

시설재배 가지에서 인산 시비농도가 생육과 양분흡수 및 무기원소 함량에 미치는 영향

김정만¹ · 김주¹ · 전형권¹ · 박은석¹ · 정종성¹ · 최종명^{2*}

Influence of Phosphorus Concentrations in Fertilizer Solution on the Growth and Tissue Nutrient Contents of Egg Plant (*Solanum melongena* L.)

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

ABSTRACT

This research was conducted to investigate the effect of various phosphorus concentrations in fertilizer solution on growth of and nutrient uptake by 'Chugyang' egg plant (*Solanum melongena* L.). Tissue and soil analyses were also conducted to set the threshold levels of phosphorus in plants when disorders develop for phosphorus deficiency or excess. Brown and purple areas developed on the margin of mature leaves and it enlarged rapidly in P deficient plants. The fruits in P deficient plants were small and dull purple in color. When P were excess in fertigation solution, the margins of lower leaves became scorched and it enlarged to inner part of the leaves. The fruits of P excess plants became small and had the curl shape. The tissue PO₄-P contents in the most recently fully expanded leaves and dry weight of full above ground plant tissue at 35

2009년 10월 07일, 접수: 2009년 10월 30일, 수정: 2009년 12월 08일 채택

¹ 전라북도농업기술원(Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea)

² 충남대학교 원예학과(Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* 교신저자: 최종명(E-mail: choi1324@cnu.ac.kr, Tel: +82-42-821-5736)

days after transplanting showed quadratic response ($y=0.7887+0.2394x-0.0197x^2$) and cubic response ($y=10.43+14.47x-4.7642x^2+0.3977x^3$) to elevated PO_4 -P concentrations, respectively. When 10% reduction in dry weight set to threshold levels, optimum tissue PO_4 -P contents are between 0.98 to 1.35%. The yield determined at 150 days after transplanting also showed cubic response to elevated phosphorus concentrations in fertigation solution ($y=1194.6+1502.2x-454.5x^2+35.64x^3$). When the 10% reduction in yield is set to threshold levels, the tissue PO_4 -P contents for maximum yield should be around 1.53% to 2.25% in most recently fully expanded leaves at 150 days after transplanting.

Key words : critical concentration, deficiency symptom, excess symptom, soil solution concentration.

1. 서 언

인산은 식물체의 에너지 대사에 관여하고 핵산과 단백질의 주요 구성원소로서 작물 생육에 큰 영향을 미친다(Marschner, 1995). 그러므로 온도, 수분, 토양내 공기, 토양산도 및 토양염류 등의 영향을 받아 토양으로부터의 인산흡수량이 부족하고 식물체가 적절한 인산 함량을 갖지 못할 경우 식물에 결핍증상이 나타날 뿐만 아니라 생육이 심하게 억제되고 수량이 감소한다(Bennett, 1993; Choi 등, 2007; 2004).

Nelson(2003)은 인산이 결핍되어 식물이 영향을 받기 시작하면 노엽이 진한 녹색으로 변하고, 식물 생육이 억제되며, 특히 기부쪽에서 자주색을 띠는 색소체가 발달하여 노엽이 자주색을 띠는다고 하였다. Marschner(1995)와 Gigson 등(2007)도 인산 결핍증상은 노엽에서 초기증상이 나타난 후 상층부로 확산되는 데, 이는 인산이 식물체내에서 이동이 잘 되는 원소이고 새롭게 성장하는 신엽이 강한 수용자 역할을 하여 노엽의 인산이 신엽쪽으로 이동하기 때문이라고 하였다. 그러나 식물체에서 발현하는 인산 결핍증상은 작물에 따

라 미세한 차이가 있으며, 가지재배에서도 결핍 증상의 특징이 밝혀져야 인산 결핍을 진단할 수 있는 자료로 활용될 것이나 관련 연구결과가 없다.

