

칼륨 시비농도가 가지의 생육과 생리장애 발현 및 무기원소 함량에 미치는 영향

김정만¹ · 김 주¹ · 전형권¹ · 박은석¹ · 정종성¹ · 최종명^{2*}

¹전라북도농업기술원, ²충남대학교 원예학과

Influence of Potassium Concentrations in Fertilizer Solution on the Growth, Appearance of Physiological Disorder and Tissue Nutrient Contents of Eggplant (*Solanum melongena* L.)

Jeong Man Kim¹, Ju Kim¹, Hyong Gwon Chon¹, Eun Seok Park¹, Jong Seong Jeong¹, and Jong Myung Choi^{2*}

¹Jeollabuk-do Agricultural Research & Extension Services, Iksan 570-704, Korea

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

Abstract. Objective of this research was to investigate the effect of various potassium concentrations in fertilizer solution on growth of and nutrient uptake by ‘Chugyang’ eggplant (*Solanum melongena* L.). Tissue analyses were conducted to determine the threshold levels of potassium in plants when disorders develop for potassium. The lower leaves of K deficient plants became spotted, yellowing in color, and finally necrosis occurred. The necrosis spread inward and upward. K toxic plants developed necrotic spot at the margin of old leaves and the surface of old leaves were twisted. The tissue K contents in the most recently fully expanded leaves and dry weight of full above ground plant tissue at 35 days after transplanting showed linear and quadratic response to elevated K concentrations with the equation of $y=1.127+0.3147x$ ($R^2=0.8916$) and $y=14.92+2.2743x-0.1402x_2$ ($R^2=0.8659$). When 10% reduction in dry weight set to threshold levels, optimum tissue K contents are in the range from 2.1 to 5.1%. The yield through 150 days after transplanting and tissue K contents at 150 days after transplanting also showed quadratic and linear responses to elevated potassium concentrations in fertigation solution with the equation of $y=153.24+345.5x-18.46x^2$ ($R^2=0.8620$) and $y=0.9921+0.3860x$ ($R^2=0.9611$), respectively. When the 10% reduction in yield is set to threshold levels, the tissue K contents for maximum yield should be around 3.4% to 5.9% in most recently fully expanded leaves.

Additional key words: deficiency and toxicity symptoms, threshold level, yield

서 언

작물을 재배하면서 식물 생육에 필수적인 원소의 흡수량이 부족하거나 과다할 경우 식물체에 독특한 증상이 나타난다(Bennett, 1993; Bould 등, 1983; Gibson 등, 2007).

가지를 재배하는 농가에서 무기원소에 의한 생리 장애의 원인을 판단하기 위해 1차적인 판단의 자료로 삼는 것은 외관상으로 발현되는 증상이다. 이는 선행의 연구결과에서 제시한 증상과 재배시 발현하는 증상을 비교하여 원소가 결핍 또는 과잉이라고 판단한다(Gibson 등, 2007).

식물체 분석 또는 토양분석도 무기원소 시비량의 부족 또는 과다한 경우를 판단할 수 있는 중요한 방법이다. 일반적

으로 식물체 분석결과는 과거로부터 현재까지 진행되어온 상황을 판단하는 자료로 활용되며, 토양분석 결과는 현재로부터 미래의 진행상황을 예측하기 위한 자료로 활용되는 경우가 많다(Nelson, 2003). 그러나 식물체가 흡수한 무기원소의 양 또는 토양 무기원소의 농도 역시 무기원소 흡수량과 작물 생육 또는 토양 농도와 작물생육과의 상관관계에 관해 수행된 선행 연구결과와 비교함으로써 결핍 또는 과잉된 원소를 판단하는 것이 가능하다(Hanan, 1998; Nelson, 2003).

대부분의 재배 작물들은 수확량 증대, 품질향상 그리고 내병성 또는 내충성 강화 등을 목적으로 신품종 육성이 활발하게 이루어지고 있다. ‘매향’ 및 ‘여봉’ 딸기의 생리장애를 유발하는 식물체내 한계농도를 구명하기 위해 Choi 등

*Corresponding author: choi1324@cnu.ac.kr

※ Received 5 March 2010; Accepted 1 July 2010. 이 논문은 농촌진흥청 공동연구사업과제 지원에 의해 이루어진 것임.

