 DOI http://dx.doi.org/10.7235/hort.2013.12190

배지경 포트재배에서 비료용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율이 고추의 생장 및 수량에 미치는 영향

이호진[1] · 최종명[1*] · 장성완[2] · 정석기[3]

[1]충남대학교 원예학과, [2](주)도프 작물재배연구소, [3]충남농업기술원

Influence of NO_3^-:NH_4^+ Ratios in Fertilizer Solution on Growth and Yield of Hot Pepper (*Capsicum annuum* L.) in Pot Cultivation

Ho Jin Yi[1], Jong Myung Choi[1*], Sung Wan Jang[2], and Suk Ki Jung[3]

[1]Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
[2]Crop Research Institute, DoF Ltd., Pyungtaek 451-833, Korea
[3]Chungcheongnam-do Agricultural Research & Services, Yesan 340-861, Korea

Abstract. This research was conducted to evaluate the influence of NO_3^-:NH_4^+ ratios in fertilizer solution on the vegetative growth and fruit yield of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) through pot cultivation. The Hoaglad's solution was modified to contain various NO_3^-:NH_4^+ ratios such as 100:0 (A), 73:37 (B), 50:50 (C), 27:73 (D), 0:100 (E), and no nitrogen (F). Plants were transplanted into root substrates and the modified solutions were applied as plant needed in plastic house. There were no statistical significances among the treatments from A through D in the fresh and dry weights, and number of leaves 31 days after transplanting, but elevation of NH_4^+ ratios in the solution decreased the fresh fruit weight 62 days after transplanting with statistical differences. In the results of inorganic element analysis based on the dry weight of fully expanded mature leaves, N and P contents as well as micro cations such as Fe, Mn, Zn, and Cu increased as NH_4^+ ratios were elevated 62 days after transplanting. However, those of macro cations such as K, Ca, and Mg resulted in decreasing tendency. The elevation of NH_4^+ ratios in fertilizer solution resulted in the increase of EC and total N concentrations (NO_3^- + NH_4^+), but this decreased the pH as well as Ca and Mg concentrations in soil solution 62 days after transplanting. The K concentration in soil solution was the highest in the treatments of C and followed by D, B, E, and A. The above results indicate that the proper NO_3^-:NH_4^+ ratio in the nutrient solution is 73:27 (B) or 100:0 (A) and the B solution is proper for the vegetative growth and that of A is proper for reproductive growth stage.

***Additional key words*:** nutrient uptake, soil chemical properties, toxicity symptom

서 언

질소는 식물체 내에서 단백질, 아미노산, 핵산, 및 엽록소 등의 주요 구성성분이며 작물의 생장, 수량 및 품질에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 원소이다. 작물의 종류, 생장 시기 또는 식물체 조직별로 차이가 있지만 식물체 내 함량이 매우 높아 건물중 기준으로 약 2-4% 정도로 분석되고 있다 (Bennett, 1993). 질소는 유기질소, 요소, NO_3^- 및 NH_4^+ 등 여러 형태로 토양에 공급된 후 이온 상태로 변화되며, 식물 뿌리는 이온 상태의 질소를 흡수한다.

대기 또는 토양에서 변화되는 여러 형태의 질소 중 NO_3^-는 산화형으로써 음이온이며, NH_4^+는 환원형태로써 양이온이다. NH_4^+ 또는 NO_3^- 형태의 질소가 식물체에 흡수되면 환원과정을 거친 후 아미노산, 핵산 등 유기물질로 동화된다. 이 과정에서 NO_3^-는 NH_4^+보다 더 복잡한 환원 과정을 거치며, NH_4^+에 비해 NO_3^-가 환원될 때 식물체의 에너지 소비량이 증가하여 작물 생육이 저조해진다. 따라서 식물체 내의 동화 과정을 고려한 질소질 비료원으로써 NO_3^-에 비해 NH_4^+

***Corresponding author:** choi1324@cnu.ac.kr
※ Received 3 October 2012; Revised 29 October 2012; Accepted 15 November 2012.

가 더 우수하다고 할 수 있다(David et al., 2005; Jeong and Kim, 1998).

그러나 NH_4^+의 과다시비는 여러 측면에서 문제점을 가지며 가장 큰 문제점은 NH_4^+ 독성이다. NO_3^-의 경우 식물체 내에 다량 흡수되어도 독성을 나타내지 않지만, NH_4^+는 체내에 흡수된 후 단백질로 빠르게 전환되지 않고 높은 농도를 유지할 경우 작물이 과잉 장해를 일으키며, 과잉 장해를 일으키는 한계 농도는 작물에 따라 차이가 있다(Sonneveld and Voogt, 2009). 또한 NH_4^+가 과다하게 흡수될 경우 흡수 과정에서 K^+, Ca^{++}, Mg^{++} 등 다른 양이온과 길항작용을 하여 이들 원소의 흡수량이 감소하고 각종 생리장해가 발생한다(Bar-Tal et al., 2001). 따라서 NH_4^+ 과다시비에 따른 독성 문제를 회피하면서 질소 흡수 후 동화작용 과정에서 에너지 소비량 감소를 통한 생장량 증가의 목적을 달성하기 위해 NO_3^-와 NH_4^+를 적절한 비율로 혼합하여 시비하고 있다(Fabrice et al., 2008).