인산 시비농도를 조절하여 시비하고 식물 생육에 미치는 영향 및 식물 생육 억제를 유발하는 식물체내 인산 함량의 한계수준을 설정하기 위해서 국내에서 다수의 연구가 수행되었다. Choi와 Park(2007)은 잎들깨를, Choi 등(2009)은 '매향' 딸기를, Jeong 등(2000)은 '여봉' 딸기를, Kim 등(2005)은 절화국 'Biarritz'를, 그리고 Lee와 Choi(2005)는 백합 'CasaBlanca'를 대상으로 식물 생육과 식물체내 인산 함량의 한계수준을 설정하기 위한 연구를 수행하였다. 그러나 식물체내 인산 함량의 한계수준은 작물에 따라 차이가 컸다. 이는 시료 채취 부위 및 방법 그리고 시료의 추출 및 분석 방법에서 차이가 있을 뿐만 아니라 작물의 흡비특성이 다른 것에서 원인을 찾을 수 있다. 그러므로 가지의 식물체내 인산함량의 한계수준도 앞서 수행된 다수의 연구결과와 다를 수 있음을 유추할 수 있다. 아울러 가지재배를 위한 적절한 인산 시비농도와 결핍 및 과잉의 진단기준을 확립하기 위해서는 관련 연구결과가 반드시

필요하다고 판단한다. 따라서 시설가지재배에서 인산의 시비농도를 조절하여 가지를 재배하면서 생육과 수량에 미치는 영향을 밝히고, 인산 결핍 및 과잉증상의 특징과 식물체내 한계수준을 설정하여 인산과 관련된 생리장해를 판단할 수 있는 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

주년 생산용으로 육질이 치밀하여 소비자의 기호성이 높은 '축양' 가지(*Solanum melongena* L. cv. Chugyang)를 대상으로 연구를 수행하였다. 과중 후 분엽이 2~3매일 때 직경 9cm의 포트에 이식하여 7~8매까지 재배하였고, 다시 1/2000 Wanger pot(용적 12,000mL)에 펄라이트 1호와 2호를 1:1(v:v)로 혼합하여 충전하고 식물체를 포트당 1주씩 정식하였다.

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 장치(RO System, Human Science, Korea)에 통과시켜 이물질 제거하고, 생산된 물을 이용하여 처리용액을 만들었다. 처리용액은 Hoagland 용액(Hoagland 와 Arnon, 1950)을 변화시켜 Table 1과 같이 인산 농도를 조절하였다. 실험구는 각 처리당 6반복씩 완전임의로 배치하였다.

양액은 HCl과 NaOH를 이용하여 pH를 6.0으로 조절하여 공급하였다. 양액은 매일 오전 10시~11시 사이에 급액하면서 식물의 상태를 관찰하면서 조절하였다. 1회의 급액량은 상토내에 무기염이 집적되는 것을 방지하기 위해 25%정도로 배수율을 조절하였다. 정식한 가지는 야간 생육 적온인 18°C 이하로 내려가지 않도록 가온이 가

능한 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°C 로 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, Warncke(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.

III. 결과 및 고찰

Table 2에는 인산 시비농도를 조절하여 관비하고 정식 35일후 생육을 조사하여 그 결과를 나타내었다. 초장, 엽수, 엽장, 엽폭 모두 인산 1mM

시비구에서 가장 크거나 많았고, 무시비구는 1mM 처리구에 비하여 조사한 모든 생육지표에서 월등히 작았다. 인산 무시비구부터 1.25mM 까지 인산 시비농도가 증가할수록 생육량이 증가하였으나 5mM 이상의 고농도 인산시비구에서 생육이

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

P (mM)	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄	Cl ⁻
	------(mM)-----							
0.00	2.5	5.00	5	2	12.5	5	0.00	9
0.25	2.5	4.25	5	2	12.5	5	0.25	8
0.50	2.5	4.50	5	2	12.5	5	0.50	8
0.75	2.5	4.75	5	2	12.5	5	0.75	8
1.00	2.5	5.00	5	2	12.5	5	1.00	8
1.25	2.5	5.25	5	2	12.5	5	1.25	8
3.00	2.5	5.00	5	2	12.5	5	3.00	6
5.00	2.5	5.00	5	2	12.5	5	5.00	4
7.00	2.5	5.00	5	2	12.5	5	7.00	2

²Micronutrient (in g per L solution): MnCl₂·4H₂O 1.81, H₃BO₃ 2.86, ZnSO₄·7H₂O 0.22, CuSO₄·5H₂O 0.08, H₂MoO₄·H₂O 0.09 and Na₂FeEDTA 0.79.

