

## Ca 시비농도가 절화국 'Biarritz'의 생육과 양분 흡수에 미치는 영향

김정만 · 최종명\*<sup>1</sup> · 정해준<sup>1</sup> · 최동철  
전라북도 농업기술원, <sup>1</sup>배재대학교

### Effect of Calcium Concentration in Fertigation Solution on Growth and Nutrient Uptake of Cut Chrysanthemum 'Biarritz'

Jeong Man Kim, Jong Myung Choi\*<sup>1</sup>, Hae Joon<sup>1</sup> Chung, and Dong Chil Choi

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

<sup>1</sup>Division of Hort. & Landscape Architecture, Paichai Univ., Daejeon 302-735, Korea

**Abstract.** The objective of this study was to determine the effect of calcium concentrations in fertilizer solution on growth and cut flower quality of chrysanthemum 'Biarritz'. To achieve this, deficiency symptom and growth characteristics as influenced by controlled Ca concentrations in fertilizer solution were investigated. The analysis of plant tissue and soil solution of root media were also conducted to secure optimum concentration for plant growth. Calcium deficiency developed on the very youngest leaves and the young leaves developed "cupped" shape as they expand. The cut flower length of 0, 3.0 and 6.0 mM treatments were 105.8, 106.5, and 107.3 cm, respectively. Elevated Ca concentration within the range from 0 to 6.0 mM in fertilizer solution increased cut flower weight. The cut flower weight of control and 6.0 mM treatment were 51.6 and 59.4 g, respectively. The tissue Ca content of 6.0 mM treatment in which crops showed the highest growth among treatments was 3.09% based on the dry weight of the youngest fully expanded leaves. From the results, it seems necessary to maintaining tissue Ca content higher than 2.8%. Soil Ca concentrations increased as K concentrations in fertilizer solution were elevated. Ca concentration in 0.0, 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 mM treatments were 5.0, 7.4, 12.1, 16.5 and 28.2 mg · L<sup>-1</sup>, respectively, at harvesting stage. It is suggested that Ca concentration higher than 25.4 mg · L<sup>-1</sup> in soil solution of root media is required to maintain normal growth.

**Additional key words :** critical concentration, deficiency symptom, soil solution concentration

## 서 언

대기중의 습도가 높거나 토양의 수분 부족으로 식물이 수분을 흡수할 수 없는 상황에서 Ca 결핍증상이 나타난다(Marschner, 1995; Mengel과 Kirkby, 1987). 또한 토양의 pH가 강산성으로 변할 경우 토양 Ca이 다른 무기물과 결합하여 불용화되어 칼슘 결핍이 유발된다(Lindsay, 1979). Ca은 뿌리의 자유공간(apoplastic pathway)을 통해 수동적으로 흡수되며, 식물체 내 물관부에서의 이동도 증산류를 따라 수동적으로 이루어진다. 또한 사부에서 칼슘은 이동이 되지 않아 하향 이동이 안되는 것으로 알려져 있다(Mengel과 Kirkby, 1987; Marschner, 1995). 따라서 Ca 결핍증상은 신엽에서 먼저 발생하며, 증상이 심해지면 점차 아래쪽으로

확산된다(Nelson, 2003).

국화의 정상적인 생육을 위한 식물체내 Ca 함량에 관해서는 연구자에 따라 차이가 크게 보고되었다. Kofraneck과 Lunt (1975)는 식물체내 Ca 함량이 0.46% 이하일 때 생육이 저하한다고 하였고, Nelson (2003)은 1.0% 이하에서 생육이 저하한다고 하였다. Kofraneck (1980)은 0.5~4.6%가 적정 Ca 함량이라고 보고하였으나, Bunt (1988)은 1.0~2.0%가 적정 범위라고 보고하였다. Williams와 Nelson (1997)은 국화 'Sunny Mandalay'를 정식한 후 36일 째에 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 Ca 함량은 0.47~1.49%의 범위에, 출하기인 정식 67일 후 지상부 전체를 분석한 결과 0.63~1.52%의 범위에 포함되었다고 하였다. Williams 등 (2000)은 국화 'Sunny Mandalay'를 재배하면서 정식 36일째의

가장 최근에 전개된 잎은 0.47~0.97%, 그리고 67일째의 지상부 전체는 0.63~1.12%의 식물체내 Ca 함량을 갖는다고 보고하였다.

식물 생육과 관련된 적정 토양 Ca 농도에 관하여 Warncke (1990)는 포화추출법으로 분석할 때 토양 Ca 농도가 200 mg · L<sup>-1</sup> 이상이 되도록 시비하여야 하며, 적절한 범위는 11~16 mg · L<sup>-1</sup>(Warncke, 1986)이라고 하였다. Nelson (2003)과 Bunt (1988)는 포화추출법으로 분석할 경우 토양 Ca 농도가 200 mg · L<sup>-1</sup> 이상이 되도록 시비하여야 하며, 80~199 mg · L<sup>-1</sup>도 수용 가능한 범위라고 주장하였다.

