

인산 시비농도가 잎들깨의 생육, 결핍증상 및 무기원소 함량에 미치는 영향

최종명^{1*} · 박종윤²

¹배재대학교 과학기술바이오대학, ²금산군 농업기술센터

Growth, Deficiency Symptom and Tissue Nutrient Contents of Leaf Perilla (*Perilla frutescens* Britt) Influenced by Phosphorus Concentrations in Fertigation Solution

Jong Myung Choi^{1*} and Jong Yoon Park²

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

²Gumsan Agricultural Development Technology Center, Chungnam 302-213, Korea

Abstract. This study was carried out to investigate the effect of phosphorus concentrations in fertilizer solution on growth and development of nutrient deficiency in leaf perilla (*Perilla frutescens*). The nutrient concentrations in above ground plant tissue, petiole sap and soil solution of root media were also determined. Phosphorus deficiency resulted in a slow growth, lustreless leaves, suffused purple tining in older leaves and falling prematurely. Elevation of P concentrations in fertilizer solution increased the crop growth at 75 days after transplanting. The fresh weight in 0, 0.5 and 4.0 mM treatments were 0.48 g, 9.28 g, and 25.5 g, respectively, and dry weights were 0.06 g, 1.46 g and 4.13 g, respectively. The P concentrations in above ground plant tissue and petiole sap in 4.0 mM treatment were 1.78% and 2.040 mg·kg⁻¹, respectively, at 75 days after transplanting. The soil P concentration in 4.0 mM treatment was 1.26 mg·kg⁻¹ when it was determined by the 1:2 (sample:water) method. These results indicated that P concentrations higher than 0.3% in above ground plant tissue, 900 mg·kg⁻¹ in petiole sap, and 0.57 mg·kg⁻¹ in soil solution should be maintained to ensure proper growth of leaf perilla (*Perilla frutescens*).

Key words : deficiency symptom, leaf perilla, phosphorus, tissue content

*Corresponding author

서 언

만약 시비가 부적절하여 생리 장애가 식물체에 나타날 경우 가시적인 증상 또는 식물체 분석결과를 기준으로 원인을 파악하는 경우가 많다(Bennett, 1993; Bould 등, 1983; Choi 등, 2000; Nelson, 2003). 그러나 동일한 무기원소가 결핍되어도 작물에 따라 발현되는 증상은 차이가 있다. 또한 식물체 분석결과를 기초로 무기원소 함량이 적절한지의 여부를 판단할 경우에도 선행 연구결과와 비교함으로써 결핍된 원소와 과잉된 원소를 판단하여야 하지만, 현재까지 잎들깨의 영양생리와 관련한 연구결과가 충분히 축적되지 않아 비

교 대상으로 삼기에 어려움이 있다.

최근까지 잎들깨의 인산 결핍 증상에 관해 보고된 연구결과가 없다. 그러나 Hall과 Schwartz(1993)는 콩, Jeong 등(2000)은 딸기 'Nyoho', Kim 등(2005)은 절화국화 'Biarritz', 그리고 Lee와 Choi(2005)는 오리엔탈 백합 'Casa Blanca'의 인산 결핍 증상을 보고하였다. 이들의 보고를 통해 인산 결핍증상은 노엽에서 발생하여 엽신이나 엽병이 자주색으로 변하는 특징이 나타나지만, 발현되는 부위에서 미세한 차이가 있으며 지상부 신장생장을 억제하는 정도는 작물에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다.

식물체의 인산함량에서 Kim(1994)은 잎들깨를 양액

인산 시비농도가 잎들깨의 생육, 결핍증상 및 무기원소 함량에 미치는 영향

Table 1. Composition of nutrient solution used to induce phosphorus deficiency symptoms.^z

P (mM)	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
	(mM)							
0.0	5	5	2	0	15	0	2	0
0.5	5	5	2	0.5	15	0.5	2	0
1.0	5	5	2	1.0	15	1.0	2	0
2.0	5	5	2	2.0	15	2.0	2	0
4.0	5	5	2	4.0	15	4.0	2	0

^zMicronutrients (in g per L solution): FeSO₄·4H₂O 0.937 g, MnCl₂·4H₂O 0.181 g, H₃BO₃ 0.286 g, ZnSO₄·7H₂O 0.022 g, CuSO₄·5H₂O 0.008 g, H₂MoO₄·H₂O 0.009 g.