(2000, 2009)이 수행한 연구결과를 통해 알 수 있듯이 최적 생육을 위한 특정 무기원소의 식물체내 함량은 각 작물에서 품종에 따라 큰 차이를 보이는 경우가 많다. 가지의 경우도 최근에 재배하는 품종을 대상으로 관련 연구가 수행되어야 이를 근거로 생리장해의 원인을 파악하는 것이 가능하다. 그러나 농가에서 최근에 재배하는 가지 품종에서 발견되는 증상에 관해 축적된 자료가 전무하다. 그러므로 외관상 생리장해가 발생하였을 때 원인을 정확하게 알지 못하여 조치를 취하지 못하고, 수량감소 및 품질 저하의 원인이 된다.

따라서 칼륨의 시비농도를 조절하여 ‘축양’ 가지를 관비 재배하면서 생리장해 증상을 인위적으로 유발하여 그 특징을 밝히고, 시비농도에 따른 식물 생육 반응, 결핍 및 과잉증상 발생시기의 식물체내 무기원소 함량을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구는 주년 생산용인 ‘축양’(*Solanum melongena* L. cv. Chugyang) 가지를 대상으로 수행하였다. 파종 후 본엽이 2-3매일 때 직경 9cm의 포트에 이식하여 7-8매까지 재배하였다. 이후 1/2000 Wanger pot(용적 12,000mL)에 펄라이트 1호와 2호를 1:1(v:v)로 혼합하여 충전하고 본엽 7-8매인 식물체를 포트당 1주씩 정식하였다. 실험구는 각 처리당 6반복씩 완전임의로 배치하였다.

본 연구를 위해 지하수(NH_4^+ 0.03, NO_3^- 9.7, T-P 0.2, Fe 0.05, Mn 0.51, Zn $0.11\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)를 이온 흡착 방식의 증류수 제조 장치에 통과시켜 이물질 제거하였고, 생산된 물을 이용하여 처리용액을 만들었다. 처리용액은 Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 변화시켜 Table 1과 같이 각각의 농도를 조절하였다. 공급되는 양액은 HCl과 NaOH를 이용하여 pH를 6.0으로 조절하여 공급하였다. 양액은 매일 오전 10시-11시 사이에 급액하면서 식물의 상태를 관

찰하면서 조절하였다. 1회의 급액량은 상토내에 무기염이 집적되는 것을 방지하기 위해 25%정도로 배수율을 조절하였다.

정식한 가지는 야간 생육적온인 18°C 이하로 내려가지 않도록 가온이 가능한 연동 하우스에서 관리하였고 온풍 난방기를 이용하여 가온하였다. 식물체의 무기원소 함량은 생육 초기인 정식 후 35일과 수확 후기인 150일 후에 채취하여 분석하였다. 식물체는 정단부에서 3-4번째인 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 채취하여 0.2N HCl로 1분간 세척한 후 증류수로 다시 수세하고, 75°C 건조기에서 24시간 건조한 후 유발을 이용하여 마쇄하였다.

식물체의 질소는 분쇄된 시료를 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978; Model digestion 및 distillation unit B-324, Buchi)으로 분석하였다. 분쇄한 건조시료 일부를 도가니에 정량하여 500°C로 조절된 회화로에서 약 6시간 동안 완전히 회화시키고 6N HCl로 포집한 후 증류수를 첨가하여 100배로 희석하였다. 이 용액을 molybdate-vanadate법(Chapman 및 Pratt, 1961)에 의한 P 함량과 원자흡광분석계(Model 680, Shimadzu)로 Fe, Mn 함량 분석에 이용하였다. 이상의 희석한 용액은 다시 0.5N HCl 용액(0.5% lanthanum과 $100\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ lithium을 포함)으로 100배 희석시키고 원자흡광분석기(Model 680, Shimadzu)로 K, Ca 및 Mg 분석에 이용하였다.

토양은 식물체와 같은 날에 시료를 채취하였으며, Warnke (1986)의 방법으로 토양용액을 추출하였다. pH와 EC는 pH meter(Model 900A, Orion)와 EC측정기(Model 122, Orion)로 측정하였다.

생육조사는 식물체 및 토양의 분석값과 비교하기 위하여 정식 후 35일 후에 초장, 엽수, 엽장 및 건물중을 측정하였고, 과일은 정식 후 150일간 수확하였고, 수확 후 즉시 각 처리별로 구분하여 무게를 측정하고 생산량을 산출하였다.

Table 1. Composition of nutrient solution used to induce potassium deficiency and toxicity symptoms².

