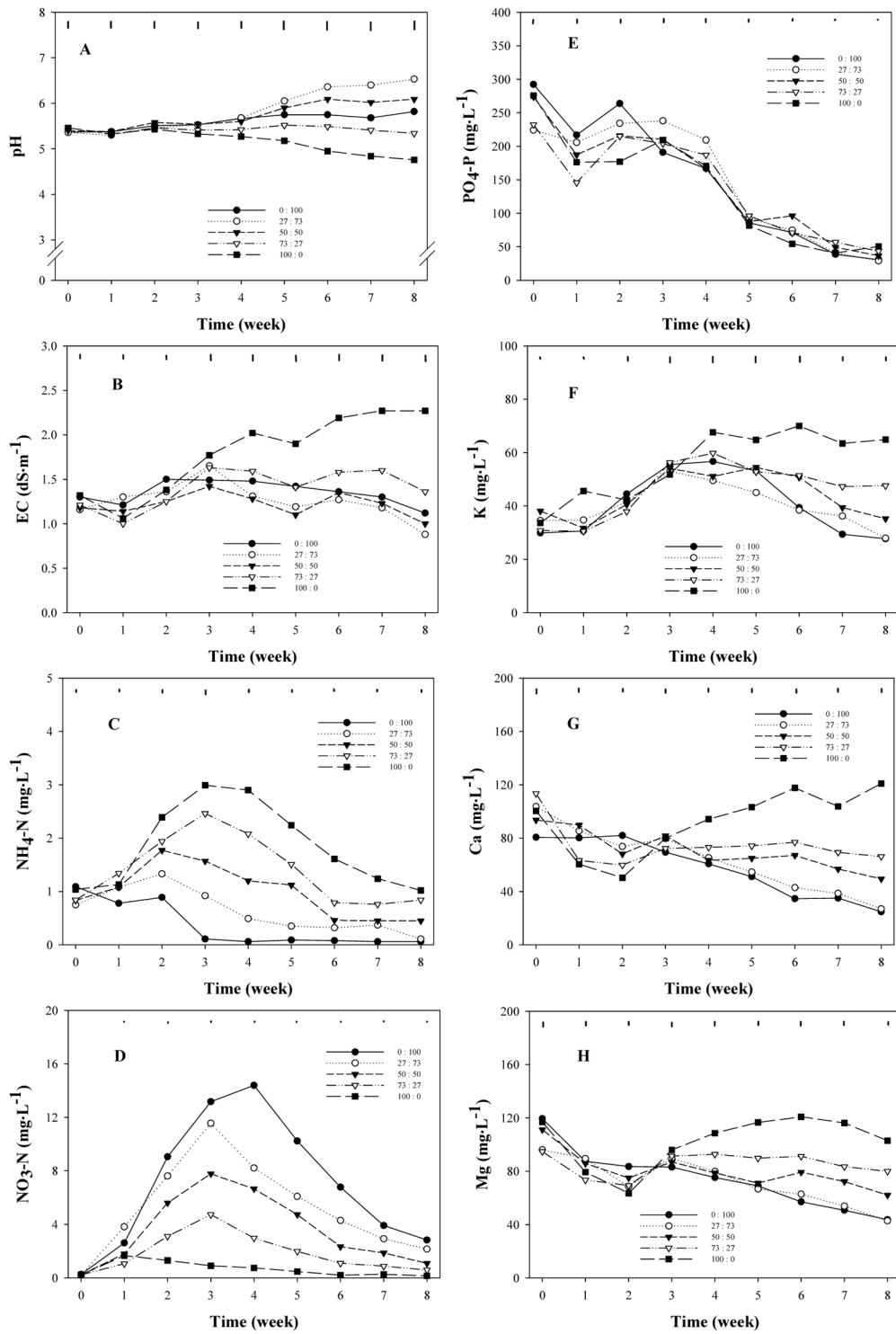


Fig. 3. Changes in pH, electrical conductivity (EC) and nutrient concentrations in the peatmoss + vermiculite (1 : 1, v/v) root media at 56 days after sowing of snapdragon 'Potomac Red' as influenced by various ratios of NH_4^+ and NO_3^- in fertilizer solution. Vertical bars represent LSD ($P = 0.05$) among weekly treatment.