재배하고 19일 후 지상부 인산 함량을 분석한 결과, 1.16~1.43%의 범위에 포함되었다고 보고하였고, Park 등(2002; 2003a; 2003b)은 잎들깨를 플러그 육묘하면서 파종 34일 후 지상부 전체의 인산함량을 분석한 결과 1.08~1.22%의 범위에 포함되었다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 Bould 등(1983)이 수 종류 화훼작물을 대상으로 보고한 내용이나, Bennett(1993)이 대부분의 작물에서 적합한 인산함량의 범위라고 보고한 내용과 비교할 때 잎들깨는 인산 요구도가 높은 작물이라고 판단되지만 정밀한 연구결과가 필요하다.

따라서 인산 농도를 조절한 양액으로 관비재배하면서 결핍증상을 인위적으로 유발시켜 증상의 특징을 밝히고, 시비농도에 따른 식물 생육반응, 결핍증상 발현 시기의 식물체내 무기원소 함량을 구명하여 잎들깨 재배를 위한 최적 영양조건의 기초자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

잎들깨(*Perilla frutescens* Britt.) ‘만추잎들깨’를 육묘용 시판상토(주) 농경)를 충진한 200구 플러그트레이에 파종하고, 발아실(온도 22±1°C, 습도는 80±1%)에 치상한 후, 자엽이 출현하는 시기인 stage 2에 재배온실로 옮겨 육묘하였다. 육묘기간 중 화아분화 억제제를 위하여 60w 백열전구를 플러그트레이 위에 높이 1m, 전구간격 2m로 설치하고 밤 12시부터 새벽 4시까지 광중단 처리를 하였다.

육묘된 묘를 본엽이 2매일 때 뿌리 부분을 물로 수세하여 상토를 완전히 제거하고 펠라이트 1호와 2호(주) 삼손)를 1:1(v/v)로 혼합한 상토에 정식하였다. 상토는 플라워박스(18×13×18cm)에 충진하였으며, 간격과 거

리를 조절하여 플라워박스 당 10주씩 정식하였다. 본 연구는 P의 시비농도를 조절하여 5처리를 두었고, 각 처리당 4반복 그리고 각 반복당 10식물체로 총 200주를 정식하였다.

정식 후 주간 25°C, 야간 8°C 이상으로 온도를 조절한 온실에서 재배하였고, 육묘에서와 동일한 방법으로 광중단 처리를 하였다. 정식 후 10일 동안은 2일 간격으로 증류수를 관수하여 토양 중에 잔존할 가능성이 있는 무기염을 용탈시키고, 식물체내의 무기원소 함량을 최대한 낮은 수준으로 유지하였다. 양액은 정식 10일 이후 부터 5일 간격으로 두상관수 방법으로 처리하였으며, 적정 토양수분을 유지하기 위하여 양액관수 후 3일째에 증류수로 1회 관수하였다.

각 처리별 양액은 탈이온수기를 사용하여 EC 0.007dS·m⁻¹ 이하인 물로 조제하였으며, Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 변화시켜 P를 0, 0.5, 1, 2, 4mM로 농도를 조절하였다(Table 1). 양액 조성 후 HCl 및 NaOH를 첨가하여 pH를 6.0으로 조절한 후 관수하였다(Table 1).

정식 75일 후에 마디수, 경장, 엽장, 엽폭, 줄기직경, 엽록소 함량, 지상부 생체중 및 지상부 건물중 등 생육조사를 하였다. 마디수는 수확엽 윗마디까지(정단부로부터 3번째 잎) 조사하였고, 줄기직경은 지제부 상단 1cm를 측정하였다. 지상부의 생체중을 측정 후 70°C 건조기에서 48시간 동안 건조한 후 무게를 측정하여 건물중으로 삼았다. 엽록소 함량은 정단부로부터 세 번째 잎을 Chlorophyll Meter로 측정하였다.