K (mM)	(mM)							
	NH_4^+	K^+	Ca_2^+	Mg_2^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	H_2PO_4^-	Cl ⁻
0	3.0	0	5	2	12.0	2	1.0	0
2.5	0.5	2.5	5	2	14.5	2	1.0	0
5.0	0.5	5.0	5	2	14.5	2	1.0	5
7.5	0.0	7.5	5	2	15.0	2	1.0	9
10.0	0.0	10.0	5	2	15.0	4	1.0	9
12.5	0.0	12.5	5	2	15.0	5	2.0	12
15.0	0.0	15.0	5	2	15.0	5	2.0	15

²Micronutrient (in g 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.

Table 2. Influence of elevated potassium concentrations in fertilizer solution on growth characteristics of 'Chugyang' eggplants at 35 days after transplanting.

K (mM)	Plant height (cm)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)
0	67.8 c ^z	30.8 c	21.3 b	12.7 b	8.8 b	20.2 c
2.5	70.0 bc	35.0 bc	21.6 b	13.4 a	9.1 ab	22.8 b
5.0	75.0 ab	40.4 ab	23.1 a	13.5 a	9.5 ab	28.5 ab
7.5	78.8 a	44.4 a	23.9 a	13.8 a	10.2 a	31.5 a
10.0	75.8 ab	37.8 b	23.5 a	13.6 a	9.4 ab	26.4 ab
12.5	72.6 b	37.2 b	22.8 ab	13.5 a	9.1 ab	25.9 ab
15.0	66.4 c	31.4 c	22.7 ab	13.1 a	8.1 b	22.1 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$.

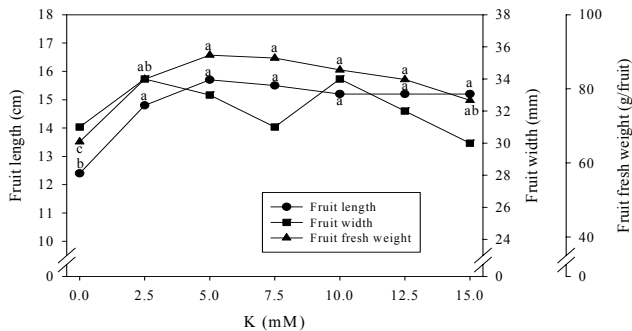


Fig. 1. Influence of elevated potassium concentrations in fertilizer solution on length, width and fresh weight of fruits in 'Chugyang' eggplants at 35 days after transplanting.

결과 및 고찰

칼륨 시비 농도가 '축양' 가지의 정식 35일 후 생육에 미치는 영향을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 초장은 칼륨 무시비구 67.8cm, 2.5mM 시비구 70.0cm, 그리고 7.5mM 시비구는 78.8cm로 무시비구부터 7.7mM 시비구까지 칼륨 시비농도가 증가할수록 초장이 커졌으나, 10.0mM 처리구부터는 75.8cm 이하로 작아졌다. 엽수는 10.0mM에서 가장 많았고, 엽장 및 엽폭은 7.5mM 시비구에서 가장 길고 넓었다. 줄기 직경도 초장이 가장 컸던 7.5mM 시비구에서 10.2mm로 가장 두꺼웠고 이보다 낮거나 높은 칼륨 시비농도에서는 가늘어졌다.

칼륨 시비농도가 과일의 특성에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 무시비구의 과장은 12.4cm로 가장 짧았고, 2.5mM 이상의 시비구에서는 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 과경도 뚜렷한 영향을 미치지 않아 각 처리별 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 생과중은 무시비구에서 65.7g, 2.5mM에서 82.6g, 5.0mM에서 89.1g, 7.5mM에서 88.3g, 그리고 15.0mM에서 76.9g으로 조사되었다. 산술적인 평균 생과중은 5.0mM 시비구에서 89.1g으로 가장 무거웠지만 무시비

구를 제외한 모든 시비구간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 이상의 결과로부터 칼륨 시비농도는 과폭보다는 과장과 과중에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

칼륨 시비농도에 대한 성장반응에서 '여봉' 딸기(Choi 등, 2000), '매향' 딸기(Choi 등, 2009), 잎들깨(Choi와 Park, 2007), 그리고 'Biarritz' 국화(Kim 등, 2005) 등은 관비 용액의 K 농도를 5mM 이하로 조절할 경우 생육이 우수하였다. 그러나 '축양' 가지는 7.5mM의 K시비구에서 생장이 우수하였으며, 이상의 작물들에 비해 K 요구도가 높은 작물이라고 판단하였다.

