

칼륨 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) as Influenced by Potassium Concentrations in the 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 potassium concentrations in fertigation solution on growth and development of nutrient deficiency symptoms of leaf perilla (*Perilla frutescens*). The nutrient concentrations in above ground plant tissue, petiole sap and soil solution of root media were also determined. Potassium deficiency symptoms developed in older leaves with marginal necrosis. The brown areas on the lower leaves enlarged rapidly and the margins became scorched. Elevation of K concentrations in the fertigation solution up to 8 mM increased the crop growth in leaf length, stem thickness, and fresh and dry matter production of above ground plant tissue. However, that decreased the chlorophyll contents. The 8.0 mM K treatment which showed the greatest growth had 5.01 g in dry weight and 2.76% in K content of above ground plant tissue, suggesting that maintaining K content higher than 1.7% is necessary for good growth of *Perilla frutescens*. The K concentrations in petiole sap and soil solution of 8.0 mM treatment were 12,289 mg·kg⁻¹ and 11.65 mg·L⁻¹, respectively. These indicated that K fertilization to maintain higher than 8,700 mg·kg⁻¹ in petiole sap and 4.5 mg·L⁻¹ in soil solution are necessary to ensure good crop growth.

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

*Corresponding author

서 언

무기원소에 의한 생리장해가 발생할 때 정확한 진단을 위해서는 먼저 정단부의 신엽과 기부 노엽 등 어느 부위에서 발현되는지를 판단해야 한다(Styer와 Koranski, 1997). 다음에는 엽전체의 황화, 엽맥간 황화, 잎 가장자리의 괴사 등 독특하게 발생하는 증상을 근거로 결핍된 원소를 판단해야 한다(Bennett, 1993; Bould 등, 1983; Hanan, 1998; 및 Nelson, 2003).

Bould 등(1983)은 겨자나 콩에서 칼륨이 결핍될 경우 줄기의 절간이 짧아진다고 하였다. Nelson(2003)은 포인세티아 등에서 칼륨이 결핍될 경우 노엽의 가장자

리에 작은 반점이 생긴 후 결핍증상이 진행될수록 점차 반점이 커지며, 심하면 반점부위가 괴사한 후 탈락한다고 보고하였다. 또한 가장 오래된 노엽에서 결핍증상이 발현된 후 K 결핍이 심해지면서 증상이 상위 잎으로 확산된다고 하였다. 이 외에 Choi 등(2000)은 딸기에서 엽병과 엽신이 맞닿는 부위가 갈변하고, Kim 등(2005)은 절화국화 'Biarritz'의 노엽 선단부가 황화되는 현상이 칼륨이 결핍될 때 발생한다고 설명하였다. 이상과 같이 K 결핍증상은 모두 노엽에서 초기 증상이 나타나지만, 작물에 따라 발현되는 증상에 차이가 있음을 알 수 있고, 잎들깨에서도 작물 자체의 독특한 칼륨 결핍 증상이 나타날 수 있음을 유추할 수

있다.

Park 등(2002; 2003a; 2003b)은 혼합상토를 이용한 잎들깨의 플러그묘에서 파종 34일 후 지상부 전체를 분석한 결과 K 함량이 2.51~4.20%의 범위에 포함되었다고 보고하였다. 그러나 Kim(1994)는 잎들깨의 K 함량이 2.61~4.47% 범위에서 정상 생육을 하였고, 0.80% 이하에서 생육이 억제되었다고 보고하였다. Saikoku와 Sanho(1995)는 장미, 카네이션 및 거베라 노엽의 엽병추출액을 기준으로 판단할 때 각각 3,000~4,500, 3,500~5,000, 그리고 3,000~6,000 mg·kg⁻¹이 적정 범위라고 보고하였다.