국화재배는 소비자들의 기호를 충족시키기 위하여 재배 품종이 계속하여 변화하고 있다. 따라서 최근에 재배되고 있는 품종을 대상으로 생육과 관련된 식물체의 적정 무기원소 함량 및 토양 무기염 농도가 밝혀져야 이를 대상으로 시비방법이 확립되고 절화품질을 우수하게 유지할 수 있으나 관련 연구가 수행되지 않아 재배농가에서 많은 어려움을 겪고 있다.

본 연구는 칼슘의 시비농도를 인위적으로 조절하여 작물생육 및 절화 품질에 미치는 영향을 밝히고 이와 관련된 식물체와 토양내 무기원소의 농도를 구명하여 무기원소와 관련된 생리장해를 판단할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 수행하였다.

### 재료 및 방법

본 연구는 절화용 스프레이 국화인 'Biarritz'를 대상으로 수행하였다. 삼목 2주후에 잎이 4~5매인 플러그묘를 플라워박스(용적 12,000 mL)에 질석(Ø2-3 mm)과 피트모스(Acadian, Canada)를 1:1(v/v)로 혼합한 상토를 충전한 후 정식하였다. 국화는 2002년 12월에

정식하였고, 온도는 주간 25°C, 야간 16°C가 유지되도록 난방 및 보온과 환기 관리를 하였다.

실험은 Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 기준으로 Ca 농도를 조절하여 5처리를 만들어 반복당 10주씩 3반복하여 총 150주를 정식하였다(Table 1). 지하수(NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.03, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 9.7, T-P 0.2, Fe 0.05, Mn 0.51, Zn 0.11 mg · L<sup>-1</sup>)를 이용하여 양액을 조성하였고 pH를 6.0으로 조절하여 정식 직후부터 공급하였다. 양액은 주당 2~3회 기준으로 공급하면서 기상 변화에 따라 상토가 건조되는 것을 고려하여 적절히 가감하였고 용탈률(leaching percentage)이 20~30%를 유지하도록 급액량을 조절하였다.

식물체의 무기원소 분석은 정식 48일과 109일째에 가장 최근에 완전히 전개된 정단부의 3-4번째 잎을 채취하여 분석시료로 이용하였다. 채취한 시료는 0.2 N HCl로 1분간 세척한 후 증류수로 다시 수세하고, 75 °C 건조기에서 24시간 건조 후 20 mesh screen을 통과하도록 유발을 이용하여 마쇄하였다. 시료의 일부는 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978; Model digestion 및 distillation unit B-324, Buchi)에 의한 전질소(T-N) 함량 분석에 이용하였다. 기타 원소의 분석을 위해 건식분해법(Choi, 1994)으로 산화시킨 후 molybdate-vanadate법(Chapman 및 Pratt, 1961)에 의한 P 함량과 원자흡광 분석계(Model 680, Shimadzu)로 K, Ca, Mg, Na, Fe 및 Mn 함량을 분석하였다.

토양 용액분석도 식물체 분석과 동일한 시기에 수행하였다. 급액 2시간 후에 토양내의 용액이 화학평형에 도달하였다고 판단하고 시료를 채취하였으며, Warncke (1986)의 방법으로 토양용액(soil solution)을 추출하였다. 추출 후 5.6%의 phenylmercuric acetate를 2-3방울 첨가하여 미생물에 의한 변질을 방지하였다. pH와

**Table 1.** Composition of nutrient solution used to investigate the effect of each nutrient on growth and flowering of cut chrysanthemum 'Biarritz'.<sup>2</sup>

Concentration (mM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	(mM)							
0	2	15	0	2	13	2	1	0
1.5	0	15	1.5	2	15	2	1	2
3.0	0	15	3.0	2	15	2	1	5
4.5	0	15	4.5	2	15	2	1	7
6.0	0	15	6.0	2	15	2	1	10

<sup>2</sup>Micronutrient : MnCl<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O 1.81, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 2.86, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.22, CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O 0.08, H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O 0.09 and Na<sub>2</sub>FeEDTA 0.79, g · L<sup>-1</sup>

EC측정은 pH meter(Model 900A, Orion)와 EC meter (Model 122, Orion)로 측정하였다. 추출된 토양용액을 이용하여 NH<sub>4</sub>-N(Chaney와 Marback, 1975), NO<sub>3</sub>-N (Cataldo 등, 1975), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(Murphy와 Riley, 1962)는 비색정량하고, K, Ca Mg는 원자흡광분석기(Model 680, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다.