칼륨 결핍증상은 초기에 하위엽에서 발현한 후 점차 상부로 확산되었다(Fig. 2A). 결핍증상 발현 초기에 하위엽의 엽신 가장자리에 갈색 반점이 나타났으며, 결핍증상이 심화될수록 반점이 더 많이 생기고 반점 부위가 확대되었다(Fig. 2B, 2C). 결핍증상이 더욱 심해지면 하엽 전체가 괴사하고 탈락하였다. 칼륨 시비농도가 과도하게 높을 경우 잎 가장자리가 파도 모양으로 굴곡이 지거나 잎의 표면이 울퉁불퉁해지는 요철현상, 잎 가장자리가 갈색을 띠거나 잎 끝이 뾰족해지면서 약간 뒷면으로 젖혀지는 듯한 증상이 복합적으로 나타났다(Fig. 2D, 2E). '여봉'(Choi 등, 2000) 및 '매향' 딸기(Choi 등, 2009)는 칼륨이 결핍될 경우 엽병과 엽신이 연결되는 부위에 갈변현상이 나타났고, 잎들깨(Choi와 Park, 2007)에서는 하엽 가장자리가 모두 황화되는 현상이 나타났지만 '축양' 가지에서는 반점형태의 갈변현상이 발현되어 차이가 있었다.

칼륨 시비농도가 낮은 상태에서 착과된 '축양' 가지의 과일은 과일 끝 부분 보다 과일 기부쪽의 비대가 적어 곤봉형태의 특징을 나타내었다(Fig. 2G). 칼륨 시비농도가 과도하게 높은 조건에서 착과된 경우(Fig. 2H) 정상과(Fig. 2F)에 비해 구부러짐, 과육이 매끈하지 못한 현상, 그리고 과일의 폭이 충분히 비대하지 못하고 가늘어지는 특징을 나타냈다.

칼륨 시비농도가 정식 35일 후 가장 최근에 완전히 전개

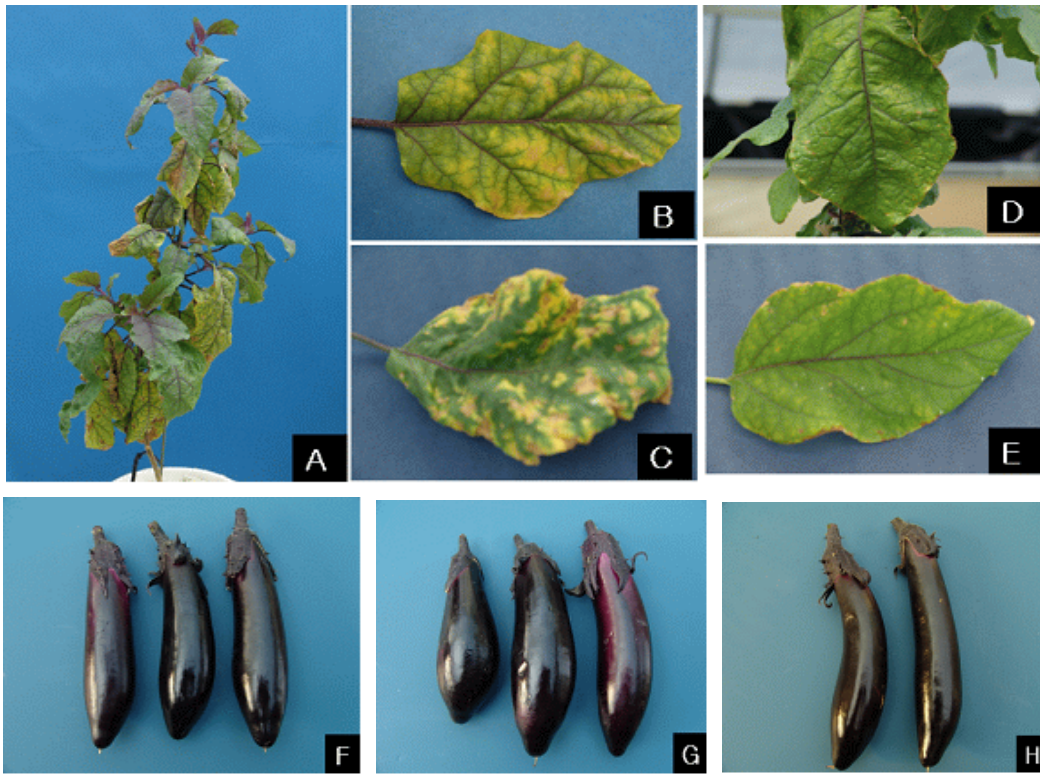


Fig. 2. Induced potassium deficiency and toxicity symptoms appeared in 'Chugyang' eggplants (A: K deficient plant, B and C: K deficient leaves, D and E: K toxic leaves, F: Normal fruits, G: K deficient fruits, H: K toxic fruits).