NH₄⁺:NO₃⁻ 시비 비율이 금어초 플러그 묘 성장과 상토 화학성 변화에 미치는 영향

파종 56일 후 지상부 식물체의 무기물 함량을 분석한 결과 지상부 생장이 우수하였던 27:73(NH₄⁺:NO₃⁻) 처리의 N함량이 유의하게 높았고 NH₄⁺ 시비비율이 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다(Table 2). 인산 함량은 73 NH₄⁺:27 NO₃⁻ 처리에서 유의하게 높았고, 100% NO₃⁻이 시비된 0:100 처리에서 유의하게 낮았다. 생장이 비교적 저조하였던 0:100 처리의 K, Ca 및 Mg 함량이 낮았지만 27:73 처리에서 이들 세종류 양이온 함량이 높았으며, NH₄⁺ 비율이 75% 이상으로 높아지면 이들 3종류 원소의 식물체내 함량도 점차 감소하였다. 관비용액의 NH₄⁺ 비율이 높아질수록 P 함량이 증가한 것은 식물 뿌리가 양이온이 흡수할 때 음이온의 흡수가 촉진되는 상조작용, 그리고 K, Ca 및 Mg 함량이 감소한 것은 흡수과정에서의 양이온간 길항작용이 원인 되었다고 생각한다(Marschner, 1995; Nelson, 2003). Roosta 등(2009)은 오이를 대상으로, 그리고 Siddiqui 등(2002)도 토마토를 대상으로 수행한 연구에서 NH₄⁺:NO₃⁻의 시비비율에 따른 성장반응과 무기원소 함량의 차이를 보고한 바 있으며, 그들도 식물체내 무기원소 함량의 변화를 본 연구결과와 유사하게 보고하여 본 연구에서의 NH₄⁺ 시비비율에 따른 식물체내 무기원소 함량 차이에 관한 이론적 배경을 제공하였다.

관비용액의 NH₄⁺과 NO₃⁻ 비율이 상토의 pH에 영향을 미쳤고, NO₃⁻의 상대적인 비율이 증가할수록 알칼리 쪽으로 변화되었는데, 파종 3주 후부터 처리간 차이가 커져 파종 8주 후에 100% NH₄⁺의 경우 pH 4.8, 100% NO₃⁻ 처리에서 약 6.5로 측정되었다(Fig. 3A). 식물 뿌리가 음이온인 NO₃⁻을 흡수하면 근권부에 OH⁻이 집적되어 토양 pH가 상승하고, NH₄⁺을 흡수하면 근권부에 H⁺이 집적되어 발생한 결과라고 판단되었다(Choi 등, 2008; Marschner, 1995). Styer와 Koranski (2000)는 금어초 재배를 위한 상토의 적정 pH 영역을 5.8~6.2으로 설정하였으며 본 연구에서 생장이 우수하였던 27:73(NH₄⁺:NO₃⁻) 처리의 pH는 이들의 제시한 적정 영역보다 약간 높았다.

토양용액의 EC는(Fig. 3B) NH₄⁺ 100% 비율의 경우 파종 2주 후부터 상승하여 8주 후에는 약 2.2dS·m⁻¹까지 증가하였지만 다른 처리들은 1.0~1.5dS·m⁻¹의 범위에 포함되었다. 100% NH₄⁺ 처리에서 높았던 원인은 NH₄⁺:NO₃⁻의 비율을 조절하기 위해 추가로 많

은 양의 무기염이 용해되었고, NH₄⁺:NO₃⁻의 비율이 100:0인 처리에서는 전체 5.182mole의 무기염이 용해되었지만 50:50인 처리에서는 3.04mole의 무기염이 용해되었기 때문이라고 판단한다.

NH₄⁺과 NO₃⁻의 비율에 따른 상토중 질소 농도변화는 100:0의 비율에서 가장 높은 NH₄⁺ 농도를, 0:100에서 가장 높은 NO₃-N 농도를 나타내었다(Fig. 3C, D). 모든 처리에서 4주 이후에는 NH₄⁺-N의 농도가 감소되었는데, 이는 식물의 성장 속도가 빨라지면서 무기원소의 흡수율이 증가하였고 또 토양 중에 존재하는 NH₄⁺가 질산화작용(nitrification)에 의해 NO₃⁻로 변화되었기 때문인 것으로 생각된다(Choi, 1994; Tate, 1995). 상토의 인산농도는 처리간 뚜렷한 차이가 없이 식물이 성장함에 따라 토양의 인산농도는 낮아졌다(Fig. 3E).

관비용액의 NH₄⁺의 비율이 높아질수록 상토의 K, Ca 및 Mg 농도가 높아지는 경향이 있었다(Fig. 3F, G, H). 이는 Marschner(1995)와 Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 식물 뿌리가 무기양분을 흡수하는 과정에서 양이온간 길항작용과 양이온과 음이온의 상조작용이 발생하여 나타난 결과라고 생각한다. 즉 관비용액의 NH₄⁺ 농도가 높아질수록 길항작용에 의해 양이온인 K⁺, Ca⁺⁺, 그리고 Mg⁺⁺의 흡수가 억제되고, 상토에 잔존하는 농도가 높아진 원인이 되었다. 그러나 관비용액의 NO₃⁻ 비율이 높은 처리에서는 음이온의 흡수과정에서 양이온의 흡수가 촉진되는 상조작용으로 인해 NH₄⁺의 비율이 높았던 처리보다 더 많은 K⁺, Ca⁺⁺ 및 Mg⁺⁺이 흡수되고 상토에 잔존하는 농도가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다.