정식 75일 후에 지상부 식물체 전체를 수확하고 0.01N HCl 용액에 1분간 침지한 후 증류수로 수세하여 식물의 잎에 묻어 있는 이물질을 제거하였다. 이후 80°C의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 20mesh의

screen(0.9mm)에 통과되도록 분쇄하고 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 총질소(T-N) 함량을 분석하였다. 기타 무기원소 분석은 시료 0.5g에 Ternary solution ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4=10:1:4$) 10mL를 가한 후 200°C에서 20~30분 회화시키고, 회색으로 변한 시료를 여과지(No. 9)로 여과하였다. 다시 증류수를 첨가하여 100mL로 정량한 후 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer(ICP)로 K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu를 분석하였는데, 전반적인 분석방법은 농촌진흥청 방법(Rural Development Administration, 1988)에 준하였다.

엽병의 무기원소 농도를 분석하기 위하여 정식 75일 후에 조성된 양액을 관주하고 2시간 경과 후 엽병을 채취하였다. 채취한 엽병은 0.2N HCl 용액으로 세척한 후 증류수로 다시 수세하고 물기를 제거하였다. 생체시료 1g 당 증류수 5mL와 2N HCl 0.5mL를 유발에 담고 15분 간격으로 3회 마쇄하였고, 마쇄 후 부유물이 침전되도록 60분을 기다려 No. 2 여과지로 여과시키고, 그 용액을 분석에 이용하였다. 추출 분석 용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 흡광분석기를 사용한 비색정량 방법(Cataldo 등, 1975)으로, K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu는 ICP로 분석하였다.

정식 75일 후에 양액을 관주하고 2시간을 기다려 토양내의 용액이 화학평형에 도달하였다고 판단될 때 토양시료를 채취하였다. 채취한 시료를 풍건하고 증류수와 토양을 2:1로 조절하여(RDA, 1988) 추출하였으며, pH와 EC를 측정하였다. 추출용액의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 분석은 Chaney와 Marbach(1962)의 방법으로, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Cataldo 등(1975)의 방법으로, K, Ca, P 및 Mg는 ICP로 분석하였다.

본 연구에는 탈이온수기(Human Science Co, Water Purification System), Chlorophyll Meter(Minolta, Model SPAD-502), Kjeldahl oxidation and distillation unit(VELP Scientifica, Model UDK 132), ICP(Thermo Elemental TraceScan), 흡광분석기(Shimadzu, Model UV-1700), pH meter(Orion, model 520-A)와 EC meter(Orion, model 162)가 사용되었다.

인산 시비농도가 식물의 생육과 무기물 함량 및 토양 무기원소 농도에 미치는 영향은 각 원소내의 처리별 Duncan의 다중검정과 회귀분석을 하였다. 회귀분석은 다항회귀분석을 통해 얻어진 1~3차항 회귀선중 최



Fig. 1. Differences in crop growth of leaf perilla at 75 days after transplanting as influenced by elevated phosphorus concentrations in the fertilizer solution The P concentrations from left to right: 0, 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 mM. Phosphorus deficiency resulted in slow growth, lustreless leaves, suffused purple tining in older leaves.

적예측 회귀함수를 결정하기 위해 R square 값과 Incremental F 값이 큰 회귀식을 적용 판단하였다. 통계분석은 CoStat 프로그램(Monterey, California)으로 수행하였다.

결과 및 고찰

Fig. 1에는 인산 시비농도를 변화시켜 잎들깨를 관비재배하고, 정식 75일 후의 지상부 생육상태를 나타내었다. 인산 무시비구와 시비농도 0.5mM 처리구에서 생육이 심하게 억제되었으며, 특히 인산 무시비구의 경우 지상부가 거의 성장하지 않았다. 외관상 발현하는 증상은 인산 0 및 0.5mM 시비구에서 나타났다. 인산 결핍증상은 전체 지상부 생육이 심하게 억제되고, 노엽에서 초기증상이 발현되었다. 엽신과 엽병이 자주색을 띄었으며, 발현부위가 점차 갈변하고 괴사하는 특징이 나타났다.