Table 3. Influence of elevated potassium concentrations in fertilizer solution on tissue nutrient contents of 'Chugyang' eggplants based on most recently fully expanded leaves at 35 days after transplanting.

K (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
0	5.62	1.52	0.38	1.48	0.99	2.6	66.4	98.9	29.6
2.5	5.37	1.42	2.10	1.52	0.87	2.8	57.1	88.7	29.0
5.0	5.92	1.79	3.62	1.87	0.91	1.7	65.8	76.8	22.9
7.5	5.49	1.17	3.77	1.72	0.68	1.4	71.4	69.9	19.7
10.0	5.59	1.41	3.93	1.46	0.58	1.1	74.3	69.6	22.1
12.5	5.23	1.61	4.77	1.81	0.65	3.2	72.0	79.3	24.2
15.0	5.24	1.51	5.84	1.66	0.71	1.4	68.3	57.7	25.0
LSD _{0.05}	1.40	0.60	0.21	1.11	0.08	1.8	19.2	10.4	5.3
Significance ^z	NS	NS	L***	NS	L*	NS	NS	L*	Q*

^zSignificance of trend. ***P = 0.001; *P = 0.05; NS, not significant; L, linear; Q, quadratic.

된 잎의 무기물 함량에 미치는 영향을 Table 3에 나타냈다. 칼륨 시비농도가 증가할수록 식물체내 칼륨 함량이 직선적으로 증가하였으며, 마그네슘, 망간 그리고 아연 함량은 직선, 직선 및 2차곡선적으로 감소하는 경향을 보였다. 칼륨함량이 증가한 것은 시비농도 증가에 직접적인 영향을 받았음을 나타낸다. 그러나 식물체내 마그네슘 함량이 감소한 것은 근권부에 특정 양이온 농도가 증가하면 다른 양이온의 흡수량이 감소하는 양이온간 길항작용에 영향을 받았다고

판단한다(Gibson 등, 2007; Nelson, 2003). 망간과 아연 함량의 감소는 양이온간 길항작용 외에 토양 pH가 영향을 미쳤다고 판단한다. 본 연구에서 정식 35일 후 토양 pH를 측정된 결과(Fig. 5) 칼륨 시비농도가 증가할수록 근권부의 pH가 상승하였다. 토양 pH가 상승하면 근권부에 존재하는 Mn이나 Zn 등의 미량원소 불용화가 촉진되며(Hanan, 1998; Nelson, 2003) pH 상승에 따른 불용화도 식물체내 함량 감소의 원인이 되었다고 판단한다.

Table 4. Influence of elevated potassium concentrations in fertilizer solution on tissue nutrient contents of 'Chugyang' eggplants based on most recently fully expanded leaves at 150 days after transplanting.

K (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- (%) -----					----- (mg·kg ⁻¹) -----			
0	5.13	1.38	0.60	1.65	0.84	4.5	86.3	156.5	38.2
2.5	4.98	1.63	2.00	2.61	1.24	2.24	72.3	162.3	16.3
5.0	4.65	1.56	3.46	2.33	1.01	3.89	86.9	138.1	16.2
7.5	4.62	1.26	4.27	2.02	0.72	3.54	65.2	125.0	17.9
10.0	4.66	1.46	4.36	1.81	0.74	2.70	83.0	135.9	21.7
12.5	4.20	1.45	5.64	1.73	0.79	5.27	92.2	81.5	30.2
15.0	4.47	1.09	6.88	1.17	0.51	2.87	67.6	89.6	16.7
LSD0.05	0.22	0.21	0.12	0.11	0.12	2.6	18.3	12.5	5.9
Significance ^z	L*	NS	L***	L**	L**	NS	NS	L*	Q*

^zSignificance of trend. ***P = 0.001; **P = 0.01; *P = 0.05; NS, not significant; L, linear; Q, quadratic.