정식 4주 후부터 2주 간격으로 초장과 엽수를 조사하였고, 정식 109일 후에 절화장, 절화중, 엽수, 꽃수, 줄기직경, 화폭 및 건물중 등을 조사하였다. 절화장은 지체부에서 절화하여 최상단까지의 길이로 하였으며, 절화중은 절화장을 측정된 개체의 생체중을 측정하였고, 80°C에서 48시간 건조한 후 건물중을 측정하였다. 엽수는 각 절화 분수별로 총엽수를, 화수는 절화 1분당 개화된 꽃수를 조사하였다. 줄기직경은 지체부에서 5 cm 부위의 직경을 측정하였다.

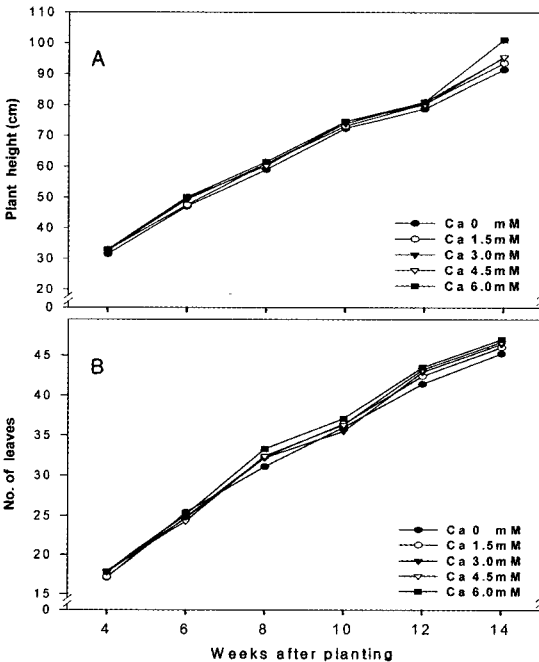


Fig. 1. Changes in plant height (A) and number of leaves (B) of chrysanthemum 'Biarritz' as influenced by elevated calcium concentrations in fertilizer solution.

### 결과 및 고찰

**생육 및 절화 특성:** 초장은 관비 용액에 Ca 농도를 증가시켜도 정식 12주까지는 영향을 크게 미치지 않았으나 14주 후에는 6.0 mM에서 107.8 cm로 가장 컸고, 무처리구, 4.0 및 6.0 mM 시비구간에는 통계적인 유의성이 인정되었다(Fig. 1A, Table 2). 엽수는 Ca 시비농도에 따른 유의성이 인정되지 않았다(Fig. 1B 및 Table 2). 이상의 결과는 Kageyama 등 (1995)이 보고한 내용과 유사한 결과이다. 그들은 국화를 양액 재배하면서 Ca 시비농도에 따른 변화된 절화장의 변화에 있어서 시비농도를 증가시킬 경우 절화장이 길어졌다고 하여 본 연구 결과를 뒷받침하고 있다.

Hoagland 용액을 변화시켜 Ca 농도를 조절된 양액을 시비하고, 정식 109일 후(절화 수확기)에 조사한 절화 특성은 Table 2와 같다. 절화장은 105.8~107.8 cm 범위에 포함되었고, 6.0 mM 시비구에서 107.8 cm

Table 2. Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on growth and flowering characteristics of chrysanthemum 'Biarritz' at 109 days after planting.

Ca (mM)	Length of cut flower (cm)	Weight of cut flower (g/stem)	No. of leaves (per plant)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	No. of flowers (per plant)	Flower diameter (mm)
0.0	105.8	51.6	56.7	7.9	4.6	5.8	11.9	32.1
1.5	106.2	55.0	56.9	7.9	4.7	5.9	11.6	33.1
3.0	106.5	56.5	57.0	7.9	4.8	5.9	12.4	31.0
4.5	107.3	58.8	57.1	8.0	4.8	5.8	12.7	35.7
6.0	107.8	59.4	57.5	8.2	5.1	6.6	12.7	33.9
LSD <sub>0.05</sub>	1.30	1.77	3.20	0.30	0.30	0.25	1.14	1.5
Significance <sup>z</sup>	L***	L***	NS	L*	L**	Q***	L*	Q**

<sup>z</sup>Significance of trend: \*\*\*P=0.01; \*\*P=0.01; \*P=0.05; NS, non-significant; L; linear Q, quadratic.

로 가장 길어 무처리에 비해 통계적인 차이가 인정되었다. 절화중은 무처리구에서 51.6 g였는데 4.5 mM과 6.0 mM 처리에서 각각 58.8과 59.4 g으로 시비농도 증가가 절화중 증가의 원인이 됨을 알 수 있었다. 식물체당 엽수는 56.7~57.5매로 처리간 차이가 인정되지 않았다. 시비농도가 증가하여도 엽장, 엽폭, 화수 및 화폭에서는 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았으나 약간씩 증가하여 직선 또는 2차곡선회귀가 성립하였다. 줄기 직경은 6.0 mM 시비구에서 뚜렷하게 굵어져 무시비구~4.5 mM 시비구에 비해 통계적인 차이가 인정되었다.