Bennett(1993)와 Bould 등(1983)은 대부분 작물의 정상생육을 위해 각각 1.0~5.0% 및 1.0~6.0%의 식물체내 칼륨 함량을 가져야 한다고 보고하였다. Nelson(2003)은 장미, 카네이션, 국화, 포인세티아 및 체라니움에서 1.8, 3.0, 3.5, 1.0 및 0.6% 이상의 식물체내 칼륨 함량에서 정상 생육이 가능하다고 보고하였다.

이상과 같이 보고자, 작물, 그리고 분석 부위에 따라 적절한 식물체내 칼륨 함량이 다르며, 진단 기준을 확립하기 위해서는 식물체의 K 함량과 생장량과의 관계를 정확하게 구명하기 위한 연구가 필요하나, 관련 연구가 충분히 수행되지 않았다.

따라서 칼륨의 시비농도를 조절하여 잎들깨를 관비 재배하면서 결핍증상을 인위적으로 유발하여 그 증상의 특징을 밝히고, 시비농도에 따른 식물 생육 반응, 결핍증상 발현시기의 식물체내 무기원소 함량을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

육묘용 시판상토[(주) 농경]로 충전한 200구 플러그

트레이에 잎들깨(*Perilla frutescens* Britt.) ‘만추잎들깨’를 파종하였고, 발아실에 치상한 후 자엽이 출현하는 시기인 stage 2부터 재배온실로 옮겨 육묘하였다. 육묘 기간 동안 화이분화를 억제하기 위하여 60w 백열전구를 잎들깨 플러그트레이로 부터 높이 1m, 전구간격 2m로 설치하고 밤 12시부터 새벽 4시까지 광중단 처리를 하였다.

20일간 육묘하여 본엽이 2매 이상인 잎들깨의 뿌리부분을 물로 수세하여 상태를 완전히 제거하고, 펄라이트 1호와 2호[(주) 삼손]를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 충전한 플라워박스(18cm×13cm×18cm)에 정식하였다. 간격과 거리를 조절하여 플라워박스 당 10주씩 정식하였는데, K의 농도를 조절하여 5처리를 두었고, 각 처리 당 4반복 그리고 각 반복 당 10식물체로 총 200주를 정식하였다. 정식 후 주간 25, 야간 8 이상으로 온도를 조절한 유리온실로 옮겨 재배하였으며, 재배기간 중에도 육묘와 동일한 방법으로 광중단 처리를 하였다.

잎들깨 정식 후 10일 동안은 2일 간격으로 증류수를 관수하여 토양 중에 잔존할 가능성이 있는 무기염을 용탈시키고, 10일 후부터 조성된 양액을 관주하였다. 양액은 탈이온수기로 걸러 EC가 0.007dS·m⁻¹ 이하가 된 물로 조제하였는데, Hoagland 용액(Hoagland와 Aron, 1950)을 변화시켜 K이 0, 2, 4, 6, 8mM이 되도록 농도를 조절하였다(Table 1). 양액조성 후 HCl 또는 NaOH를 첨가하여 pH를 6.0으로 조절한 후 관주하였다. 양액은 5일 간격으로 두상관수 방법으로 처리하였으며, 적정 토양수분을 유지하기 위하여 양액관주 후 3일째에 증류수로 1회 관수하였다.

정식한 날로부터 75일째에 마디수, 경장, 엽장, 엽폭, 줄기직경, 엽록소 함량, 지상부 생체중 및 지상부 건물중 등 생육조사를 하였다. 마디수는 수확엽(정단부로부터

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

K (mM)	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
	(mM)							
0	0	5	2	6	15	1	2	0
2	2	5	2	4	15	1	2	0
4	4	5	2	2	15	1	2	0
6	6	5	2	1	15	1	2	1.0
8	8	5	2	1	15	1	2	3.0

^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, and H₂MoO₄·H₂O 0.009 g.

터 세 번째 잎) 윗마디까지 조사하였고, 줄기직경은 지체부 상단 1cm를 측정하였다. 지상부의 생체중을 측정한 후 80°C 건조기에서 48시간 동안 건조한 후 무게를 측정하여 건물중으로 삼았다. 엽록소 함량은 정단부로부터 세 번째 잎을 chlorophyll Meter(Model SPAD-502, Minolta)로 측정하였다.