한편 우리나라는 전체 농경지의 50% 이상을 점유할 정도로 벼 재배 면적이 많으며(Statistics Korea, 2010), 이는 국내에서 작물 생산을 위해서 주로 요소태 또는 암모니아태 질소가 시비되는 원인이 된다(KFIA, 2011). 논과 같이 담수상태에서 산소가 부족하면 NO_3^-가 N_2 가스로 환원되어 대기중으로 유실되며, 흡수 효율이 낮아진다. 그러므로 국내 비료산업은 수도작, 즉 담수상태에서 비료유실이 적은 요소태와 암모니아태 질소 비료를 생산하고 토양에도 이들 비료를 시비하는 데에 치중하여 왔다. 그러나 밭 작물인 일반 원예작물 재배에 질산태 질소가 포함된 비료를 시비할 경우 요소태나 암모니아태 질소 비료보다 생산량이 증가한다고 일부 문헌에서 보고되고 있다(Abbes et al., 1995; Bar-Tal et al., 2001).

따라서 국내에서 시설재배가 많이 이루어지는 고추(*Capsicum annuum* L.)를 대상으로 시비방법 확립을 위한 기초 자료를 확보하고자 NH_4^+ 및 NO_3^- 시비비율이 생장 및 수량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험은 경기도 평택시에 위치한 (주)도프 작물재배연구소 실험포장의 플라스틱하우스 내에서 수행하였다. 실험 대상 작물은 (주)피피에스(PPS Co. Ltd., Yeojoo, Korea)사에서 육성한 ‘Yeontaseok’ 고추(*Capsicum annuum* L.)였다.

실험을 위하여 원예용상토(Sinsung Mineral Co., Ltd., Jincheon, Korea)를 확보한 후 내경 21.5cm의 플라스틱포트에 포트당 1,300g(약 5L)을 충전하였다. 정식 전 농촌진흥청 토양분석법(RDA, 2003)에 따라 분석한 혼합상토의 화학적 특성은 다음과 같다: pH(1:5) 6.27, EC(1:5) $0.404 dS \cdot m^{-1}$, NO_3-N $84.1 mg \cdot kg^{-1}$, NH_4-N 불검출, 유효인산(P_2O_5) $84.36 mg \cdot kg^{-1}$, Ex-K $16.96 cmol^+ \cdot kg^{-1}$, Ex-Ca $27.05 cmol^+ \cdot kg^{-1}$, Ex-Mg 8.95 $cmol^+ \cdot kg^{-1}$, Ex-Na $11.12 cmol^+ \cdot kg^{-1}$.

각각의 포트에는 플러그 트레이에 파종하여 70일간 육묘된 고추묘를 정식하였는데 묘는 초장이 약 6cm이고 본엽이 7장 전개된 상태였다. 고추묘를 정식한 포트는 넓이와 간격을 25cm × 25cm로 조절하여 배치하였고, 31일간 재배한 후 중간 생육조사를 수행하였다. 이후 포트의 넓이와 간격을 50cm × 50cm로 조절하여 정식 62일 후까지 재배하면서 최종 생장량과 생과 수확량을 조사하였다.

관비용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율을 100:0(A), 73:27(B), 50:50(C), 27:73(D), 0:100(E), 조절하거나 지하수만 처리한 무처리구(F)의 6개 시험구를 두어 본 연구를 수행하였다. 관비용액의 조성은 Hoagland 용액(Hoagland and Aron, 1950)을 기본으로 Table 1과 같이 조절하였다. 비료 용액은 pH가 약 6.8이고 EC가 약 $0.67 dS \cdot m^{-1}$인 지하수를 이용하여 조제하였다. 정식 후 20일까지는 Table 1에서 제시한 관비용액을 처

Table 1. Composition of nutrient solution used to investigate the influence of NO_3^-:NH_4^+ ratios on the growth and nutrient uptake of ‘Yeontaseok’ hot peppers.[z]

Treatment[y]	NH_4^+	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	Cl^-
	(mM)							
A	0	15	6	5	2	2	1	0
B	4	11	5	5	2	2	1	6
C	7.5	7.5	5	5	2	2	1	13
D	11	4	5	5	2	5.5	1	13
E	15	0	5	5	2	7	1	18
F	0	0	0	0	0	0	0	0

[z]Micronutrient (in mg per L solution): $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, 1.81; H_3BO_3, 2.86; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.22; $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 0.08; $H_2MoO_4 \cdot H_2O$, 0.09; and $Na_2FeEDTA$, 0.79.
[y]NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen).