초기 증상이 노엽에서 발생하고 자주색으로 변하는 것은 Jeong 등(2000)이 딸기를 대상으로 수행한 연구, Kim 등(2005)이 절화국화 'Biarritz'를 대상으로 한 실험 결과와 유사한 경향이다. 잎들깨의 경우 인산이 결핍된 상황에서 지상부 생육이 심하게 억제되었으나, 딸기, 국화, 오리엔탈 백합(Lee와 Choi, 2005) 등에서는 생육억제 현상이 심하게 나타나지 않았다고 보고하였으며 본 연구결과와 차이가 있었다.

Table 2에는 인산 시비농도를 조절하여 잎들깨를 재배하고 정식 75일 후 지상부 생육을 조사한 결과를 나타내었다. 인산 무시비구에서 엽장이 2.73cm였고 엽폭이 2.33cm였으나 인산 시비농도가 높아짐에 따라 엽장 및 엽폭이 직선적으로 증가하여 4.0mM 인산 시비구에서 각각 13.4 및 12.8cm로 조사되었다. 또한

인산 시비농도가 잎들깨의 생육, 결핍증상 및 무기원소 함량에 미치는 영향

Table 2. Influence of elevated phosphorus concentration in fertilizer solution on growth characteristics of leaf perilla at 75 days after transplanting.

P (mM)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Plant height (cm)	Number of node	Chorophyll content (SPAD value)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0.0	2.7 e ^z	2.3 e	2.18 e	3.5 e	2 c	22.9 c	0.5 d	0.06 d
0.5	9.1 d	8.7 d	4.32 d	9.9 d	4 b	35.4 a	9.3 c	1.46 c
1.0	12.1 c	11.8 c	6.28 b	19.5 c	5 a	36.7 a	18.8 b	3.26 b
2.0	13.2 b	12.4 b	6.10 c	22.5 b	5 a	31.9 b	22.8 a	3.92 a
4.0	13.4 a	12.8 a	6.61 a	24.6 a	5 a	32.8 b	25.5 a	4.13 ab
Regression ^y	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	NS	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}

^zMeans followed by different letters are significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test.

^yQ, **, and NS are quadratic, significant at $P \leq 0.001$, or nonsignificant, respectively.

Table 3. Influence of elevated phosphorus concentrations in fertilizer solution on tissue nutrient contents of leaf perilla based on whole above ground plant tissue at 75 days after transplanting.

P (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) ----- ----- (mg · kg ⁻¹) -----								
0.0	1.85 a ^z	0.06 e	2.78 a	2.85 a	0.88 a	343 a	447 a	189 a	42.9 a
0.5	1.77 a	0.17 d	2.30 b	2.75 a	0.87 a	222 b	178 b	107 b	24.8 c
1.0	1.18 b	0.23 c	1.66 c	1.84 b	0.63 b	236 b	121 b	66 c	19.0 d
2.0	1.15 b	0.32 b	1.63 c	2.08 b	0.63 b	215 b	146 b	58 c	24.6 c
4.0	1.21 b	0.44 a	1.78 c	1.96 b	0.65 b	255 b	164 b	57 c	32.2 b
Regression ^y	NS	Q ^{***}	Q ^{**}	Q ^{**}	Q ^{**}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}

^zMeans followed by different letters are significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test.

^yQ, **, and NS are quadratic, significant at $P \leq 0.01$ and 0.001 , or nonsignificant, respectively.

인산 시비농도가 증가할수록 줄기직경 및 경장도 증가하여 인산시비 농도가 잎들깨의 생육에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 인산 무시비구의 생체중이 식물체당 0.48g였으나 0.5mM 시비구에서 9.28g, 그리고 4.0mM 시비구에서 25.5g으로, 건물중은 각각 0.06g, 1.46g 및 4.13g으로 조사되었다. 인산 시비농도에 대한 생체중 및 건물중은 곡선적으로 증가하여 0.1% 수준의 2차곡선회귀가 성립하였다.