건물중에 기초한 식물체 분석을 위해 정식 75일 후에 지상부 식물체 전체를 수확하였고, 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 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 전질소(T-N)함량을 분석하였다. 또한 분쇄된 시료 0.5g에 Ternary solution($HNO_3 : H_2SO_4 : HClO_4 = 10 : 1 : 4$) 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.

칼륨 시비농도가 엽병의 무기원소 농도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 정식 후 75일에 조성된 양액을 관주하고 2시간 경과 후 수확일의 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 15분간격으로 3회 마쇄하였다. 마쇄 후 60분을 기다려 부유물이 침전된 후 No. 2 여과지로 여과 시키고, 그 용액을 분석에 이용하였다.

추출 용액의 NO_3-N 농도는 흡광분석기를 사용한 비색정량 방법(Cataldo 등, 1975)으로 분석하였고, K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu는 ICP로 분석하였다.

토양분석을 위해 정식 75일 후 양액을 관주하고 2시간을 기다려 토양내의 용액이 화학평형에 도달하였다고 판단될 때 토양시료를 채취하였다. 채취한 시료를 풍건하고 증류수와 토양을 2:1로 조절하여(RDA, 1988) 추출하였으며, 추출 후 pH와 EC를 측정하였다. 추출한 토양용액의 NH_4-N 분석은 Chaney와 Marbach (1962)의 방법으로, NO_3-N 은 Cataldo 등(1975)의 방

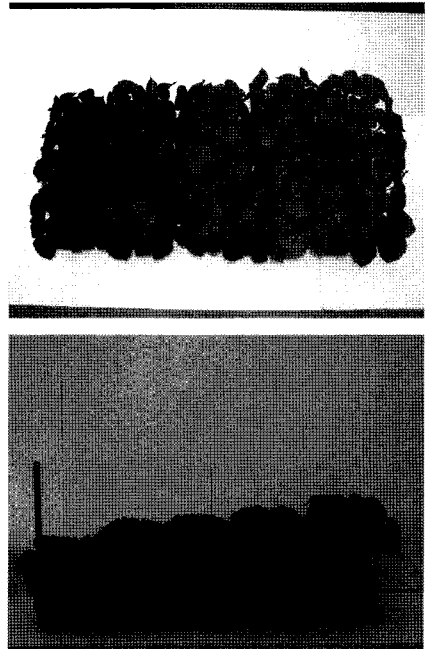


Fig. 1. Differences in crop growth of leaf perilla at 75 days after transplanting as influenced by elevated potassium concentrations in the fertilizer solution. The K concentrations from left to right: 0, 1.5, 3, 4.5 and 6 mM.

법으로, K, Ca, P 및 Mg는 추출한 토양용액을 ICP로 분석하였다.

본 연구를 위해 사용된 기자재는 탈이온수기(Water Purification System, Human Science Co), Kjeldahl oxidation and distillation unit(Model UDK 132, VELP Scientifica), ICP(Thermo Elemental Trace-Scan), 흡광분석기(Model UV-1700, Shimadzu), pH meter(model 520-A, Orion)와 EC meter(model 162, Orion)였다.

칼륨 시비농도가 식물의 생육, 무기물 함량 및 토양 무기원소 농도에 미치는 영향은 각 처리별 Duncan의 다중검정과 회귀분석을 하였다. 회귀분석은 다항회귀분석을 통해 얻어진 1~3차항 회귀선중 최적예측 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 관비용액의 K농도에 영향 받은 정식 75