리하였지만 20일 이후부터는 근권부 EC가 과도하게 상승한다고 판단하여 A부터 E까지 모든 처리용액에 20%의 지하수를 첨가하여 희석한 후 관비하였다. 모든 처리용액에 20%의 지하수를 추가할 경우 공급하는 관비용액의 EC가 $3.0dS·m^{-1}$ 이하로 조절되었다. 관비 시기는 상토가 건조되는 정도를 고려하여 2-3일 간격으로 조절하였는데 생육 초기의 지상부 생장량이 적은 시기에는 3일 간격으로 1회를, 지상부 생장량이 많고 대기 온도가 상승한 정식 30일 이후에는 2일에 1회 관비하였다. 매회 관수량은 한 식물체당 1,100mL를 관수하여 포트기준으로 20-30% 정도의 배액이 발생하도록 하였다. 실험은 플라스틱 하우스에서 수행하였으며 지붕은 비가림을 유지한 채 하우스 측면을 1.2m 이상으로 완전히 개방한 상태였다. 실험 기간 동안 평균 온도는 주간 26℃, 야간 16℃였고, 상대습도 60-70%, 평균일장 15시간, 그리고 광합성유효광양자속은 $330\text{-}370\mu mol·m^{-2}·s^{-1}$였다.

본 연구를 위하여 총 180 포트를 재배하였으며, 이중 90 포트($NO_3^-:NH_4^+$ 비율과 질소 무시비구를 포함한 6처리 × 5반복 × 반복당 3식물체)는 1차 생육 조사를 위해 수확하였고, 나머지 90 포트(NH_4^+-N:NO_3^--N 비율과 질소 무시비구를 포함한 6처리 × 5반복 × 반복당 3식물체)는 2차 생육조사를 위해 수확하였다.

정식 31일 후에 1차 생육 조사를, 그리고 62일 후에 2차 생육 조사 및 착과수를 조사하였다. 1차 생육조사 항목에는 초장, 줄기직경, 엽수, 엽장 및 지상부 생체중이 포함되었고, 2차는 1차와 동일한 생육조사 항목 외에 착과수, 생과중 및 지상부 식물체의 건물중이 포함되었다. 생체중은 지제부를 절단하여 지상부만 측정하였고, 생체중 측정 후 75℃로 온도를 조절한 건조기에서 72시간 건조시킨 후 무게를 측정하여 건물중으로 삼았다. 지제부로부터 정단부의 새로 전개한 잎까지 길이를 측정하여 초장으로 삼았으며, 엽장 및 엽폭은 1차 조사 시 첫 번째 분지가 발생한 바로 위의 첫 마디 잎을, 2차는 첫 번째 분지가 발생한 곳으로부터 3번째 윗부분 잎을 대상으로 조사하였다. 엽수는 첫 번째 분지 윗부분과 아랫부분으로 구분하여 조사하였다. 줄기 직경은 첫 번째 분지가 발생한 부위의 바로 아랫부분을 측정하였고, 착과수는 각 식물체에 착과된 것 중 크기가 1cm 이상인 과실만을 조사하여 나타내었다.

상토의 화학성은 실험 전과 실험 후 2회 분석하였으며, 상토를 포트에 충전하기 전 일부를 채취하여 실험 전 상토로, 그리고 정식 62일 후 작물을 수확한 상태에서 뿌리를 제외한 상토를 채취하여 실험 후 상토로 삼았다. 상토의 pH 및 EC를 측정하고 NO_3-N, PO_4-P 및 교환성 양이온 함량을 분석하였으며, 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 준하였다. NO_3-N와 PO_4-P는 흡광분석계(Spectrophotometer Model CC 5001, England)를 사용한 비색정량으로, 교환성 양이온은 원자흡광분석계(Atomic Absorption/Flame Spectrophotometer, Model 680, Shimadzu, Japan)로 분석하였다.

엽분석을 위해 정식 62일 후 시료를 채취하였다. 각 처리구별로 두 번째 분지에서 발생한 잎들 중 가장 위에서 세 번째 아랫잎을 채취하였고 무처리구는 잎의 전개가 불량하여 위에서 두 번째 잎을 채취하여 분석대상으로 삼았다. 채취한 잎들은 0.01N HCl 용액에 1분간 침지한 후 증류수로 수세하여 잎에 묻은 이물질을 제거하였다. 이후 80℃의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 분쇄하여 T-N 및 무기성분 함량 분석에 이용하였다. 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 준하였다.

본 연구에서 재배용 상토 및 잎 분석한 결과는 CoStat 통계프로그램(v. 6.3; Monterey, CA)을 사용하여 처리간 차이를 비교하였다.