Jeong 등 (2001)은 딸기에서, Roorda van Eysinga와 Smilde (1980) 및 Penningsfeld (1972)는 국화에서 Ca 결핍이 초장과 식물체중을 감소시키며, 형성된 꽃수를 감소시킨다고 하였다. 칼슘 결핍으로 생장이 억제되었다는 이상의 보고들과 유사하게 본 연구에서도 칼

슘 결핍으로 전반적인 생육이 저조한 것으로 나타났다.

**결핍증상:** Fig. 2와 3에서와 같이 칼슘 결핍증상은 신생엽에서 나타났으며, 신생엽의 잎 가장자리가 검게 변하면서 기형화되고 정상적으로 발육하지 못하였다. 기형화된 잎은 끝이 타들어가는 tip-burn 현상을 보였다(Fig. 3A와 3B). Winsor (1968)와 Seeley (1978)도 정상적인 작물의 Ca 함량은 하엽보다 상위엽에서 높으며 결핍증상은 상위엽에서 나타난다고 보고한 바 있다. 또한 Nelson (1991)은 Ca 결핍증상은 신엽에서 먼저 발생하고, 증상이 심해지면 점차 하층부로 확산된다고 하였는데, 본 연구에서도 칼슘 무처리구에서 결핍증상이 신생엽에서 나타났다.

**식물체내 무기원소 함량:** 생육 중기인 정식 48일 후 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 건물중에 기초한 무기원소 함량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. N 함량은 6.0 mM 시비구에서 5.61%로 가장 높았고, 무처



Fig. 2. Calcium deficiency symptom of chrysanthemum 'Biarritz' developed on the young leaves with "cupped" shape.

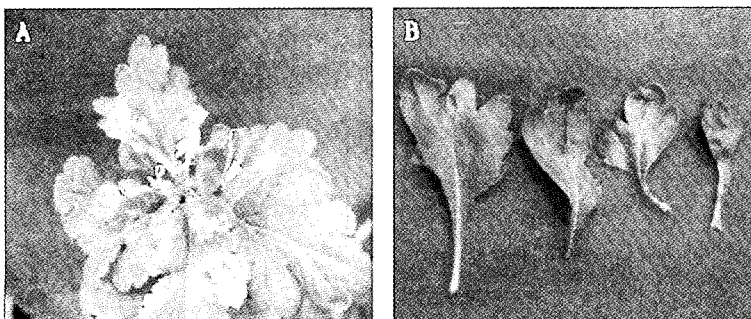


Fig. 3. Calcium deficiency developed on the very youngest leaves (A). The young leaves developed "cupped" shape as they expand (B).

**Table 3.** Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on nutrient contents of the youngest fully expanded leaves at 48 days after planting.

Ca (mM)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
	----- (%) -----						---- (mg · kg <sup>-1</sup> ) ----	
0.0	4.17	0.84	3.50	0.05	0.71	0.11	49.3	13.5
1.5	4.95	0.83	3.79	0.50	0.58	0.18	104.0	55.0
3.0	5.12	0.78	3.23	0.65	0.53	0.09	79.7	51.7
4.5	5.39	0.77	2.94	0.85	0.52	0.09	85.9	39.6
6.0	5.61	0.82	2.47	1.02	0.38	0.12	96.3	47.5
LSD <sub>0.05</sub>	0.23	0.13	0.13	0.09	0.06	0.04	18.2	7.04
Significance <sup>z</sup>	L***	NS	L**	L***	L***	NS	Q*	NS

<sup>z</sup>Significance of trend: \*\*\*P=0.001; \*\*P=0.01; \*P=0.05; NS, nonsignificant; L, linear; Q, quadratic.

리구에서 4.17%로 가장 낮았다. 이는 양이온인 칼슘의 시비량 증가가 관비 양액에 포함된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 흡수량을 촉진시키는 상호 작용에 기인한 결과라고 판단된다. 그러나 P 함량은 Ca 시비량에 따른 차이가 크지 않아 처리간 차이가 없었다. Ca의 시비농도 증가는 식물체내 Mg 함량을 감소시켰는데, 무처리구에서 0.71%, 1.5 mM에서 0.58%, 3.0과 4.5 mM 시비구에서 각각 0.53 및 0.52%로 시비농도가 증가할수록 흡수량이 감소하는 경향을 보였다. K 함량도 시비량이 증가할수록 감소되는 경향을 보였다. 시비농도의 증가에 따른 K와 Mg의 식물체내 함량 감소는 뿌리에서 흡수되는 과정에서 양이온간 길항작용이 발생하였기 때문이라고 판단된다(Marschner, 1995; Nelson, 2003).