Table 3에는 정식 75일 후 잎들깨 지상부를 수확하여 건물중에 기초한 무기원소 함량을 분석하여 그 결과를 나타내었다. 관비용액의 인산 시비농도를 증가시켜도 식물체내 질소함량은 차이가 없었다. 그러나 인산 시비 농도가 증가할수록 지상부 전체를 대상으로 분석한 식물체의 인산함량도 증가하여 0mM 시비구가 0.06%, 1.0mM 시비구 0.23%, 그리고 4.0mM 시비구가 0.44%의 함량이었다. Bennett(1993)가 주장한 바와 같이 최대 건물중을 생산한 처리의 90% 건물중을 상업용 재배를 위한 최저 한계점으로 판단하고, 이

때의 인산함량을 상업용 재배를 위한 식물체내 인산함량의 최저한계선으로 판단하면 약 0.3%에 해당한다. 따라서 잎들깨 재배에서 지상부 전체의 건물중에 기초한 인산함량이 0.3% 이상이 되도록 시비농도를 조절하여야만 수량감소를 방지할 수 있다고 판단하였다.

이와 같은 식물체내 함량은 Kim(1994)이 3.0 mg · L⁻¹로 조절한 인산용액에서 잎들깨를 양액재배한 결과 파종 19일 후 1.16~1.43%의 인산함량을 보였고 보고한 내용과 Park 등(2002; 2003a; 2003b)이 잎들깨를 플러그 육묘하면서 파종 34일 후 지상부 전체의 인산함량이 1.08~1.22%의 범위에 포함되었다고 보고한 내용보다 매우 낮은 식물체 내 함량이다. 그러나 Bould 등(1983)은 수 종류 화훼작물에서 인산함량을 분석한 결과 작물에 따라 최저한계점이 0.28%부터 1.07%까지 다양하게 분석되었다고 보고하였고, Bennet(1993)은 대부분의 작물에서 0.2~0.5%의 범위가 정상생육을 위한 식물체내 적정 인산함량의 범위이며, 0.2% 이하는 결핍증상이 발현되는 범위라고 보고

Table 4. Influence of elevated phosphorus concentration in fertilizer solution on nutrient concentrations in petiole sap of leaf perilla at 75 days after transplanting.

P (mM)	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(mg·kg ⁻¹)								
0.0	486 c ^z	19 e	610 e	1110 d	717 d	5.1 e	17.1 e	7.4 e	1.68 e
0.5	1920 a	114 d	12107 a	1788 a	1962 c	23.3 a	48.6 b	53.0 a	3.46 a
1.0	3963 b	218 c	10354 b	1751 c	2013 a	15.6 b	44.0 d	28.1 b	2.87 d
2.0	1897 c	914 b	8623 d	1771 b	1988 b	15.3 c	55.9 a	26.9 c	3.05 c
4.0	1759 c	2040 a	9696 c	1765 b	1968 c	11.9 d	47.6 c	23.4 d	3.20 b
Regression ^y	NS	Q ^{***}	Q ^{**}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{**}	Q ^{***}	NS	Q ^{***}

^zMeans followed by different letters are significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test.

^yQ, **, ***, and NS are quadratic, significant at $P \leq 0.01$ and 0.001 , or nonsignificant, respectively.

하였다. 또한 Bould 등(1983)과 Bennett(1993)은 보편적으로 어린식물의 인산함량이 높고 식물체가 성장할수록 인산함량이 낮아진다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서의 적정 인산함량이 Kim(1994) 또는 Park 등(2002; 2003a; 2003b)이 보고한 내용보다 낮았던 원인은 식물이 성장함에 따라 지상부 건물중이 증가하므로써 희석효과가 발생하여 상대적으로 낮은 식물체내 인산함량에서 적정 영역이 형성되었다고 판단되었다.