결과 및 고찰

정식 31일 후 생장

정식 31일 후 지상부 생장량을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 질소를 공급하지 않은 F 처리는 지상부 생장이 극히 저조하여 식물체당 생체중이 2g에 불과하였으며, $NO_3^-:NH_4^+$ 비율을 73:27으로 조절한 B 처리는 식물체당 생체중이 47.9g으로 다른 처리들 보다 유의하게 무거웠고, B, C, D, 그리고 E 처리의 순으로 생체중이 가벼워졌다. 특히 관비용액의 질소 중 NH_4^+ 비율을 100%로 조절한 E 처리구는 생육이 매우 불량하여 식물체당 생체중이 21.9g에 불과하였다. 초장, 줄기 직경, 엽장, 그리고 엽수도 생체중과 유사한 경향을 나타냈다. $NO_3^-:NH_4^+$ 비율이 73:27으로 조절된 B 처리구에서 유의하게 가장 크거나 많았으며, 무시비구의 생장이 가장 저조하였고, 100% NH_4^+ 시비구인 E 처리에서도 생장이 심하게 억제되었다.

정식 18일 후부터 완전히 전개된 중상위엽에서 Mg 결핍으로 추정되는 엽맥간 황화현상이 발현되었으며, 잎이 하늘을 향하여 구부러지는 상편생장 현상이 나타났다(Fig. 1).

이와 같은 현상은 근권부의 높은 EC와 NH_4^+ 단용 처리로 인한 암모니아 독성 피해가 원인이 되어 발생하였다고 판단한다(Britto and Kronzucker, 2002). Table 5에 나타낸 바와 같이 100% NH_4^+를 시비한 처리의 근권부 EC가 1:5(v/v) 방법으로 측정하였을 때 $0.74dS·m^{-1}$로 측정되어 매우 높음을 확인할 수 있었고, 높은 EC가 식물생육이 저조한 중요한 원

Table 2. Influence of various NO_3^-:NH_4^+ ratios in the nutrient solution on the growth characteristics of 'Yeontaseok' hot pepper in pot cultivation 31 days after transplanting.

Treatment[z]	Plant Height (cm)	Stem Diameter (mm)	Leaf Length (cm)	Leaf numbers			Fresh Weight (g/plant)
				Above first branch	Below first branch	Total	
A	35.8 a[y]	10.6 a	17.9 a	26.4 ab	54.4 a	80.8 a	41.2 b
B	37.8 a	10.0 ab	18.8 ab	29.0 a	52.8 a	81.8 a	47.9 a
C	31.2 b	8.4 b	16.9 ab	18.8 c	50.8 a	69.6 b	33.0 c
D	29.4 b	6.6 c	16.2 b	21.6 bc	50.4 a	72.0 b	29.7 c
E	29.1 b	3.3 d	13.0 c	18.4 c	37.6 b	56.0 c	21.9 d
F	11.2 c	2.6 d	5.0 d	6.8 d	7.2 c	14.0 d	2.0 e

[z]NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen).
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple rage test at P = 0.05.

Fig. 1. The NO_3^-:NH_4^+ ratios (0:100) in fertilizer solution caused the appearance of Mg deficiency symptom with chlorosis on the interveinal and marginal area of the lower leaves of 'Yeontaseok' hot pepper in pot cultivation 31 days after transplanting.

인이 되었다고 생각한다. 또한 NH_4^+ 시비비율이 높았던 처리들은 근권부의 pH가 강산성으로 변하였으며, 강산성 조건에서 Ca과 Mg이 불용화되므로 이들 원소의 흡수량 저하가 식물 생장이 저조한 원인이 될 수 있다고 생각한다. 또 다른 중요한 원인으로 제시한 암모니아 독성에서 식물체에 흡수된 암모니아가 단백질의 구성물질로 전환될 때 여러 종류의 아미노산 중 free-putrescine이 과다하게 축적될 수 있으며 암모니아의 흡수량이 증가할수록 그 축적량이 많아진다(Britto and Kronzucker, 2002; Fabrice et al., 2008). Fabrice et al.(2008)는 식물체내에 free-putrescine이 과다하게 축적되면 세포막을 파괴시키고 K을 누출시켜 조직이 괴사된다고 보고하였다. 그들은 또한 NH_4^+를 8.5mM로 조절한 관비용액으로 고추를 재배할 때 잎의 free-putrescine 함량이 127,723nmol·g^{-1}로 분석되었지만 NO_3^-를 8.5mM로 조절한 관비용액으로 재배할 때 4,770nmol·g^{-1}로 매우 적게 분석되었으며 NO_3^-:NH_4^+ 를 50:50으로 혼합하여 처리하면 10,172nmol·g^{-1}로 현저하게 낮추어 NH_4^+ 독성을 경감할 수 있다고 하였다. 비록 본 연구에서 고추 잎의 free-putrescine 함량을 분석하지 않았지만 Fabrice et al.(2008)의 보고내용을 고려하여 D와 E 처리의 생장이 심하게 억제된 현상을 NH_4^+ 독성에 기인한 결과라고 판단하였다.

정식 62일 후 생육

관비 용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율이 고추 지상부 생육 및 착과수에 미치는 영향을 정식 62일 후에 조사하여 Table 3에 나타내었다.