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

P (mM)	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Dry weight (g/plant)
0.00	63.2 d ^z	22.0 c	16.7 c	9.8 c	7.7 c	5.4 d
0.25	72.0 c	41.2 b	23.7 ab	12.1 b	9.2 a	16.9 b
0.50	78.6 b	45.4 ab	22.4 ab	12.8 ab	9.2 a	18.8 ab
0.75	80.4 ab	43.8 ab	25.0 a	13.3 ab	9.4 a	20.1 a
1.00	83.0 a	48.2 a	26.4 a	14.9 a	9.5 a	21.5 a
1.25	78.0 b	49.0 a	25.8 a	14.9 a	9.5 a	20.5 a
3.00	76.6 bc	43.8 ab	25.7 a	13.3 ab	9.3 a	18.6 ab
5.00	75.5 bc	47.5 a	21.0 b	12.1 b	8.6 ab	15.5 bc
7.00	74.0 c	41.2 b	21.2 b	12.3 b	8.3 b	14.1 c

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

저조하여 통계적인 차이가 인정되었다. 건물중은 인산 무시비구가 식물체당 5.4g으로 가장 적었고 1.25mM 시비구 까지 증가하였으나 3.0mM 이상의 고농도 시비구에서 점차 감소하는 경향을 보였다.

인산의 시비농도가 '축양' 가지 과실의 특성에 미치는 영향을 정식 35일 후 조사하여 Fig. 1에 나타내었다. 인산 무시비구는 과장 11.7cm, 과폭 37.1mm, 그리고 생과중은 118.8g였다. 인산 시비농도가 0.5mM 이상으로 증가할수록 과실의 모든 생육지표에서 우수하였으며, 1mM 시비구에서 가장 우수하였다. 그러나 1.25mM 이상으로 시비농도가 증가할 경우 7.0mM 시비구까지 조사한 생육지표에서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

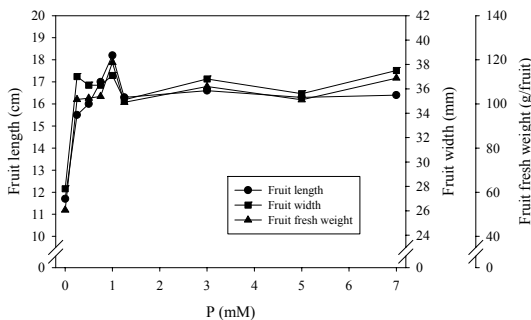


Fig. 1. Influence of elevated phosphorus concentrations in fertilizer solution on length, width and fresh weight of fruits in 'Chugyang' egg plants at 35 days after transplanting.

인산 시비농도에 따른 식물체의 결핍 및 과잉 증상의 특징을 Fig. 2에 나타내었다. 1mM 시비구의 정상엽(Fig. 2A)에 비해 잎에서의 인산 결핍증상은 초기에 하엽에서 발현하였으며, 암록색을 띤 후 점차 자주색으로 변하였고(Fig. 2-B) 상단부의 신엽은 정상엽보다 크기가 작아졌다(사

진은 제시하지 않음). 인산 과잉증상은 노엽의 가장자리부터 수침상의 엽은 갈색을 띠는 현상(Fig. 2-C)이 관찰되었고, 이 갈변현상이 점차 안쪽으로 확산되었다.