K, Ca 및 Mg 함량은 인산 무시비구나 0.5mM 시비구의 식물체내 함량이 1.0mM 시비구 보다 높았고, 인산 시비농도를 4.0mM로 높인 처리에서 1.0이나 2.0mM 인산 시비구보다 높아지는 경향이였으며, 3가지 원소 모두 0.1% 수준의 곡선회귀가 성립하였다. 저 농도 인산 시비구에서 3 종류 원소의 식물체내 함량이 높았던 것은 동일한 시비농도를 적용했음에도 불구하고 식물생장량이 적었기 때문이라고 생각된다. 즉 1.0 또는 2.0mM 인산 시비구에서 식물생장량이 급격히 증가함에 따라 희석효과가 발생하여 식물체내 함량이 낮아졌다고 사료되며 Marschner(1995)도 유사한 보고를 한 바 있다.

인산 시비농도가 증가함에 따라 미량원소인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체내 함량이 감소하는 경향을 보였으며, 그 원인은 다음과 같이 판단할 수 있다. 첫째는 이미 앞에서 설명한 바와 같이 식물 성장량이 증가함에 따라 희석효과가 발생하였기 때문이다. 둘째 가능성은 Hanan(1998)이 보고한 바와 같이 토양용액의 pH가 상승함에 따라(Table 5) 불용화되는 양이 증가하고, 식물체 흡수량 저하의 원인이 되었다고 생각한다. 세번째의 가능성은 Marschner(1995)가 보고한 내용과 같이, 토양용액중 인산이 금속원소와 결합하여 침

전되므로써 금속원소의 흡수량을 저하시켰을 가능성이 다. 그들은 가용성 인산이 Fe, Mn, Zn 및 Cu 등 2가 금속원소와 결합하여 금속원소의 불용화를 촉진시킨다고 보고한 바 있다.

Table 4에는 앞들께 정식 75일 후 인산 시비농도에 영향을 받은 엽병추출액의 무기원소 농도를 분석하여 나타내었다. 엽병추출액의 NO₃-N 농도는 0.5mM 인산 시비구에서 1,920mg·L⁻¹으로 분석되었으나 인산의 시비농도가 증가할수록 NO₃-N 농도가 뚜렷하게 낮아져 4.0mM 인산 시비구에서 1,759mg·L⁻¹으로 분석되었다. 그러나 각 처리의 반복 간 차이가 커 1.0과 2.0mM 그리고 2.0과 4.0mM 인산 시비구에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다.

0, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0mM 인산 시비구에서 생체중은 0.48, 9.28, 18.8, 22.8 및 25.5g으로 조사되었고(Table 2), 엽병추출액속의 인산농도가 19.4, 114, 218, 914 및 2,040mg·kg⁻¹로 분석되었다. 최대 생체중을 생산한 4.0mM 인산 시비구의 생체중이 25.5g 이고 엽병추출액의 인산농도가 2040mg·kg⁻¹였는데, 최대 생체중의 90%에 해당하는 22.98g을 상업용 재배를 위한 최저 한계점으로 설정할 경우(Bennett, 1993), 엽병 추출액 내 인산농도는 약 900mg·kg⁻¹이 된다. 따라서 상업용 재배에서 수량감소를 피하기 위해서는 엽병 추출액의 인산농도가 900mg·kg⁻¹ 이상이 되도록 시비량을 조절해야 할 것으로 판단되었다.

엽병 추출액의 K 농도도 뚜렷하게 감소하여 처리간 차이가 인정되었고, 1% 수준으로 2차 곡선회귀가 성립하였다. 칼륨 농도가 낮아지는 것은 인산 시비수준이 높아짐에 따라 성장량이 증가하고 희석효과가 발생하여 농도가 낮아졌다고 사료되나 추후 정밀한 보완연구

Table 5. The results of soil solution analysis at 75 days after transplanting as influenced by elevated phosphorus concentrations in fertilizer solution.