정식 62일 후의 지상부 생육을 조사한 결과 관비 용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율을 100:0, 73:27, 또는 50:50으로 조절한 A, B, 및 C 처리간 초장과 줄기직경의 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 NH_4^+를 73% 또는 100%로 조절하여 시비한 D 및 E, 그리고 질소 무시비구인 F 처리에서 초장과 줄기직경이 유의하게 작거나 가늘어졌다. 엽장과 엽수의 경우에는 A, B, C, 및 D 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 100% NH_4^+를 시비한 E 처리와 질소 무시비구인 F 처리에서만 유의하게 생육이 저조하였다. 비록 A, B, C, D 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았지만 100% NO_3^-를 시비한 A 처리의 생육이 우수하였으며 Table 3에서 제시한 산술적인 평균값과 Fig. 2에서 제시한 사진에서도 이러한 경향이 나타나고 있다.

착과수는 A 및 B 처리간 차이가 없었지만 관비용액의 NH_4^+ 비율이 높아질수록 뚜렷하게 적어졌다. 식물체당 과중도 A 시비구는 식물체당 164g였지만 B 시비구 133g, C 시비구 93g 등 NH_4^+ 비율이 높아질수록 가벼워졌고 통계적으로 뚜렷하게 처리간 차이를 나타내었다. 그러나 식물체당 지상부 생체중과 건물중은 착과수나 착과중과 다른 경향을 보였다. 관비용액의 NH_4^+ 비율을 변화시켰음에도 불구하고 A, B, C 및 D 시비구간 통계적인 차이가 인정되지 않았고, E와 F 시비구만 뚜렷하게 가벼웠다.

Table 3. Influence of various NO_3^-:NH_4^+ ratios in the nutrient solution on the growth characteristics of 'Yeontaseok' hot pepper in pot cultivation 62 days after transplanting.

Treat-ment[z]	Plant Height (cm)	Stem Diameter (mm)	Leaf Length (cm)	Leaf Width (cm)	Number of leaves			Number of fruits	Fruit weight	Fresh weight	Dry weight
					Above first branch	Below first branch	Total		(g/plant)		
A	84 a[y]	11.2 a	20.0 ab	7.0 ab	335 a	200 a	536 a	28 a	164 a	480 a	56 a
B	83 a	11.1 a	22.3 a	7.5 a	284 a	218 a	502 a	27 a	133 ab	496 a	57 a
C	80 ab	10.8 a	22.1 a	7.2 a	297 a	197 a	494 a	20 b	93 bc	470 a	54 a
D	77 b	10.0 b	20.7 a	6.8 ab	278 a	202 a	480 a	19 bc	76 c	454 a	51 a
E	63 c	8.8 c	18.1 b	6.2 b	163 b	142 b	306 b	15 c	62 c	308 b	33 b
F	31 d	4.0 d	8.5 c	3.1 c	28 c	18 c	47 c	1.6 d	9.6 d	21 c	2.1 c

[z]NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen).
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple rage test at P = 0.05.

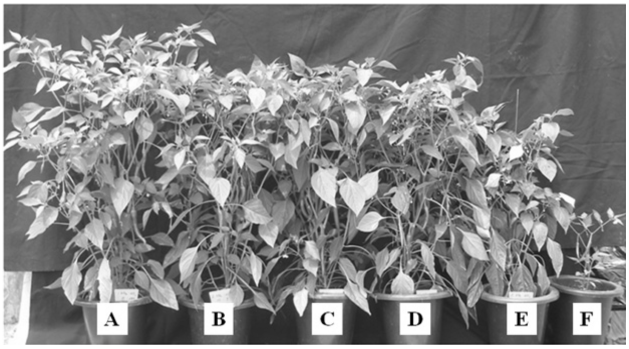

Fig. 2. Differences in crop growth of the 'Yeontaseok' hot pepper 62 days after transplanting as influenced by various NH_4^+:NO_3^- ratios in the fertilizer solution [(NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen)].

이상의 결과를 통해 생식생장으로의 전환 및 착과를 위해서는 관비용액의 NO_3^- 비율이 높을수록 유리하고, 지상부의 영양생장에는 유기질소로 전화되는 과정에서 상대적으로 에너지 소비가 적은 NH_4^+가 효과적인 것으로 판단하였다. Marschner(1995)도 식물체내로 흡수된 후 단백질로 전환이 빠른 NH_4^+를 식물이 흡수하면 단백질로의 전환을 위한 유기화합물 요구량이 많으며 상대적으로 질소와 결합되지 않은 형태의 식물체 내 유기화합물 농도가 낮아진다고 하였다. 따라서 NO_3^- 비율이 높을 경우 결합되지 않은 식물체 내 유기화합물의 농도가 높아지고 C/N율을 높여 생식생장에 유리하게 작용한다고 하였으며, 본 연구에서도 유사한 경향을 나타내었다고 판단한다.