적 요

금어초 'Potomac Red'를 200공 플러그 트레이에서 육묘하면서 NH₄⁺과 NO₃⁻ 비율을 조절한 액비로 시비한 결과 초장, 생체중 및 건물중 모두 27:73(NH₄⁺:NO₃⁻)의 비율로 시비된 처리에서 가장 좋은 성장을 나타냈다. 파종 56일 후 식물조직의 질소와 인산함량은 27:73로 시비된 처리에서 각각 2.84% 및 0.39%로 가장 높게 분석되었다. 식물체내 K의 함량은 처리간 차이가 뚜렷하지 않았지만, 관비용액의 NH₄⁺ 비율이 높아질수록 식물체의 Ca 및 Mg 함량이 감소하는 경

향이었다. 상토의 pH는 파종 3주 후부터 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 의 시비 비율에 따른 처리간 차이가 발생하여 8주까지 계속적으로 변하였으며, NO_3^- 의 비율이 증가할수록 중성쪽으로, 그리고 NH_4^+ 의 비율이 증가할수록 산성쪽으로 변하였다. 상토의 EC는 NH_4^+ 의 비율이 증가할수록 높아졌고, 100% NH_4^+ 처리에서 파종 8주 후 $2.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 상승하였다. $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 의 비율에 따른 상토 중 질소 농도변화는 100:0의 비율에서 가장 높은 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 농도를, 0:100에서 가장 높은 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도를 나타내었고, 상토의 인산농도는 처리간 뚜렷한 차이가 없이 식물이 생장함에 따라 토양의 인산농도는 낮아졌다. 그러나 관비용액의 NH_4^+ 비율이 높아질수록 상토의 K, Ca 및 Mg 농도가 높아지는 경향이었다. 관비용액의 $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ 의 비율에 대한 식물생장 반응을 고려할 때 두 질소 비율로 27:73으로 조절하는 것이 플러그 육묘를 위해 바람직하다고 판단하였다.

주제어 : 건물중, 관비용액, 생체중, EC, pH

인 용 문 헌

1. Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. *J. Plant Physiol.* 159:567-584.
2. Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2004. Bioengineering N acquisition in rice: Can novel initiatives in rice genomics and physiology contribute to global food security? *Bio Essays* 26:683-692.
3. Choi, J.M. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. Ph.D. Disser., North Carolina State Univ., Raleigh, USA.
4. Choi, J.M., S.K. Jeong, and K.D. Ko. 2008. Influence of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratios in fertigation solution on appearance of ammonium toxicity, growth and nutrient uptake of 'Maehyang' strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 26:223-229.
5. Escobar, M.A., D.A. Geisler, and A.G. Rasmusson.

2006. Reorganization of the alternative pathways of the Arabidopsis respiratory chain by nitrogen supply: Opposing effects of ammonium and nitrate. *Plant J.* 45:775-788.
6. Hanan, J.J. 1998. *Greenhouse: Advanced technology for protected horticulture.* Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
7. Hoagland, D.R. and D.I. Amon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Univ. of Calif. Agri. Exp. Sta. Circular* 327.
8. Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants.* 2nd ed. pp. 505-565. Academic Press, San Diego, CA.
9. Matsumoto, H. and K. Tamura. 1981. Respiratory stress in cucumber roots treated with ammonium or nitrate nitrogen. *Plant Soil* 60:195-204.
10. Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management,* 6th ed. Prentice Hall, N.J.
11. Ragab, S.M. 1980. Water uptake and trans-potential in sunflower roots as influenced by ammonium ions. *J. Agr. Sci.* 94:145-150.
12. Rogers, M.N. 1992. Snapdragon. pp. 93-112. In: R.A. Larson (ed.). *Introduction to floriculture* (2nd ed.). Academic Press Inc., London.
13. Roosta, H.R., A. Sajjadinia, A. Rahimi, and J.K. Schjoerring. 2009. Responses of cucumber plants to NH_4^+ and NO_3^- nutrition: The relative addition rate technique vs. cultivation at constant nitrogen concentration. *Sci. Hort.* 121:397-403.
14. Siddiqi, M.Y., B. Malhotra, X. Min, and A.D.M. Glass. 2002. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop *J. Plant Nutrition and Soil Sci.* 165:191-197.
15. Styer, R.C. and D. Koranski. 2000. Crop-by-crop checklists. pp. 154-160. In: J. VanderVelde (ed.). *Grower-Talks on plgs* 3. Ball Publishing, Batavia, IL.
16. Tate, R.L. 1995. *Soil microbiology.* pp. 254-278. John Wiley & Sons, Inc., NY.
17. Warncke, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hort-Science* 21:223-225.