토마토에서 인산 흡수량이 부족하여 나타나는 결핍증상은 지상부 생장이 심하게 억제될 뿐만 아니라 노엽이 아주 진한 청녹색이나 자줏빛을 띠고, 줄기는 가늘며, 성숙한 잎은 아주 작고 잎 가장자리가 아래쪽으로 뒤틀리는 현상이 나타난다고 하였다(Bennett, 1993). Gibson 등(2007)과 Nelson(2003)도 초화류 재배에서 인산이 결핍되어 식물이 영향을 받기 시작하면 오래된 잎이 진한 녹색으로 변하면서 자주색을 띠는 색소체가 발달한다고 보고하였는데, 본 연구에서도 하엽이 진한 녹색 및 자주색으로 변하는 증상이 발현하여 그들의 보고와 유사한 특징을 보였다.

인산 시비농도에 따른 과실 생육은 정상과의 경우 과육부분이 매끈하게 성장하여 윤택이 나면서 건전한 생육을 하였다(Fig. 2-D). 그러나 인산 결핍과는 정상적인 신장생장이 이루어지지 않아 길이가 짧았으며, 과육부분이 엷은 자색을 띠고 착색이 불량하여 상품성이 없었다(Fig. 2-E). 인산 과잉시에는 윤택이 없거나 기형과가 발생하였다(Fig. 2-F).

정식 35일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎(정부로부터 3~4번째 잎)을 채취하여 무기원소 함량을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 인산 시비농도가 증가함에 따라 식물체의 질소와 인산 함량은 증가하는 경향을 보였으나 칼륨, 칼슘, 및 마그네슘 함량은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 본 연구를 위한 양액 조성에서 모든 처리가 2.5mM의 NH_4-N 을 포함하였으며 음이온인 인산 흡수량이 증가함에 따라 양이온의 흡수량이 증가하는 상호작용(Marschner, 1995; Nelson, 2003)으

로 인해 식물체내 질소함량이 증가하였다고 판단 식물체내 인산함량 증가의 원인이 되었다고 판단 한다. 인산 함량의 경우 시비농도 증가가 직접 한다.

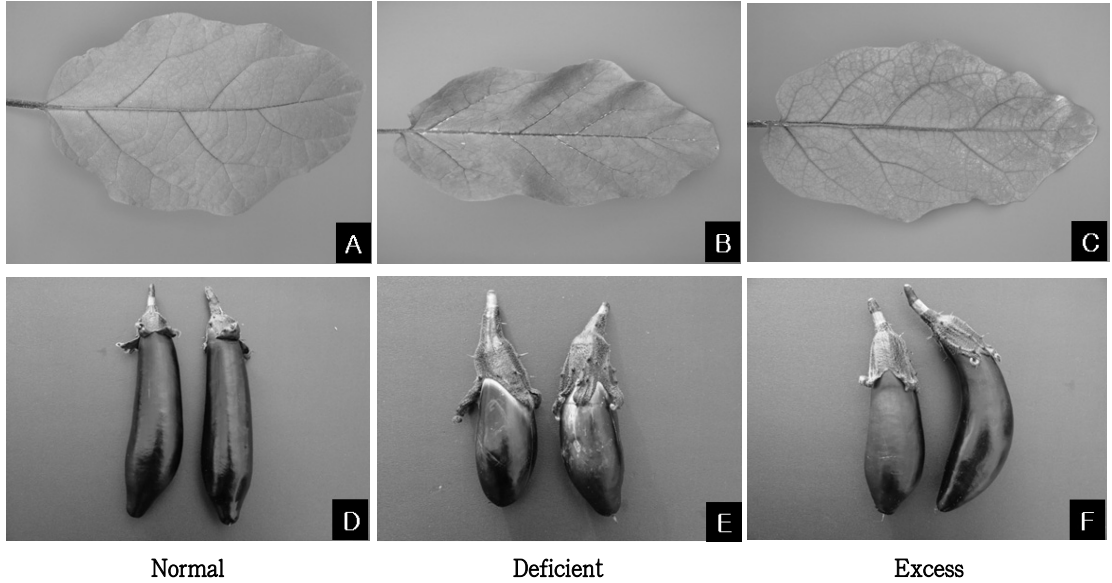


Fig. 2. Induced phosphorus deficiency and toxicity symptoms in 'Chugyang' egg plants (A: Leaves of normal plant, B: Leaves of P deficient plant, C: Leaves of P excess plant, D: Normal fruits, E: P deficient fruits, F: P excess fruits).