그러나 영양생장 촉진을 위해 과다하게 NH_4^+ 비율을 높일 경우 NH_4^+ 독성이 발생하므로 본 연구의 고추재배를 위해서는 관비용액의 NH_4^+ 비율을 27% 이내로 조절하는 것이 바람직하다고 판단하였다. Sonneveld and Voogt(2009)도 대부분 작물의 배지경 양액재배 시 30% 이내로 NH_4^+ 비율을 조절할 때 작물 생장량 및 수량이 많았다고 본 연구와 유사한 보고를 한 바 있다.

식물체의 무기물 함량

정식 62일 후 가장 최근에 완전히 전개된 고추 잎(위로부터 세 번째 잎)을 채취한 후 건물중에 기초한 무기원소 함량을 분석하여 Table 4에 나타내었다.

관비용액의 NH_4^+ 비율이 높을수록 식물체 내 질소 함량이 높았다. 이는 Jeong and Kim(1998)이 보고한 바와 같이 식물체 내의 유기질소로 환원되는 과정에서 NH_4^+는 NO_3^-에 비해 에너지 소비량이 적다. 그러나 뿌리에서 NH_4^+가 NO_3^-보다 빨리 흡수되고 유기질소로 전환도 빠르며, 이와 같은 현상이 식물체 내 질소 축적량이 증가한 원인이 되었다고 판단한다. 또 다른 가능성은 Choi et al.(2011)와 Marschner (1995)가 보고한 바와 같이 동일한 양의 무기원소를 흡수하여도 지상부 생장량이 많을 경우 희석효과가 발생하여 건물중에 기초한 무기원소 함량이 적어질 수밖에 없다. 본 연구에서도 Table 2에 나타낸 바와 같이 NO_3^- 비율이 높았던 처리의 지상부의 건물중 생산량이 많았으며 희석효과로 인해 질소함량이 낮아졌다고 판단한다.

식물체 내 인산 함량에서 Ikeda(1997)와 Marschner(1995)가 보고한 바와 같이 NH_4^+ 비율이 높아질수록 pH가 낮아졌고, 낮은 pH에서 인산의 가용화가 촉진되어 인 함량이 증가한 것으로 판단하였다. 다량원소 중 양이온인 K, Ca, Mg의 식물체 내 함량은 관비용액의 NH_4 비율이 높을수록 감소하였고, NO_3^-의 비율이 높을수록 높아졌는데 흡수과정에서 NH_4^+와는 길항작용이, NO_3^-와는 상조작용이 발생하였다고 판단하였다. 또한 Hanan(1998) 및 Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 Ca과 Mg은 근권부의 pH가 산성으로 변할 경우 불용화되어 흡수량이 감소하고, B, Fe, Mn 및 Cu가 가용화되어 흡수량이 증가하며, 본 연구에서 NH_4^+ 비율이 높았던 처리의 근권부 pH가 저하하고 식물체 무기원소 함량 변화

Table 4. Influence of various NO_3^-:NH_4^+ ratios in the fertilizer solution on the nutrient content based on the dry weight of the fully expanded mature leaves of 'Yeontaseok' hot pepper in pot cultivation 62 days after transplanting.

Treatment[z]	N	P	K	Ca	Mg	Na	B	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)						(mg·kg^{-1})				
A	3.41 c[y]	0.22 c	3.43 a	2.08 a	0.68 a	0.02 b	37.0 c	42 c	69 b	56 c	1.9 b
B	3.68 b	0.25 b	3.23 b	1.89 b	0.54 b	0.02 b	42.7 b	48 bc	77 b	81 a	2.0 b
C	3.97 a	0.27 ab	3.23 b	1.88 b	0.47 c	0.02 b	48.8 a	54 bc	121 a	71 b	2.3 ab
D	4.11 a	0.26 ab	3.07 b	1.29 c	0.35 d	0.02 b	43.5 b	62 b	105 a	60 c	2.3 ab
E	4.18 a	0.28 a	3.03 b	0.95 d	0.28 e	0.02 b	37.2 c	86 a	113 a	46 d	2.5 a
F	2.67 d	0.12 d	2.46 c	1.25 c	0.46 c	0.03 a	30.1 d	54 bc	37 c	54 cd	2.5 a

[z]NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen).
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple rage test at P = 0.05.

Table 5. Soil chemical properties of root substrates 62 days after transplanting of 'Yeontaseok' hot pepper in pot plant culture as influenced by various ratios of NO_3^-:NH_4^+ in fertilizer solution.

Treatment[z]	EC (dS·m^{-1})	pH	T-N	P	K	Ca	Mg	Na
			(%)					
A	0.33 c[y]	6.71 a	0.21 a	0.063 a	0.93 c	1.24 a	0.83 a	0.35 a
B	0.49 b	5.93 c	0.23 a	0.076 a	1.09 ab	1.19 ab	0.74 ab	0.31 a
C	0.64 a	5.10 d	0.26 a	0.076 a	1.17 a	1.14 abc	0.75 ab	0.25 b
D	0.73 a	4.53 e	0.26 a	0.070 a	1.16 b	1.09 abc	0.68 b	0.25 b
E	0.74 a	4.08 f	0.38 a	0.073 a	1.02 bc	1.01 bc	0.70 b	0.21 b
F	0.09 d	6.29 b	0.40 a	0.043 b	1.05 b	0.96 c	0.77 ab	0.35 a

[z]NO_3^-:NH_4^+ ratios in treatments: A, 100:0; B, 73:27; C, 50:50; D, 27:73; E, 0:100; F, 0:0 (no nitrogen).
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple rage test at P = 0.05.