Ca의 시비농도에 따른 정식 109일 후 지상부의 무기원소 함량은 Table 4와 같다. 총 N 함량은 5.80~

7.78% 범위였고, 무시비구에서는 식물체내 인산함량이 낮았지만, 저농도 시비구에서는 P 함량이 높아졌다가, 다시 시비농도가 높아질수록 식물체내 인산함량이 낮아져 5% 수준의 2차곡선회귀가 성립하였다. 무처리에서 P 함량이 낮았던 원인은 칼슘이 전혀 공급되지 않은 상태에서 근권부의 생육이 불량하여 P 흡수량이 낮았던 때문이며 Menge과 Kirkby(1987)도 이와 유사한 보고를 한 바 있다. 그러나 고농도 시비구에서 P 함량이 낮았던 원인은 토양의 Ca 농도가 높아짐에 따라 토양 용액 중의 P과 결합하여 불용화 시킴으로써 흡수량 저하의 원인이 되었다고 판단된다(Lindsay, 1979; Hannan, 1997; Nelson, 2003).

K와 Mg의 식물체내 함량은 시비농도가 증가함에 따라 점차 낮아지는 경향이었는데 이는 뿌리에서 흡수하는 과정에 양이온간 길항 작용이 발생하였기 때문이

**Table 4.** Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on nutrient contents of the youngest fully expanded leaves at 109 days after planting.

Ca (mM)	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Dry weight (g/plant)
	----- (%) -----						---- (mg · kg <sup>-1</sup> ) ----		
0.0	5.80	0.85	6.63	0.63	1.15	0.64	77.5	50.5	8.15
1.5	6.13	0.95	7.11	1.21	1.10	0.61	76.2	57.7	8.68
3.0	7.20	0.93	6.34	1.39	0.97	0.55	63.6	45.3	8.93
4.5	7.42	0.86	5.45	2.21	0.91	0.56	59.3	65.8	9.27
6.0	7.78	0.79	3.50	3.09	0.89	0.61	79.8	69.8	9.36
LSD <sub>0.05</sub>	0.26	0.14	0.16	0.13	0.09	0.03	18.3	8.83	0.34
Significance <sup>z</sup>	L***	Q*	L***	L***	L***	NS	NS	Q*	L***

<sup>z</sup>Significance of trend: \*\*\*P=0.001; \*P=0.05; NS, nonsignificant; L, linear; Q, quadratic.

Ca 시비농도가 절화국 'Biarritz'의 생육과 양분 흡수에 미치는 영향

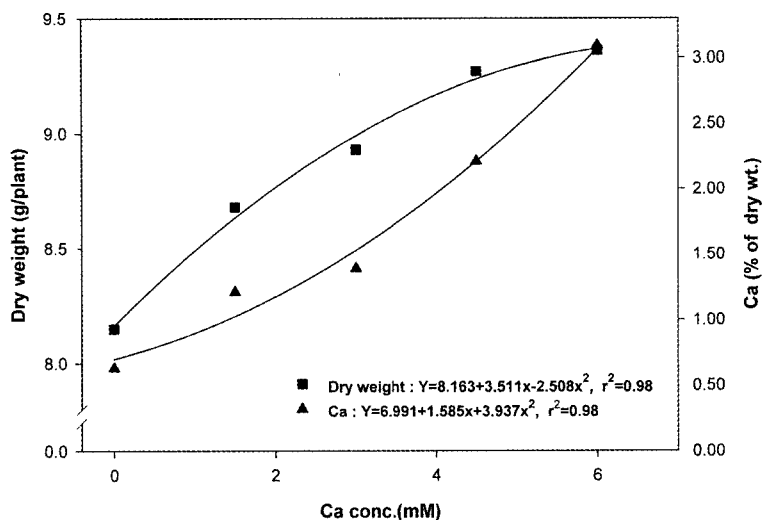


Fig. 4. Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on changes in dry weight of the above-ground plant tissue and calcium content of the youngest fully expanded leaves at 109 days after planting.

라고 판단되며, Mengel과 Kirkby (1987), Marshner (1995)도 이와 유사한 보고를 한 바 있다. Fe 및 Mn은 양이온이지만 K나 Mg과는 다른 접근이 필요하다. Lindsay (1979), Bunt (1988) 및 Hannan (1997)은 이상의 금속원소의 경우 토양 pH가 산성으로 변할 때 토양내 용해도가 급격히 증가하여 식물체가 흡수하는 양이 증가한다고 하였고, 본 연구에서의 Mn 흡수량은 그들이 주장한 내용과 유사한 경향을 보였다고 판단된다.

Fig. 4는 시비농도 증가에 따른 절화 수확기의 건물중 및 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 Ca 함량을 나타내었다. 식물체당 건물중은 무처리구에서 8.15g이고, 6.0 mM 시비구에서 9.36g으로 가장 무거웠고, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 mM 시비구에서 각각 1.21, 1.39, 2.21 및 3.09%의 식물체내 Ca 함량을 나타내었다 (Table 4). Ulrich (1993)는 식물의 정상 생육과 관련한 무기물의 최저한계점(minimum critical concentration) 및 최고한계점(maximum critical concentration)에 관해 설명하면서 최대 건물중을 보인 처리의 무기물 함량보다 10% 낮은 식물체내 무기물 함량이 정상 생육을 위한 최저한계점이라고 주장하였다. 그의 주장을 본 연구에 적용할 경우 최대 건물중을 생산한 6.0 mM 시비구의 Ca 함량이 3.09%였으므로 2.8% 이상의 Ca 함량을 갖도록 시비하여야 한다고 판단된다.