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

P (mM)	N	P	K			Ca			Mg			Fe			Cu			Mn			Zn		
			----- (%) -----									----- (mg · kg ⁻¹) -----											
0.00	5.57	0.59	3.92	1.67	0.75	102.06	4.61	61.36	30.66														
0.25	5.61	0.79	4.02	1.82	0.77	83.51	4.68	61.52	32.70														
0.50	5.62	0.91	4.09	1.78	0.75	65.81	3.95	60.25	27.88														
0.75	5.69	1.08	3.99	1.83	0.77	68.66	4.20	59.85	30.07														
1.00	5.77	1.12	4.21	1.85	0.77	72.67	4.59	57.83	29.39														
1.25	5.79	1.21	4.33	1.76	0.84	70.29	5.05	57.79	30.64														
3.00	5.76	1.25	3.88	1.76	0.86	67.23	4.90	57.74	32.85														
5.00	5.82	1.36	4.02	1.72	0.81	65.14	5.18	61.69	34.43														
7.00	6.05	1.57	3.91	1.48	0.79	72.24	4.27	68.02	37.14														
LSD _{0.05}	0.10	0.05	0.39	0.07	0.05	0.92	0.48	0.63	5.79														
Significance ^z	L ^{***}	L ^{***}	NS	NS	NS	Q ^{**}	NS	NS	NS														

^zSignificance of trend: ***P=0.001; **P=0.01; NS, nonsignificant; L: liner; Q: quadratic.

Fig. 3에는 정식 35일 후의 '축양' 가지 지상부 건물중과 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 인산 함량을 나타내었다. 식물체당 건물중은 23g에서 3차곡선회귀($y=10.43+14.47x-4.7642x^2+0.3977x^3$, $R^2=0.6909$)의 정점이 형성되었다. Ulrich(1993)의 주장과 같이 최대생장량의 90% 성장량을 생장 억제를 위한 최저한계점으로 간주할 경우 식물체당 건물중 20.7g에 해당하며, 이때의 식물체 인산함량($y=0.7887+0.2394x-0.0197x^2$, $R^2=0.7714$)은 0.98%에 해당한다. 또한 3차곡선회귀의 정점을 지나 과잉에 의해 생장이 억제될 때 최대 성장량의 90% 성장량의 인산 함량은 1.35%이다. 따라서 정식 35일 후의 식물체내 인산함량이 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 0.98~1.35%를 유지하도록 시비하여야 생장 억제를 방지할 수 있다고 판단한다.

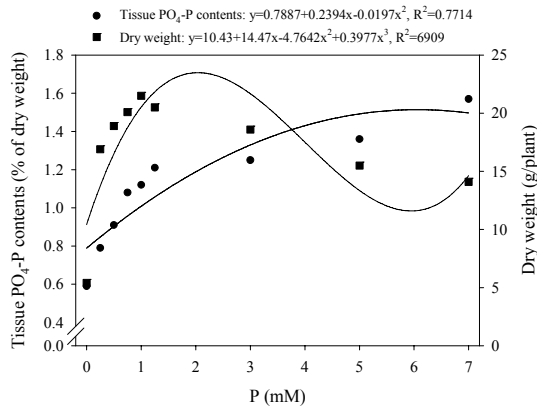


Fig. 3. Influence of elevated phosphorus concentrations in the fertilizer solution on changes in tissue PO_4 -P contents in most recently fully expanded leaves and dry weight of above ground plant tissue at 35 days after transplanting of 'Chugyang' egg plant.