의 중요한 원인이 되었다고 판단하였다

상토의 화학적 특성

고추를 62일간 재배한 후 상토의 화학적 특성을 분석하여 Table 5에 나타내었다. 재배 전 상토의 EC가 0.4dS·m^{-1}였지만 재배 후 질소 무시비구인 F의 EC는 0.09dS·m^{-1}로 측정되어 재배 전보다 뚜렷하게 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 비료를 공급하지 않고 지속적으로 지하수를 관수함으로써 상토 내 무기이온이 물과 함께 용탈되고 일부는 작물로 흡수되었기 때문으로 판단한다.

100% NO_3^-를 시비한 A 처리구의 EC가 0.33dS·m^{-1}로 재배 전보다 약간 낮아진 반면, 관비 용액의 NH_4^+ 비율이 높아질수록 EC가 상승하여 B, C, D 및 E 처리구가 각각 0.49, 0.64, 0.67 및 0.74dS·m^{-1}로 측정되었다. 이와 같이 관비용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율에 따른 처리간 EC의 차이가 발생한 것은 첫째로 상토의 양이온 흡착에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, NH_4^+은 양이온으로써 상토에 많이 흡착되지만 NO_3^-는 음이온으로써 상토의 양이온 교환부위에 흡착되지 못하고 포트의 배수공을 통해 쉽게 유실되었기 때문이라고 생각하며 Zhou(2006)도 유사한 보고를 한 바 있다. 또한 NO_3^-:NH_4^+ 비율을 조절한 관비용액 조제과정에서 NH_4^+의 상대 이온으로써 Cl^-을 선택함으로써 NH_4^+ 비율이 높은 처리들은 관비용액의 Cl 농도가 높아졌고, 이 용액들을 처리함으로써 결국 근권부의 EC가 높아진 또 다른 원인이 되었다고 생각한다.

재배 전 1:5(v/v) 방법으로 측정한 상토의 pH는 6.27였지만 62일간 재배 후 질소 무시비구인 F 처리만 6.29로 측정되어 재배 전과 차이를 보이지 않았다. 그러나 관비용액의 NH_4^+ 비율이 높아질수록 근권부 pH가 낮아졌으며 Marschner (1995) 및 Nelson(2003)이 보고한 바와 같이 양이온인 NH_4^+가 흡수될 때 뿌리로부터 H^+가 용출되고 음이온 NO_3^-가 흡수될 때 OH^-가 용출되는 것이 원인이 되었다고 사료된다.

근권부의 K 농도는 관비용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율이 50:50였던 C 처리를 기준으로 A와 B처리 그리고 D와 E 처리에서 유의하게 낮아졌다. C처리 보다 A와 B 처리에서 근권부 K^+ 농도가 낮았던 것은 식물생장량과 관련이 있다고 생각한다. Table 3에 나타낸 바와 같이 A 및 B 처리의 정식 62일 후 지상부 생체중과 건물중이 C 처리보다 무거웠다. 따라서 지상부 생장량이 증가함에 따라 흡비량이 증가하였고, 지상부 생장량이 적었던 처리보다 더 많은 양의 K^+를 흡수함으로써 근권부 K^+ 농도가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 NH_4^+ 시비 비율이 높고 지상부 생장량이 적었던 D 및 E 처리에서 C 처리보다 근권부 K^+ 농도가 낮았던 것은

양이온교환과 연관지어 판단할 수 있다. 즉, 상토의 양이온 교환부위에 흡착되어 있던 K^+을 NH_4^+가 치환시킴으로써 탈착된 후 근권부의 토양용액에 존재하는 K^+이 다음 관수 시 포트의 배수공을 통해 유출됨으로써 근권부의 K^+ 농도가 낮아진 원인이 되었다고 생각한다(Argo and Biernbaum, 1996; Yelanich and Biernbaum, 1990).

관비용액의 NH_4^+ 비율이 높아짐에 따라 근권부 Ca^{++} 및 Mg^{++} 농도가 낮아진 것은 상기한 바와 같이 토양 용액의 pH가 산성으로 변하고, 산성 pH에서 Ca^{++} 및 Mg^{++}의 불용화가 촉진된 것이 중요한 원인이라고 생각한다. 아울러 K^+에서 설명한 바와 같이 상토의 양이온교환부위에서 탈착된 Ca^{++} 및 Mg^{++}이 배수공을 통해 용탈된 것도 주요 원인이라고 판단한다.