국화의 정상적인 생육을 위한 식물체내 Ca 함량에 관해 Kofraneck과 Lunt (1975)는 식물체내 Ca 함량이

0.46% 이하 일때 생육이 저하한다고 하였고, Nelson (2003)은 1.0% 이하에서 생육이 저하한다고 하였다. Kofraneck (1980)은 0.5~4.6%가 적정 Ca 함량이라고 보고하였으나, Bunt (1988)은 1.0~2.0%가 적정 범위라고 보고하여 연구자마다 차이가 있었다. 그러나 이상의 보고들은 분석 부위를 정확하게 설명하지 않았으며, 분석 부위에 따라 식물체내 무기물 함량이 차이가 큰 점을 고려할 때 분석 부위의 차이가 추천량 차이의 원인이 되었다고 판단된다. Williams와 Nelson (1997)은 국화 'Sunny Mandalay'의 플러그 묘를 정식한 후 36일 째에 가장 최근에 완전히 전개된 잎의 Ca 함량은 0.47~1.49%의 범위에 포함되었고, 출하기인 정식 67일 후 지상부 전체를 분석한 결과 0.63~1.52%의 범위에 포함되었다고 하였다. Williams 등 (2000)은 국화 'Sunny Mandalay'를 재배하면서 정식 36일째의 가장 최근에 완전히 전개된 잎은 0.47~0.97%, 그리고 67일째의 지상부 전체는 0.63~1.12%의 식물체내 Ca 함량을 갖는다고 보고하였다. 이와 같이 보고자에 따라 식물체내 적정 함량에서 차이가 큰 것은 Mengel과 Kirkby (1987)가 지적한 바와 같이 생육이 저하하기 시작하는 최저한계점(lower critical concentration)과 과잉증상을 유발하는 최고한계점(upper critical concentration)까지의 폭이 커서 국화의 상업 재배시 Ca 결핍 및 과잉증상이 잘 나타나지 않기 때문이라고 판단된다.

토양 무기원소 농도: Table 5는 생육 중기인 정식

**Table 5.** Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on chemical properties in soil solution of root media at 48 days after planting.

Ca (mM)	pH	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	(mg · L <sup>-1</sup> SPES <sup>2</sup> )			
					P	K	Ca	Mg
0	5.54	1.53	3.16	113.9	5.10	42.1	3.03	0.43
1.5	5.42	1.84	3.58	157.2	5.40	125.6	4.34	1.63
3.0	5.08	2.04	11.21	146.5	4.81	162.3	6.27	1.72
4.5	4.91	2.27	7.52	119.4	4.26	189.9	7.05	2.26
6.0	4.90	2.26	9.98	178.8	2.20	240.5	14.23	2.63
LSD <sub>0.05</sub>	0.18	0.29	2.07	12.89	1.13	2.82	1.66	1.17
Significance <sup>y</sup>	L**	L***	NS	NS	L***	L**	L***	L***

<sup>2</sup>SPES means saturated paste extraction solution.

<sup>y</sup>Significance of trend: \*\*\*P=0.001; \*\*P=0.01; L, linear.

**Table 6.** Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on chemical properties in soil solution of root media at 109 days after planting.

Ca (mM)	pH	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	(mg · L <sup>-1</sup> SPES <sup>2</sup> )				Dry weight (g/plant)
					P	K	Ca	Mg	
0.0	5.54	2.54	8.6	162.5	8.75	117.8	5.0	0.70	8.15
1.5	5.37	2.77	9.6	166.7	8.54	249.6	7.3	3.62	8.68
3.0	5.30	3.62	19.3	165.5	5.50	288.6	12.1	4.17	8.93
4.5	5.14	3.39	21.6	166.0	5.20	311.0	16.5	4.94	9.27
6.0	5.16	3.92	23.5	170.0	4.57	325.9	28.2	6.35	9.36
LSD <sub>0.05</sub>	0.33	0.46	2.05	13.42	2.17	4.39	2.09	1.68	0.34
Significance <sup>y</sup>	NS	L***	NS	NS	Q***	L***	L***	L***	L***

<sup>2</sup>SPES means saturated paste extraction solution.

<sup>y</sup>Significance of trend: \*\*\*P=0.001; NS, nonsignificant; L, linear; Q, quadratic.