인산 농도를 조절한 관비용액으로 '축양' 가지를 재배하면서 수확 후기인 정식 150일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 채취하여 무기원소 함량을 분석하고 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 인산 시비농도가 증가할수록 식물체의 질소 및 인산 함량을 직선적으로 증가하였다. 그러나 식물체의 K, Ca, Mg 및 미량원소 함량은 처리별 차이가 인정되었지만 직선 및 곡선회귀가 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다. 인산 시비농도의 증가에 따라 식물체 질소 함량이 증가한 원인은 음이온이 흡수될 때 양이온의 흡수가 촉진되는 상호작용(Bennett, 1993; Marschner, 1995, Nelson, 2003)이 원인이 되었다고 판단한다. 즉, 본 실험에서 모든 처리가 2.5mM의 NH_4 -N을 포함하고 있으며 음이온인 인산의 흡수량 증가에 따라 양이온인 NH_4 -N의 흡수량이 증가한 것으로 해석된다. 인산함량의 증가는 시비농도 증가가 직접 영향을 미쳤기 때문이라고 판단하였다. 일반적으로 Ca, Mg 및 미량원소의 흡수량은 시비농도와 토양 pH에 큰 영향을 받는데(Hanan, 1998; Nelson, 2003), Fig. 5에 나타낸 바와 같이 정식 35일 후와 150일 후의 토양 pH가 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으며, 이들 원소의 흡수량에서도 경향을 찾을 수 없는 원인이 되었다고 판단한다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 관비 용액의 인산 시비농도는 '축양'가지의 식물체내 인산 함량과 수량에 뚜렷한 영향을 미쳤다. 본 연구에서 정식 150일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 인산 함량은 시비농도에 대하여 2차곡선회귀적($y=1.0589+0.5207x-0.0573x^2$)으로 반응하여 증가하였다. 정식 150일 후까지 수확한 '축양' 가지의 수량은 3차곡선회귀적 반응($y=1194.6+1502.2x-454.5x^2+35.64x^3$)을 보였고, 식물체당 2700kg에서

3차곡선회귀의 정점이 형성되었다. Ulrich(1993)의 보고와 같이 최대 수량의 90% 수량을 수량 억제 방지를 위한 한계수준으로 판단하면 2,430kg이 되며, 이 때의 식물체내 인산 함량은 1.53% 및 2.25% 이다. 따라서 '축양' 가지의 수량억제를 방지하기 위해서는 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 인산 함량이 1.53~2.25%의 범위에 포함되도록 시비농도 및 횟수를 조절해야 할 것으로 판단하였다.

이상의 결과는 Choi와 Lee(2004)가 백합 'Casa Blanca'를 대상으로 수행한 연구, Choi와 Park(2007)이 잎들깨를 대상으로 수행한 연구, Choi 등(2009)이 '매향' 달기를 대상으로 수행한 연구, Kim 등(2005)이 국화 'Biarritz'를 대상으로 수행한 연구 그리고 Jeong 등(2000)이 '여봉' 딸기를

대상으로 수행한 연구 결과 보다 월등히 높은 수준에서 적정 영역이 형성된 것이다. 이와 같은 차이가 발생한 것은 두 종류의 가능한 원인을 찾아볼 수 있다. 첫째는 식물체의 분석부위로써, 이상의 연구에서는 식물체의 지상부 전체를 분석 대상으로 삼은데 비해 본 연구에서는 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 대상으로 삼아 차이가 발생하였다고 판단한다(Nelson, 2003). 둘째는 이상의 연구에서 대상으로 삼은 국화, 딸기 및 백합보다 '축양' 가지의 인산 흡수량이 많은 것에서 원인을 찾을 수 있다고 사료된다(Gibson 등, 2007; Hanan, 1998).