P (mM)	pH	EC	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
		(dS·m ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)				
0.0	5.70 d ^c	0.275 a	145.6 a	0.18 d	23.9 a	30.8 a	9.25 a
0.5	6.33 c	0.241 b	98.2 b	0.19 d	13.7 b	29.0 c	8.62 b
1.0	6.70 b	0.211 c	46.4 c	0.31 c	6.8 c	29.9 b	6.32 c
2.0	6.83 a	0.179 d	28.8 d	0.63 b	4.1 d	22.6 e	4.51 d
4.0	6.77 ab	0.164 e	26.6 d	1.26 a	3.7 d	23.2 d	4.47 d
Regression ^y	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	L ^{***}	Q ^{***}

^yMeans followed by different letters are significantly different at 5% level according to Duncan's multiple range test.

^yL, Q, and *** are linear, quadratic, significant at $P \leq 0.001$, respectively.

가 필요하다고 판단된다. Ca과 Mg 농도는 인산 0mM 시비구를 제외하고 처리간 차이가 뚜렷하지 않아 통계적인 차이가 인정되지 않았으며, 적합한 직선 및 2차곡선회귀도 성립하지 않아 일정한 경향을 발견할 수 없었다. 미량원소 농도는 Mn과 Cu의 경우 경향을 발견할 수 없었으나 인산 시비농도가 증가할수록 엽병추출액의 Fe와 Zn 농도가 감소하는 경향이었는데 Table 3에서 설명한 것과 동일한 원인으로 판단된다.

Table 5에는 정식 75일 후 토양용액을 추출하여 화학성을 분석하고 그 결과를 나타내었다. 인산 시비농도가 증가함에 따라 토양용액의 pH가 상승하였으며, Marschner(1995)가 보고한 바와 같이 음이온 흡수과정에서 뿌리로부터 용출되는 OH⁻이온이 원인이 되었다고 생각한다. 인산 시비농도가 증가하여도 토양 용액의 전기전도도는 낮아지는 경향이였다. 이와 같은 현상이 발생한 원인은 인산 시비농도를 0mM 시비구로부터 4mM 시비구까지 높여도 토양 용액의 전기전도도에 미치는 영향이 적었으며, 상대적으로 식물생장량이 증가하므로써 토양 용액으로부터 흡수하는 무기원소의 양이 증가하고 토양용액에 잔존하는 무기원소의 양이 적어졌기 때문이라고 판단된다. 이러한 상황을 반영하듯 인산 시비농도가 높아짐에 따라 인산을 제외한 분석한 다량원소의 토양용액중 농도가 급격히 낮아졌다.

인산 시비농도를 0, 0.5, 1.0, 2.0 및 4.0mM로 조절된 처리에서 토양용액의 인산농도는 0.18, 0.19, 0.31, 0.63 및 1.26mg·L⁻¹로 분석되었다. 따라서 최대 건물중인 4.13g의 90%에 해당하는 3.72g을 상업 농재배에서 수량감소를 방지할 수 있는 최저한계점으로 판단할 경우(Bennett, 1993), 이때의 토양 인산농도는 약 0.57mg·L⁻¹에 해당한다. 그러므로 1:2 추출

법으로 분석한 토양용액의 인산농도가 0.57mg·L⁻¹ 이상을 유지하도록 시비농도를 조절하여야 수량감소를 방지할 수 있다고 판단하였다.

각 원소 별 인산 시비농도에 따른 처리 간 Duncan 다중검정 결과 결과 5% 수준의 차이가 인정되었고, 회귀분석 결과 Ca는 직선적으로, 나머지 원소들은 2차 곡선적으로 감소하였다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. 인산 결핍증상은 노엽에서 발생하여 엽신과 엽병이 자주색을 띄고 갈변 후 괴사하였다. 4.0mM 시비구의 생체중 및 건물중이 가장 무거웠으며, 수량 감소를 방지하기 위해서는 건물중 기준으로 0.3%, 엽병즙액 기준으로 900 mg·kg⁻¹ 이상, 1:2 방법으로 추출한 토양 용액 기준으로 0.57mg·kg⁻¹ 이상의 토양 농도를 유지하도록 시비해야할 것으로 판단하였다.