48일 후에 토양시료를 채취하여 화학적 특성을 분석한 결과이다. 시비농도가 증가할수록 토양의 pH는 낮아지는 경향이었고, EC는 증가하는 경향이였다. 토양 pH의 저하는 식물의 뿌리가 한 분자의 양이온을 흡수할 경우 한 분자의 H<sup>+</sup>를 토양으로 방출하기 때문(Mengel과 Kirkby, 1987; Marschner, 1995)에 발생된 결과이며, 시비량 증가가 EC 상승의 원인이 되었다고 판단된다. Ca의 시비량 증가가 토양 P 농도의 저하를 초래하였는데 이는 뿌리에서 양이온이 흡수될 때 음이온의 흡수를 촉진하는 상조작용(Mengel과 Kirkby, 1987; Marshner, 1995) 및 칼슘과 인산의 결합에 의한 인산의 불용화(Hannan, 1997; Lindsay, 1979)가 원인이 되었다고 생각된다. 즉, 동일한 P 시비농도 조건에서

P의 흡수량 증가를 통한 토양 P 농도 저하 및 Ca과 P이 결합하여 침전됨으로써 P 농도의 저하를 초래하였다고 판단된다. 또한 Ca의 시비량이 증가함에 따라 토양 중의 K와 Mg의 농도가 증가되었는데, 이는 식물 체로의 흡수 과정에서 양이온간 길항작용에 의해 K와 Mg의 흡수량이 감소(Table 3과 4)하였기 때문인 것으로 생각된다.

Table 6의 정식 109일 후인 절화 수확기의 토양분석에서도 pH와 EC는 정식 48일 후와 동일한 경향을 나타내었고, EC는 처리간 통계적인 차이가 인정되었다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 토양내 농도는 처리간 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 정식 48일 후의 분석과 유사하게 Ca 시비농도 증가가 P 농도의 감소, 그리고 토양

Ca 시비농도가 질화국 'Biarritz'의 생육과 양분 흡수에 미치는 영향

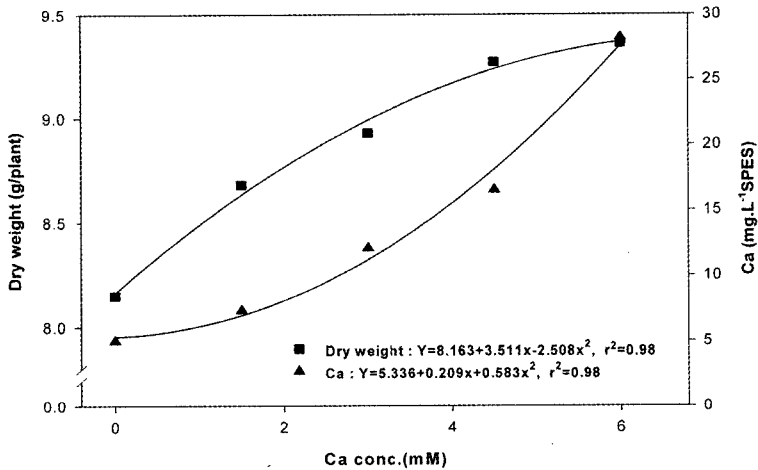


Fig. 5. Effect of calcium concentration in the fertilizer solution on changes of calcium concentration in soil solution of root media and dry weight of the above ground plant tissue at 109 days after planting (SPES means saturated paste extraction solution).

K, Ca 및 Mg의 농도 증가를 초래하였는데, 이는 상기한 바와 동일한 원인으로 판단된다.

Fig. 5는 시비농도 조절에 따른 토양내 Ca 농도와 건물중의 변화를 나타내었다. 토양용액 내 Ca 농도는 질화 수확기에 무처리구가 5.0 mg · L<sup>-1</sup>, 그리고 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 mM 시비구가 각각 7.3, 12.1, 16.5 및 28.2 mg · L<sup>-1</sup>으로 분석되어 Ca 시비농도가 증가함에 따라 뚜렷하게 증가함을 알 수 있었다.

Warncke (1990)는 포화추출법으로 분석할 때 토양 Ca 농도가 200 mg · L<sup>-1</sup> 이상이 되도록 시비하여야 한다고 주장하였으나, Warncke (1986)는 11~16 mg · L<sup>-1</sup>가 적절한 범위라고 하였다.

Nelson (2003)과 Bunt (1988)는 포화추출법으로 분석할 경우 토양 Ca 농도가 200 mg · L<sup>-1</sup> 이상이 되도록 시비하여야 하며, 80~199 mg · L<sup>-1</sup>도 수용 가능한 범위라고 주장하였다. 본 연구에서 토양 Ca 농도가 생육 중기에 3.03~14.23 mg · L<sup>-1</sup> 질화 수확기에 5.0~28.2 mg · L<sup>-1</sup>로 분석되었으며, Warncke (1990), Nelson (2003) 및 Bunt (1988)가 보고한 내용보다 아주 낮은 토양 농도에서 국화 'Biarritz'가 생육하였다. Ulrich (1993)가 주장한 바와 같이 최대 건물중을 생산한 처리보다 10% 낮은 토양 농도를 정상 생육을 위한 최저한계점으로 간주할 경우 약 25.4 mg · L<sup>-1</sup> 이상의 토양 농도를 유지하도록 시비하여야 질화 품질을 우수하게 유지할 수 있다고 판단되었다.