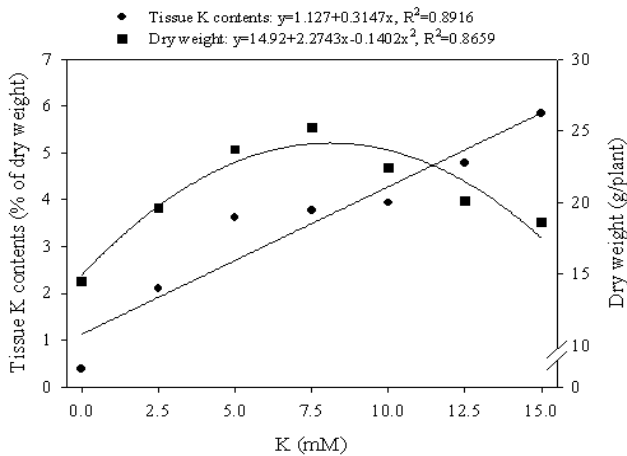


Fig. 3. Influence of elevated potassium concentrations in the fertilizer solution on changes in tissue K contents in most recently fully expanded leaves and dry weight of above ground plant tissue at 35 days after transplanting of 'Chugyang' eggplant.

칼륨 시비농도가 증가하여도 정식 35일 후의 식물체내 질소, 인산, 칼슘, 구리 및 철 함량에는 뚜렷한 영향을 미치지 않아 경향을 발견할 수 없었다. 또한 정식 150일 후 식물체를 분석한 결과(Table 4)와 비교할 때 칼륨 시비농도 별 무기원소 함량의 처리간 차이가 뚜렷하지 않았다. 본 연구에서 정식 35일 후 분석대상으로 삼은 식물체 부위가 가장 최근에 완전히 전개된 잎이며, 일반적으로 신생엽은 강한 수용체(sink) 역할을 하여 하위엽의 무기원소들이 이동되어 온다(Marschner, 1995). 즉, 정식 35일 후에는 아직도 식물체가 어린 상태이며, 정식 전에 충분한 양의 각종 무기물을 흡수하였을 경우 흡수된 무기원소들이 수용체 부위로 이동되어 옴으로써 칼륨 시비농도 처리별 차이가 적은 원인이 되었다고 판단한다.

칼륨 시비농도에 영향을 받은 정식 35일 후의 지상부 건물중과 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 칼륨 함량을 Fig. 3에 나타내었다. 관비용액의 칼륨 시비농도가 증가할수록 식물체내 칼륨 함량도 직선적으로 증가하였다($y=1.127+0.3147x$, $R^2=0.8916$). 칼륨 시비농도를 7.5mM로 조절한 처리의 건물중 생산량이 가장 많았고, 이 보다 낮거나 높은 칼륨 시비농도에서 건물중이 감소하는 2차곡선회귀적 반응($y=14.92+2.2743x-0.1402x^2$, $R^2=0.8659$)을 나타내었으며, 식물체당 건물중 24g에서 2차곡선회귀의 정점이 형성되었다. Ulrich(1993)의 주장과 같이 최대 성장량의 90% 성장량을 생장억제 방지를 위한 한계수준으로 간주할 경우 식물체당 건물중 21.7g에 해당하며 이 때 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 칼륨 함량은 2.1%이고, 이를 최저한계점으로 설정할 수 있다. 또한 건물중 생산과 관련한 2차곡선회귀의 정점을 지나 10% 성장량이 감소한 2.17g 건물중 생산량에서의 칼륨 함량은 5.1%이며, 정식 35일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 칼륨 함량 2.1-5.1%를 정상 생육을 위한 수용 가능한 범위라고 판단하였다.

Table 4에는 정식 150일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 무기물 함량을 분석하고 그 결과를 나타내었다. 관비용액의 칼륨 농도 증가는 식물체내 칼륨 함량의 증가와 질소, 칼슘 및 마그네슘 함량이 감소하는 원인이 되었다. 질소 함량이 감소하는 경향을 보인 것은 토양 pH가 영향을 미쳤기 때문이라고 판단한다. Marschner(1995)에 의하면 토양 pH가 낮을 경우 뿌리의 음이온 흡수를 촉진하고, pH가 상승하면 양이온의 흡수가 촉진된다. 본 연구에서도 직선 및 2차곡선회귀가 성립하지는 않았지만 칼륨 시비농도가 증가할수록 정식 150일 후의 토양 pH가 상승하여(Fig. 5) 0, 7.5 그리고 15mM K 시비구의 pH가 각각 4.10, 5.12 그리고