초 록

시설하우스 내에서 포트재배 할 때 관비용액의 NO_3^-:NH_4^+ 비율이 고추(*Capsicum annuum* L.)의 지상부 생장과 수량에 미치는 영향을 구명함으로써 고추 재배를 위한 시비 프로그램 확립의 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다. 연구의 목적을 달성하기 위하여 NO_3^-:NH_4^+ 비율을 0:100(A), 27:73(B), 50:50(C), 73:27(D), 100:0(E)을 조절한 처리를 만들고, 무시비구(F)를 대조구로 삼아 총 6처리를 두어 실험하였다. 포트재배에서 정식 62일 후 생체중, 건물중 및 엽수는 NH_4^+를 100% 시비한 E 처리에서 감소하였으나 A, B, C 및 D 처리간에는 통계적 차이가 인정되지 않았다. 그러나 착과수는 A와 B에서, 생과중은 A에서 많거나 무거웠으며 C, D, E 처리 순으로 유의성 있게 감소하였다. 정식 62일 후 건물중을 기초로 한 고추 잎의 무기원소 함량을 분석한 결과 NH_4^+ 시비비율이 높을수록 식물체 N 및 P 함량이 증가하였다. 반면 NH_4^+ 비율이 높을수록 양이온인 K, Ca, Ng의 식물체 함량이 감소하였다. 그러나 미량원소 중 양이온인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체내 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 정식 62일 후 상토를 분석한 결과 NH_4^+ 비율이 높아질수록 EC는 상승하고 pH가 낮아졌다. NH_4^+ 비율이 높아질수록 근권부의 총 질소 농도가 높아지는 경향을 보였지만 처리간 차이가 뚜렷하지 않았고, Ca^{++} 및 Mg^{++} 농도가 유의하게 낮아졌다. 이상의 결과를 고려할 때 시설하우스 내 포트 재배에서 고추의 생산량 증가를 위한 관비용액의 적정 NO_3^-:NH_4^+ 비율은 73:27(B) 또는 100:0(A)이며, 영양생장을 위해서는 B, 생식생장을 위해서는 A와 유사하게 NO_3^-:NH_4^+ 비율을 조절하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

추가 주요어: 무기원소 흡수, 토양화학적 특성, 독성증상

인용문헌

Abbes C., L.E. Parent, A. Karam, and D. Isfan. 1995. Effect of NH_4^+:NO_3^- ratios on growth and nitrogen uptake by onions. Plant Soil 171:289-296.

Argo, W.R. and J.A. Biernbaum. 1996. The effect of lime, irrigation-water sources, and water soluble fertilizer on root-zone pH, electrical conductivity, and macronutrient management of container root media with impatience. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121: 442-452.

Bar-Tal, A., B. Aloni, L. Karni, and R. Rosenberg. 2001. Nitrogen nutrition of greenhouse pepper. II. Effects of nitrogen concentration and ratio on growth, transpiration, and nutrient uptake. HortScience 36:1252-1259.

Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. AS Press, St. Paul, Minn.

Britto, D.T. and H.J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. J. Plant Physiol. 159:567-584.

Choi, J.M., A. Latigui, and C.W. Lee. 2011. Growth and nutrient uptake responses of ‘Seolhyang’ strawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen in nutrient solution culture using inert media. African J. Biotech. 59:12567-12574.

David, M.S., J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel, and D.A. Zuberer. 2005. Principles and applications of soil microbiology. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

Fabrice, H., M. Garnica, A.M. Zamarreño, J.C. Yvin, and J. García-Mina. 2008. Possible mechanism of the nitrate action regulating free-putrescine accumulation in ammonium fed plants. Plant Sci. 175:731-739.

Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Univ. of Calif. Agri. Exp. Sta. Cirular 347.

Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Ikeda, H. 1997. Nutrient solution management of hydroponic culture - Nitrogen. J. Kor. Hydroponic Soc. 1:33-76.

Jeong, B.R. and O.Y. Kim. 1998. Nitrogen metabolism of plants. J. Kor. Hydroponic Soc. 5:24-42.

Korea Fertilizer Industry Association (KFIA). 2011. 2010 Statistics of fertilizer production and sales in Korea. http://www.fert-kfia.or.kr.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrient of higher plants. Academic Press, New York.

Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, NJ.

Rural Experiment Administration (RDA). 2003. The methods of plant and soil analysis. RDA, Suwon, Korea.

Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer, London, England.

Statistics Korea. 2011. 2010 Statistics in Korea agriculture, forestry, and fishery. http://www.kostat.go.kr.

Yelanich, M.V. and J.A. Biernbaum. 1990. Effect of fertilizer concentration and method of application on media nutrient content, nitrogen runoff and growth of *Euphorbia pulcherima* V-14 Glory. Acta Hort. 272:185-189.

Zhou, J.B., J.G. XI, Z.J. Chen, and S.X. LI. 2006. Leaching and transformation of nitrogen fertilizers in soil after application of N with irrigation: A soil column method. Pedosphere 16: 45-252.