적 요

본 연구는 칼슘의 시비농도를 인위적으로 조절한 후 국화를 재배하면서 각 원소의 시비수준이 생육과 질화 품질에 미치는 영향을 구명하고 생육을 우수하게 유지할 수 있는 식물체 및 토양의 한계농도를 밝히기 위하여 수행하였다. Ca 결핍 증상은 신엽에서 발생하였고, 신엽이 cup 형태로 구부러지는 기형증상이 나타났 다. 정식 109일 후에 조사한 질화장은 무시비구, 3.0 mM 그리고 4.5 mM Ca처리에서 각각 105.8 cm, 106.5 cm, 107.3 cm로 조사되었다. Ca 시비농도가 증가할수록 질화증이 무거워져 무처리구가 51.6 g이었고 6.0 mM 시비구에서 59.4 g으로 측정되었다. 건물중이 가장 무거웠던 6.0 mM Ca 시비구에서 3.09%의 식물체내 Ca 함량을 갖는 것으로 분석되어 국화 'Biarritz'의 정상 생육을 위해서는 2.8% 이상의 식물체내 Ca 함량을 갖도록 시비하여야 할 것으로 판단되었다. Ca 시비농도가 증가할수록 토양 농도도 뚜렷하게 높아져 무처리구, 1.5, 3.0, 4.5 및 6.0 mM 시비구가 각각 5.0, 7.3, 12.1, 16.5 및 28.2 mg · L<sup>-1</sup>로 분석되었다. 건물 생산량을 고려하여 정상 생육을 위한 최저한계점은 25.4 mg · L<sup>-1</sup>이라고 판단되었다.

주제어 : 결핍증상, 토양 무기염 농도, 한계농도



## 인 용 문 헌

1. Bunt, A.C. 1988. Media and mixes for container grown plants. Unwin Hyman, London.
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. 1994. Increased nutrient uptake efficiency by controlling nutrient release in floral crops. PhD Diss., North Carolina State Univ., Raleigh, NC, USA.
6. Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. *Anal. Biochem.* 85:591-594.
7. Hannan, J.J. 1997. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
8. 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.
9. Jeong, S.K., J.M. Choi, K.H. Cha, H.J. Chung, J.S. Choi, and K.S. Seo. 2001. Deficiency symptom, growth characteristics and nutrient uptake of 'Nyoho' strawberry as affected by controlled calcium concentrations in fertilizer solution. *J. Kor. Soc. Hort. Sci* 42:284-288.
10. Kageyama, Y., K. Shima, and K. Konishi. 1995. Effect of calcium levels in culture solution on growth and cut flower quality of chrysanthemum. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64:169-176.
11. Kofraneck, A.M. 1980. Mineral nutrition, In: R.A. Larson (ed.). *Introduction to floriculture.* Academic Press, New York.
12. Kofraneck, A.M. and O.R. Lunt. 1975. Mineral nutrition, In: A.M. Kofraneck and R.A. Larson. (eds.). *Growing azaleas commercially.* Publication No. 4058. Univ. of California, Davis, CA.
13. Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils.* John Wiley & Sons, New York.
14. Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants.* 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, USA.
15. Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition.* 4th ed. Intl. Potash Inst., Bern, Switzerland.
16. 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.
17. Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management.* 6th ed. Prentice Hall, NJ.
18. Penningsfeld, F. 1972. Macro and micro nutrient requirements of pot plants in peat. *Acta Hort.* 26:81-101.
19. Roorda van Eysinga, J.P.N.L and K.W. Smide. 1980. *Nutritional disorders in chrysanthemums.* Central Agr. Publ. & Document, Wageningen.
20. Seeley, J.G. 1978. Potassium nutrition of poinsettia and effect of two peat-lite mixes. *N.Y. State Flower Ind. Bul.* 90:3-4, 6-7.
21. Ulrich, A. 1993. Potato. p. 149-156. In: W.F. Bennett (ed.). *Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants.* APS Press, St Paul, Minn.
22. Warncke, P.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hort-Science* 211:223-225.
23. Warncke, P.D. 1990. Testing artificial growth media and interpreting the results, In: R.L. Westerman (ed.). *Soil testing and plant analysis.* Soil Sci. Soc. Amer. No. 3. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI.
24. Winsor, G.W. 1968. Studies of the nutrition of flower crops. *Scientia Hort.* 20:26-40.
25. Williams, K.A. and P.V. Nelson. 1997. Using pre-charged zeolite as a source of potassium and phosphate in soilless container medium during potted chrysanthemum production. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122:703-708.
26. Williams, K.A., P.V. Nelson, and D. Hesterberg. 2000. Phosphate and potassium retention and release during chrysanthemum production from precharged material: I. Alumina. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125:748-756.