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

K (mM)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Plant height (cm)	Number of nodes	Chorophyll content (SPAD value)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0	11.6 e ^z	11.1 d	5.19 e	14.9 d	5 a	35.9 a	17.3 c	2.81 b
2	12.3 d	12.1 c	5.70 d	21.1 c	5 a	34.6 ab	20.4 bc	3.95 ab
4	12.9 c	12.2 c	6.28 c	23.6 b	5 a	33.8 b	23.9 ab	4.21 a
6	13.9 b	12.9 b	6.78 b	26.0 a	5 a	32.7 b	24.7 ab	4.67 ab
8	14.4 a	13.2 a	7.49 a	26.4 a	5 a	29.0 c	28.3 a	5.01 a
Regression ^y	Q ^{***}	L ^{***}	Q ^{***}	Q ^{***}	NS	L ^{***}	Q ^{***}	Q ^{**}

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

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

일 후의 지상부 생육을 나타내었으며, Fig. 2에는 K이 결핍될 때 잎들깨에서 발현되는 결핍증상을 나타내었다. K이 결핍되면 잎의 크기가 작아지고, 지상부 생장이 위축되어 정상적인 생육을 하지 못하였다. 그러나 생장이 억제됨에도 불구하고, 질소나 인산이 결핍된 상황과 비교할 때 그 정도는 크지 않았다. K 결핍증상은 최초로 노엽에서 발현되었다. 결핍증상 발현 초기에는 노엽의 가장자리가 황변하고, 점차 황변된 부위가 갈색으로 변화하였으며, 갈변 후 말라들어가 괴사하였다. 증상이 심화되면 노엽의 가장자리에서 시작된 결핍 증상이 노엽 안쪽의 엽신과 엽맥으로 그 증상이 확산되면서 괴사하는 면적이 증가하였다.

노엽에서 결핍증상이 발현되는 것은 Bould 등 (1983)의 십자화과 식물연구, Choi 등(2000)의 딸기를 대상으로 한 연구, Kim 등(2005)의 절화국화를 대상으로 한 연구, 그리고 Nelson(2003)이 대부분의 화훼 작물에서 발생하는 K 증상을 설명한 보고의 내용과 일치하는 경향이였다. 그러나 Nelson(2003)은 포인세티아나 국화 등에서 K이 결핍될 경우 초기에 노엽 가장자리에 반점형태의 증상이 나타난다고 보고하였으나 잎들깨에서는 반점 형태의 증상이 나타나지 않았다. 또한 딸기의 경우 노엽의 엽병과 엽신이 맞닿는 부위가 갈변한다는 보고가 있었지만(Choi 등, 2000) 본 연구에서는 이러한 증상이 관찰되지 않았다.

Table 2에는 정식 75일 후 지상부 생육을 조사하여 그 결과를 나타내었다. K 무시비구의 엽장과 엽폭이 11.8 및 11.13cm 였으나 K 시비농도가 높아짐에 따라 생장량이 증가하여 8mM K 시비구에서 각각 14.38 및 13.20cm로 조사되었으며, 각 처리간 통계적

인 차이와 함께 0.1% 수준의 직선 및 2차 곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다. 또한 칼륨 시비농도가 증가할수록 생체중과 건물중이 증가하여 생체중은 0.1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하였고, 건물중은 1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하였다.

그러나 K 시비농도가 증가할수록 엽록소 함량이 감소하였으며, 처리간 통계적인 차이와 함께 0.1% 수준의 직선 곡선회귀가 성립하였다. Marschner(1995)가 보고한 바와 같이 엽록소의 생합성은 magnesium-chelatase에 의해 촉진되며, 이 효소는 Mg 농도에 의해 효소활성이 절대적인 영향을 받고, Mg이 결핍되어 식물체 내 함량이 감소하면 효소활성의 감소와 엽록소 생합성 억제에 원인이 된다. 본 연구에서 K 시비농도가 높아질수록 식물체내 Mg 함량이 감소하였는데, Marschner(1995)가 보고한 바와 같이 흡수과정에서 양이온간 길항작용이 중요한 원인이 되었다고 판단한다. 아울러 식물체내 Mg 함량이 감소하므로써 본 연구에서 엽록소 함량이 감소한 원인이 되었다고 판단하였다.