Fig. 5에는 정식 35일 후와 150일 후 토양 시료를 채취하여 pH와 EC 변화를 측정하고, 그 결과를 나타내었다. 정식 35일 후의 pH는 각 처리

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

P (mM)	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- (%) -----					----- (mg · kg ⁻¹) -----			
0.00	3.86	0.88	2.81	2.01	0.71	107.2	5.9	86.6	40.6
0.25	4.49	0.80	4.40	1.49	0.52	83.9	5.3	172.0	35.0
0.50	4.97	1.43	4.02	1.32	0.59	94.4	6.0	147.7	43.4
0.75	5.06	1.68	4.19	1.66	0.67	80.5	4.6	162.2	27.5
1.00	4.73	1.67	3.99	1.64	0.68	76.5	5.5	164.4	32.8
1.25	5.24	1.88	4.10	1.60	0.62	79.1	5.6	181.5	34.2
3.00	5.07	1.96	4.16	1.92	0.69	81.1	4.7	173.7	28.1
5.00	5.18	2.03	3.91	1.69	0.68	77.1	4.2	167.9	35.2
7.00	5.11	2.01	3.58	1.38	0.54	83.1	3.4	182.9	31.8
LSD _{0.05}	0.25	0.06	0.72	0.08	0.04	6.56	2.23	3.56	4.21
Significance ²	L*	L***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

²Significance of trend : ***P=0,001; **P=0,01; *P=0,05 NS, nonsignificant; L: liner; Q: quadratic.

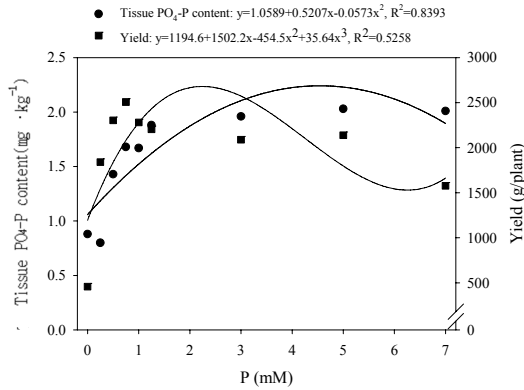


Fig. 4. Influence of elevated phosphorus concentrations in the fertilizer solution on changes in tissue $\text{PO}_4\text{-P}$ contents in most recently fully expanded leaves and yield per plant at 150 days after transplanting of 'Chugyang' egg plant.

별 다소간의 차이가 있었지만 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었지만, 인산 시비농도가 증가할수록 토양 EC는 2차곡선회귀적으로 증가하여 경향이 뚜렷하였다. 그러나 정식 150일 후 측정된 토양 pH와 EC는 0.25, 0.50 및 0.75mM 처리에서 뚜렷하게 높았지만 1.25mM 이상의 인산 시비구 간에는 차이가 뚜렷하지 않았다. 토양 pH가 뚜렷한 경향을 보이지 않은 것은 토양 용액의 인산이 토양 pH 변화에 따라 쉽게 H_2PO_4^- 와 HPO_4^{2-} 의 형태로 상호 변화되는 특성이 있기 때문이다(Hanan, 1998). 즉, 근권부에 생성되는 H^+ 의 양이 증가하면 H_2PO_4^- 의 형태로 변화하고, H^+ 의 양이 감소하면 HPO_4^{2-} 의 형태로 변화하여 근권부에 발생하는 H^+ 이 직접 토양 용액의 pH에 영향을 미치지 못하고 토양용액의 완충능이 증가하였기 때문이라고 판단하였다.

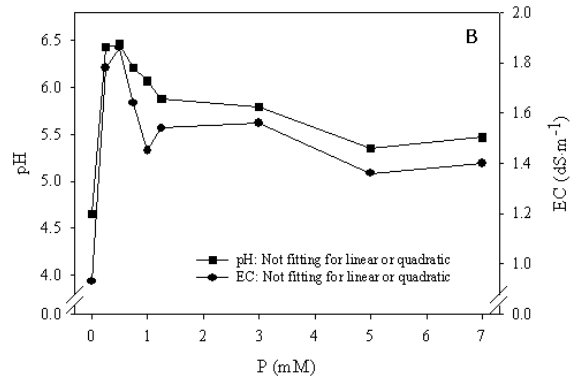
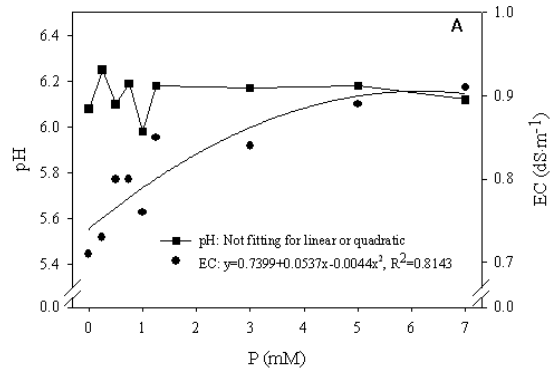