적 요

시비농도를 인위적으로 조절하여 잎들깨를 관비재배 하면서 인산의 시비수준이 생장과 결핍증상 발현에 미치는 영향을 구명하고, 생육을 우수하게 유지할 수 있는 식물체 및 토양의 한계농도를 밝히기 위하여 본 연구를 수행하였다. 인산이 결핍될 경우 전체 지상부 생육이 심하게 억제되었으며, 노엽에서 초기증상이 발현되고, 엽병과 엽신이 자주색을 띄는 특징을 보였다. 증상이 나타난 부위는 점차 갈변하고 괴사하였다. 본 연구의 인산 시비수준 내에서는 농도가 높아질수록 식물 생육이 증가하여 0, 0.5 및 4.0mM 시비구에서 생체중이 각각 0.48g, 9.28g 및 25.5g 였고, 건물중이 0.06g, 1.46g 및 4.13g으로 조사되었다. 생육이 가장

우수하였던 4.0mM 처리에서 지상부 인산함량과 엽병 추출액의 인산 농도가 1.78% 및 2,040mg·kg⁻¹였고, 이 보다 10% 낮은 식물 생육을 최저 한계점으로 판단한다면 각각 0.3% 및 900mg·kg⁻¹ 이상의 인산 농도를 유지하도록 시비해야 한다고 판단하였다. 정식 65일 후 인산 4.0mM 처리의 토양 인산 농도가 1.26mg·L⁻¹였으며, 이 또한 수량감소를 방지하기 위해 0.57mg·L⁻¹ 이상의 토양 농도를 유지하도록 시비해야 할 것으로 판단하였다.

주제어 : 결핍증상, 식물체 무기원소 함량, 인산농도, 잎들개

인 용 문 헌

- Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. AS Press, St. Paul, Minn.
- Bould, C., E.J. Hewitt, and P. Needham. 1983. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 1. Principles. Her Majesty Stationery Office, London.
- Cataldo, D.A., M. Haren, 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.
- Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chem. 8:130-132.
- Choi, J.M., S.K. Jeong, K.H. Cha, H.J. Chung, and K.S. Seo. 2000. Deficiency symptom, growth characteristics, and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry as affected by controlled nitrogen concentration in fertilizer solution. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:339-344.
- Hall, R. and H.F. Schwarz. 1993. Common bean, p. 143-148. In: W.F Bennett(ed.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Univ. of Calif. Agri. Exp. Sta. Circular 347.
- Jeong, S.K., J.M. Choi, K.H. Cha, H.J. Chung, and K.S. Seo. 2000. Deficiency symptom, growth characteristics, and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry as affected by controlled phosphorus concentrations in fertilizer solution. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:345-349.
- Kim, J.H. 1994. Studies on the absorption characteristics of nutrients to develop a hydroponic solution for leaf production of Perilla(*Perilla ocymoides* L.). PhD. Diss., Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea.
- Kim, J.M., J.M. Choi, H.J. Chung, and Y.G. Choi. 2005. Effect of phosphorus concentration in fertigation solution on growth and nutrient uptake of cut chrysanthemum 'Biarritz'. J. Kor. Flower Res. Soc. 13:152-160.
- Lee, K.H. and J.M. Choi. 2005. Effect of phosphorus concentrations in fertilizer solution on growth of and nutrient uptake by Oriental hybrid lily 'Casa Blanca'. Acta Hort. 673:761-768.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, USA.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
- Park, J.Y. 2002. Effects of application time, concentration and leaching percentage of controlled fertilizer solution on growth and mineral contents of *Perilla frutescens* in plug system. MS Diss., Pai Chai Univ., Daejeon, Korea.
- Park, J.Y., J.M. Choi, and W.M. Yoon. 2003a. Effect of nutrient concentrations and leaching percentage on growth and nutrient uptake by *Perilla frutescens* var. japonica in plug culture. J. of Natural Sci. Pai Chai Univ. 13:83-96.
- Park, J.Y., J.M. Choi, and W.M. Yoon. 2003b. Effect of leaching percentage and fertilizer concentrations on growth and nutrient content of *Perilla frutescens* var. japonica in plug culture with peatmoss containing medium. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:177-181.
- Rural Development Administration, 1988. Soil chemical analysis. Suweon, Korea.