Table 3에는 K의 농도를 변화시켜 시비하고 정식 75일 후 지상부를 수확하여 건물중에 기초한 무기원소 함량을 분석하여 그 결과를 나타내었다. 칼륨의 시비농도가 증가할수록 K 만 식물체내 함량이 증가하였을 뿐 N, P, Ca 및 Mg 등 분석한 다량원소의 식물체내 함량이 감소하였다. 그러나 감소한 원인은 원소에 따라 다르다고 판단하였다. 본 실험에서 관비용액속의 K 농도만 변화시켰을 뿐 다른 모든 원소의 농도는 동일하게 하였으며, 동일한 양을 흡수하여도 생장량이 증가한 처리에서 Marchner(1995)가 보고한 바와 같이 희석효과 발생하여 식물체내 N 및 P 함량이 낮아진 원인

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

K (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----			----- (mg·kg ⁻¹) -----					
0	1.62 a ^z	0.64 b	0.47 e	3.69 a	1.41 a	210 b	231 a	66.6 b	23.9 c
2	1.43 b	0.55 bc	0.98 d	2.68 b	0.95 b	200 c	195 c	65.6 b	21.5 e
4	1.44 b	0.50 bc	1.54 bc	2.27 c	0.82 c	182 d	184 d	59.4 d	23.1 d
6	1.28 c	0.39 c	1.73 b	2.67 b	0.58 e	200 c	48.8 e	63.3 c	28.9 a
8	1.24 c	27.80 a	2.76 a	2.28 c	0.67 d	278 a	214 b	80.0 a	24.6 b
Regression ^y	Q**	Q***	Q***	Q***	Q***	Q***	Q*	Q***	NS

^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 = 0.05, 0.01 and 0.001, or nonsignificant, respectively.

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

K (mM)	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (mg·kg ⁻¹) -----								
0	3556 a ^z	1486 e	1623 e	1829 a	2102 a	14.9 a	69.2 a	30.6 a	4.75 a
2	1838 c	1632 d	2778 d	1814 b	2066 b	10.6 c	65.1 c	28.6 b	3.93 ab
4	1231 b	1723 c	6488 c	1768 c	2037 c	10.3 c	67.7 b	30.2 a	4.19 ab
6	2334 d	1865 a	10517 b	1813 b	1913 d	9.5 d	21.6 e	20.5 d	3.83 ab
8	1863 e	1749 b	12289 a	1710 d	1767 e	11.9 b	54.2 d	24.2 c	3.21 b
Regression ^y	Q**	Q***	Q***	L***	Q***	Q***	L*	Q**	L*

^zMeans 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 ≤ 0.05, 0.01 and 0.001, respectively.

이 되었다고 판단한다. 그러나 K을 0, 2, 4, 6 및 8mM 시비한 처리에서 개별 식물체가 흡수한 총 N량 (건물중×N 함량)은 각각 4.55, 5.64, 6.06, 5.98 및 6.21로 계산되어 총 흡수량이 증가하는 경향이며, 이는 양이온이 흡수할 때 음이온의 흡수가 촉진되는 상호작용(Marschner, 1995)이 영향을 미쳤기 때문이라고 판단한다.

그러나 인산함량이 감소한 것은 희석효과 외에 다른 원인을 찾을 수 없었으며, Ca 과 Mg 함량이 감소한 원인은 희석효과와 함께 양이온간 흡수과정에서의 길항작용도 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. Marschner(1995) 및 Nelson(2003)은 양이온간 흡수과정에서의 길항작용을 설명하면서 시비량 증가 등으로 특정원소의 토양 농도가 높아져 뿌리에 의한 흡수량이 증가하면 다른 양이온의 흡수량이 감소하여 흡수한 모든 양이온의 총량은 큰 차이를 보이지 않는다고 하였다. 본 연구에서 K 시비량이 증가함에 따라 지상부 생육이 증가하여 희석효과가 발생함과 동시에 길항작용으로 인해 Ca과 Mg의 식물체내 함량이 낮아지는

원인이 되었다고 사료된다.