Fig. 5. Influence of elevated phosphorus concentrations in the fertilizer solution on changes of pH and EC in soil solution of root media at 35 (A) and 150 (B) days after transplanting of 'Chugyang' egg plant.

IV. 적 요

관비 용액의 인산 농도가 '축양' 가지의 인산 결핍 및 과잉증상 발현, 식물 생육 그리고 수확량에 미치는 영향을 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. 또한 정식 35일과 150일 후의 식물체 분석을 통해 최대 생산량과 수확량을 위한 식

물체내 적정 인산 함량을 설정하였다. 가지에서 인산이 결핍되면 식물체의 하엽이 암록색으로 변하면서 점차 자주색을 띄었고, 열매는 비대되지 못하여 정상과 보다 작았다. 인산 과잉시 하엽 가장자리가 반점형태의 엽은 갈색을 띤 후 점차 하엽 안쪽으로 확산되었으며, 과일은 비대되지 못하거나 곱과가 발생되었다. 정식 35일 후의 지상부 건물증과 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 인산 함량은 인산 시비농도에 대하여 각각 3차곡선회귀적($y=10.43+14.47x-4.7642x^2+0.3977x^3$) 및 2차곡선회귀적($y=0.7887+0.2394x-0.0197x^2$) 반응을 보였다. 최대 성장량의 90% 성장량을 생장억제를 방지하기 위한 한계점으로 설정하면 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 0.98~1.35%의 범위에 포함되도록 시비농도를 조절해야 한다. 정식 150일 후 수량과 식물체내 인산 함량 변화도 인산 시비농도에 대하여 각각 3차곡선회귀적 반응($y=1194.6+1502.2x-454.5x^2+35.64x^3$) 및 2차곡선회귀적($y=1.0589+0.5207x-0.0573x^2$) 반응을 보였고 가장 최근에 완전히 전개된 잎을 기준으로 인산 함량이 1.53~2.25%의 범위에 포함되도록 시비농도 및 횡수를 조절하여야 수량 감소를 방지할 수 있다고 판단하였다.

주요어 : 결핍증상, 과잉증상, 토양 무기염 농도, 한계농도

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지역특화과제 지원에 의해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. AS Press, St. Paul, Minn.
2. 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.
3. Chaney, A.L. and E.P. Marback. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical Chem. 8:130-132.
4. Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. Method of analysis for soil, plants and waters. Univ. of Calif., Div. Agr. Sci., Berkeley, CA.
5. Choi, J.M. and J.Y. Park. 2007. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of leaf perilla (*Perilla frutescens* Biitt) influenced by phosphorus concentrations in fertigation solution. J. Bio-Environ. Control 16:358-364.
6. Choi, J.M. and K.H. Lee. 2004. Effect of nitrogen concentration in fertilizer solution on growth of and nutrient uptake by Oriental hybrid lily 'Casa Blanca'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:82-88.
7. Choi, J.M., S.K. Jeong, and K.D. Ko. 2009. Characterization of symptom and determination of tissue critical concentration for diagnostic criteria in 'Maehyang' strawberry as influenced by phosphorus concentrations in the fertigation solution. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:55-61.
8. 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.

9. Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. *Anal. Biochem.* 85:591-594.
10. 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.
11. Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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(2): 761-768.
16. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, USA.
17. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. Int'l. Potash Inst., Bern, Switzerland.
18. Murphy, J. and J.F. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.
19. Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
20. Ulrich, A. 1993. Potato, p. 149-156. In: W.F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press, St Paul, Minn.
21. Warncke, P.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience* 211:223-225.