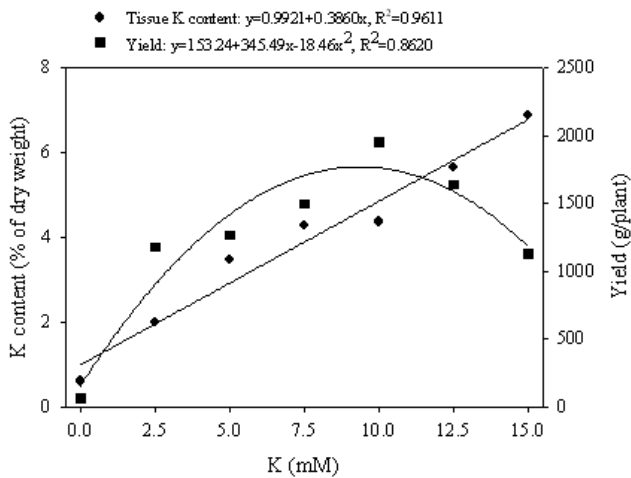


Fig. 4. Influence of elevated potassium concentrations in the fertilizer solution on changes in tissue K contents in most recently fully expanded leaves and yield per plant through 150 days after transplanting of 'Chugyang' eggplant.

6.43으로 측정되었다. 이와 같은 근권부 pH 상승은 질산태 질소 흡수량이 감소하는 원인이 되고 결국 식물체내 질소 함량 감소의 원인이 되었다고 판단한다. 칼륨 시비농도 증가는 흡수과정에서의 양이온간 길항작용으로 인해 식물체내 칼슘과 마그네슘 함량 감소의 원인이 되었다고 판단한다 (Marschner, 1995; Nelson, 2003).

관비 용액의 칼륨 시비농도에 영향을 정식 150일까지의 수량과 정식 150일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 칼륨 함량을 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. 정식 후 150일 까지의 수량은 칼륨 시비농도에 대하여 2차곡선회귀적 반응을 보였으며($y=153.24+345.49x-18.4x^2$, $R^2=0.8620$) 식물체당 수량 1,750g에서 2차곡선회귀의 최정점이 형성되었다. 칼륨시비농도에 대한 식물체내 칼륨함량은 직선적으로 증가하였다($y=0.9921+0.3860x$, $R^2=0.9611$). Ulrich(1993)의 주장과 같이 최대 수량의 90% 수량을 수량감소 방지를 위한 최저한계점(lower threshold level)로 설정할 경우 식물체당 수량 1,575g이며 이때의 식물체내 칼륨 함량은 3.4%가 된다. 또한 2차곡선회귀의 정점을 지나 10% 수량이 감소할 때를 최고한계점(upper threshold level)로 간주하면 식물체내 칼륨 함량 5.9%에 해당한다. 따라서 '축양' 가지를 재배할 때 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 식물체내 칼륨함량이 3.4-5.9%에 포함되도록 시비수준을 조절하여야 수량 감소를 방지할 수 있다고 판단하였다.

정식 35일과 150일 후 토양 시료를 채취하여 pH 및 EC를 측정하고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 관비 용액의 칼륨 시비농도를 증가시킬수록 근권부의 EC가 뚜렷하게 증가하였으며, 이는 관비 용액의 K 농도 증가에 직접 영향을 받았기 때문이라고 판단한다. 관비용액의 K 농도가 증가할수록

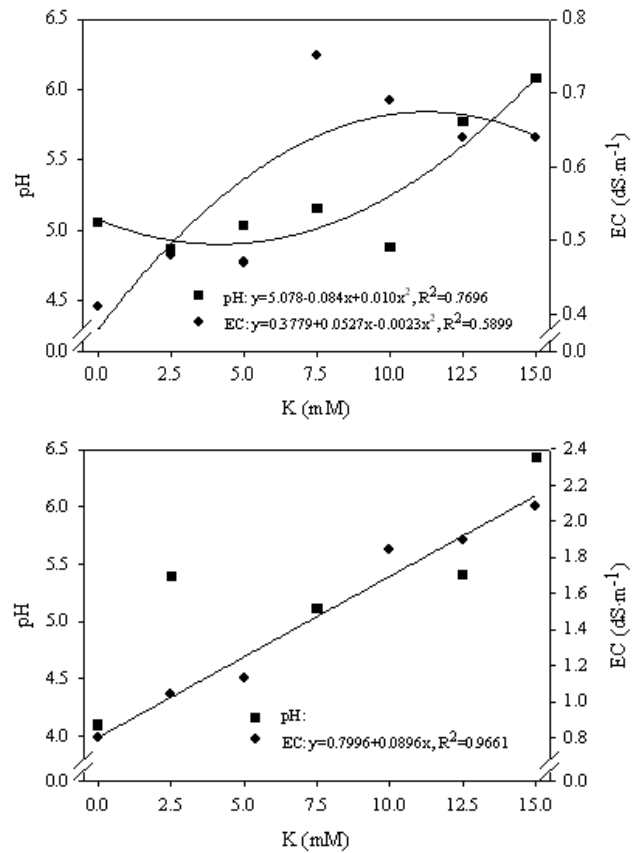


Fig. 5. Influence of elevated potassium concentrations in the fertilizer solution on changes in pH and EC in soil solution of root media at 35 (upper) and 150 (lower) days after transplanting of 'Chugyang' eggplant. The pH at 150 days after transplanting was not fit for linear or quadratic.