K 0mM 시비구부터 4mM 시비구까지 미량원소인 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 식물체내 함량이 점차 감소하였으며, K 시비농도가 6mM 이상으로 높아지면 미량원소의 식물체내 함량도 점차 증가하는 경향이었다. K을 4mM 까지 농도를 높일 경우 식물체내 함량이 낮아진 것은 생장량 증가가 원인이 되어 희석효과가 발생하였기 때문이라고 판단된다. 그러나 6mM 이상의 고농도 K 시비구에서 식물체내 함량이 다시 증가한 것은 토양 pH가 낮아짐에 따라(Table 5) 토양용액 중 미량원소의 가용화가 촉진되고(Hanan, 1998), 결국 흡수량이 증가한 원인이 되었다고 판단되었다.

Table 4에는 K농도를 조절하여 시비하고 정식 75일 후 엽병추출액의 K농도를 분석하여 그 결과를 나타내었다. K 무시비구의 NO₃-N, Ca 및 Mg 농도가 높게 분석되었으며, 이는 생장량이 적어 상대적으로 높은 농도로 분석된 원인이 되었다고 판단하였다. 그러나 2mM 이상으로 K의 시비농도를 높일 경우 인산은 뚜렷하게 농도가 증가하였고, 4mM 이상으로 높일 경우

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

K (mM)	pH	EC	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg
		(dS·m ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)				
0	6.60 b ^z	0.114 e	32.9 a	1.02 b	0.97 e	16.4 e	3.70 d
2	6.60 b	0.131 d	17.8 c	0.86 c	1.44 d	18.3 d	3.51 e
4	6.30 c	0.167 c	15.8 c	0.72 d	2.87 c	22.2 c	3.96 c
6	6.87 a	0.290 b	20.5 b	0.89 e	6.65 b	63.3 a	4.72 b
8	5.67 d	0.327 a	12.7 d	1.15 a	11.65 a	34.0 b	5.82 a
Regression ^y	Q*	Q***	Q***	Q***	Q***	L**	Q***

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

^yL, Q, *, **, ***, and NS are linear, quadratic, significant at $P \leq 0.05$, 0.01 and 0.001, or nonsignificant, respectively.

NO₃-N 농도도 증가하였다. 이와같은 결과는 건물중에 기초한 분석결과(Table 3)와 다른 경향이며 추후 보완 연구가 필요한 부분이라고 판단된다. K 시비농도가 증가할수록 엽병추출액의 Ca 및 Mg 농도가 감소한 것은 흡수과정에서의 양이온간 길항작용과 생장량 증가를 통한 희석효과가 발생하였기 때문이라고 판단된다.

K 시비농도가 6mM까지 증가할 경우 엽병추출액의 미량원소 농도가 낮아지다가 K 8mM시비구에서 다시 높아지는 경향이었다. 칼륨 시비농도를 6mM 까지 높일 경우 미량원소의 농도가 낮아진 것은 흡수과정에서의 양이온간 길항작용 및 희석효과에 기인한다고 판단된다. 그러나 8mM K시비구에서 농도가 높아진 것은 토양 pH 에 영향을 받았기 때문이라고 판단된다. Hanan(1998) 및 Nelson(2003)은 토양 pH가 산성으로 변할 때 토양중 미량 금속원소의 용해도가 증가하고, 흡수량 증가의 원인이 됨을 보고한 바 있다. 본 연구에서도 K 시비농도가 증가할수록 pH가 낮아졌으며, 8mM K 시비구에서 미량원소의 흡수량이 증가한 원인이 되었다고 사료된다.

Table 5에서는 정식 75일 후 토양시료를 채취하여 1:2추출법으로 토양화학적 분석한 결과를 나타내었다. K 시비농도가 증가할수록 토양 pH가 낮아졌는데, 이는 식물의 뿌리가 한분자의 양이온을 흡수할 때 식물의 뿌리로부터 한 분자의 H⁺이온이 용출되며 (Marschner, 1995), 양이온의 흡수량 증가가 토양 pH가 낮아지는 원인이 되었다고 판단된다. K 시비농도 증가는 토양 전기전도도에 직접 영향을 미쳐 전기전도도가 상승하였고, 처리간 통계적인 차이와 함께 0.1% 수준의 2차 곡선회귀가 성립하였다.