정식 35일 후의 근권부 pH는 2차곡선적으로 증가하였지만 50일 후의 pH는 증가하였음에도 불구하고 반복간 차이가 커 회귀관계가 성립하지 않았다. Marschner(1995)에 의하면 식물체가 흡수하는 총 양이온 또는 음이온 중 질소가 약 80%를 점유하며 관비되는 질소의 형태가 근권부 pH에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 양액 조성상(Table 1) 0, 2.5 또는 3mM 칼륨 시비구에서 NH_4-N 이 포함되어 있으며 양이온이 흡수될 때 뿌리로부터 H^+ 이 용출되어 pH가 낮아진 원인이 되었다고 판단한다. 그러나 고농도 칼륨 시비구에서는 질소가 NO_3-N 형태로 시비되었으며, 음이온이 흡수될 때 뿌리로부터 OH^- 가 용출되어 pH가 높아진 원인이 되었다고 판단하였다.

초 록

칼륨 시비농도를 조절하여 관비할 때 '축양' 가지에서 발현하는 생리장해 증상 그리고 식물 성장 및 수확량과 관련한 식물체내의 칼륨 한계농도를 구명하고자 본 연구를 수행하였다. 칼륨이 결핍된 초기에는 하엽에 반점형태의 황화현

상이 나타났으며, 증상이 진행될수록 반점부분이 커지고 상 위엽으로 확산되었다. 칼륨이 결핍된 식물체에서 착과된 과일은 길이 생장을 하지 못하고 과일 선단부 보다 기부쪽 비대가 적어 곤봉형태를 보였다. 칼륨 과잉시 잎은 가장자리가 요철형태로 굴곡이 지거나 갈색으로 변하면서 위로 짓혀지는 증상을 나타냈으며, 열매는 구부러지거나 표면의 광택이 감소하였다. 관비용액의 칼륨 농도에 대하여 정식 35일 후 지상부의 건물중과 식물체내 칼륨 함량은 2차곡선회귀적 반응($y=14.92+2.2743x-0.1402x^2$, $R^2=0.8659$)과 직선적 반응($y=1.127+0.3147x$, $R^2=0.8916$)을 보였다. 최대 건물중을 생산한 처리보다 10% 억제된 처리의 칼륨 함량을 최저 및 최고 한계점으로 설정하면 ‘축양’ 가지의 재배를 위한 허용 가능한 식물체 내 칼륨 함량이 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 2.1-5.1% 범위였다. 칼륨 시비농도가 증가함에 따라 정식 후 150일까지의 수확량과 150일의 식물체 칼륨 함량도 2차곡선회귀적 반응($y=153.24+345.5x-18.46x^2$, $R^2=0.8620$)과 직선적 반응($y=0.9921+0.3860x$, $R^2=0.9611$)을 보였다. 최대수량의 90%를 수량감소를 방지하기 위한 한계점으로 설정할 경우 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 K 함량이 3.4-5.9%의 범위에 포함되도록 시비농도를 조절해야 할 것으로 판단하였다.

추가 주요어 : 결핍 및 과잉증상, 한계수준, 수확량

인용문헌

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.

Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. Method of analysis for soil, plants and waters. Univ. of Calif., Div. Agr. Sci., Berkeley, CA.
 Choi, J.M. and J.Y. Park. 2007. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of leaf perilla (*Perilla frutescens* Britt) as influenced by potassium concentrations in the fertigation solution. J. Bio-Environ. Cont. 16:372-378.
 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.
 Choi, J.M., S.K. Jeong, and M.K. Yoon. 2009. Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in ‘Maehyang’ strawberry as influenced by potassium concentration in the fertigation solution. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:226-232.
 Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Anal. Biochem. 85:591-594.
 Gibson, J.L., D.S. Pitchay, A.L. Williams-Rhodes, B.E. Whipker, P.V. Nelson, and J.M. Dole. 2007. Nutrient deficiencies in bedding plants. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
 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.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.
 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.
 Ulrich, A. 1993. Potato. p. 149-156. In: W.F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, Minnesota.
 Warncke, P.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. HortScience 211:223-225.