K 시비농도가 높아질수록 토양용액중 NO₃-N 농도

가 낮아졌는데, K 시비농도 증가로 생장량 및 흡수량이 증가하여 토양용액에 잔존하는 양이 감소한 원인이 되었다고 판단된다. 그러나 K 시비량 증가는 토양 용액중 Ca과 Mg 농도가 증가한 원인이 되었으며, 흡수과정에서 양이온간 길항작용이 발행하여 Ca 및 Mg의 흡수량이 적어지고, 저농도 K 시비구에 비해 토양에 잔존하는 양이 증가하였다고 사료된다.

이상을 요약하면 다음과 같다. 칼륨의 시비농도를 변화시켜 잎들개를 관리재배한 결과 K 8.0mM 시비구에서 생육이 가장 우수하였으며, Bennett(1993)이 보고한 바와 같이 최대 생장량의 90%에 해당하는 생장량을 상업농 생산을 위한 최저한계점으로 판단하면 건물중 기준으로 1.7% 이상의 K 함량, 엽병추출액 기준으로 8,700mg·kg⁻¹, 그리고 1:2방법으로 추출한 토양용액 기준으로 4.5mg·L⁻¹ 이상을 유지하도록 K 시비농도를 조절해야 한다고 판단하였다.

적 요

본 연구는 칼륨의 시비농도를 인위적으로 조절하여 잎들개의 생장과 결핍증상 발현에 미치는 영향을 구명하고, 생육을 우수하게 유지할 수 있는 식물체 및 토양의 한계농도를 밝히기 위하여 수행하였다. 칼륨 결핍증상은 노엽에서 시작되었으며, 노엽의 가장자리가 황변하고, 황변된 부위가 점차 갈색으로 변화되었으며, 갈변 후 과사하였다. 칼륨 시비농도를 8mM까지 높일 경우 엽장과 줄기직경이 길거나 굵어졌으며, 생체중 및 건물중이 무거워지고, 엽록소 함량이 감소하였다. 생육이 우수하였던 K 8mM 시비구의 식물체당 건물중과 K 함량이 5.01g과 2.76%였으며, 생장억제를 방지하기

위해서는 1.7% 이상의 K 함량을 가져야 한다고 판단되었다. 칼륨을 8mM로 시비한 처리의 엽병추출액내 K 농도가 12,289mg·kg⁻¹였고, 1:2로 추출한 토양농도가 11.65mg·L⁻¹였으며, 엽병추출액은 8,700mg·kg⁻¹ 이상, 토양용액은 4.5mg·L⁻¹을 유지하도록 시비하여야 수량 감소를 방지할 수 있다고 판단되었다.

주제어 : 결핍증상, 식물체 무기원소 함량, 잎들개, 칼륨농도

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 potassium concentrations in fertilizer solution. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:350-355.
- Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Anal. Biochem. 85:591-594.
- 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.
- 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 J.S. Choi. 2005. Effect of potassium concentrations in fertigation solution on growth and nutrient uptake of cut chrysanthemum 'Biarritz'. J. Kor. Flower Res. Soc. 13:161-168.
- 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. 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.
- Park, J.Y., J.M. Choi, and W.M. Yoon. 2002. Effect of starting time of fertilization on growth and nutrient uptake of plug seedlings of *Perilla frutescens* var. japonica. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43: 686-692.
- 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.
- Rural Development Administration, 1988. Soil chemical analysis. Suweon, Korea.
- Saikoku, K. and T.S. Sanho. 1995. Nutritional physiology and fertilization of floral crops. Rural Culture Association. Tokyo, Japan.
- Styer, R.C. and D.S. Koranski. 1997. Plug & transplant production. Ball Publishing. Batavia, Illinois.