

‘매향’ 딸기의 칼슘 영양진단을 위한 결핍증상 및 식물체 내 한계농도

최종명^{1*} · 정석기² · 윤무경³

¹배재대학교 과학기술바이오대학, ²충남농업기술원, ³농촌진흥청 원예연구소

Characterization of Symptom and Determination of Tissue Critical Concentration for Diagnostic Criteria in ‘Maehyang’ Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) as Influenced by Calcium Concentrations in the Fertigation Solution

Jong Myung Choi^{1*}, Suck Kee Jeong², and Moo Kyung Yoon³

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

²Chungchongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Chungnam 340-861, Korea

³Vegetable Research Division, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 440-706, Korea

Abstract. Objective of this research was to investigate the effect of calcium concentrations in the fertilizer solution on growth and development of Ca deficiency in ‘Maehyang’ strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). The margins of the youngest leaves were scorched and they developed a cupped shape as they were expanded in Ca deficient plants. The vein area of the youngest leaves became brown when the deficiency became severe. The quadratic responses were observed in dry weight production to elevated Ca concentrations in fertilizer solutions with the highest growth in 4.5 mM treatment. The regression equation was $y = 2.4026 + 1.0209x - 0.0985x^2$ ($R^2 = 0.3546^{***}$). However, tissue Ca contents increased linearly as the Ca concentrations in fertilizer solutions were elevated ($y = 1.2108 + 0.1333X$, $R^2 = 0.9189^{***}$). In changes of the fresh weight and Ca concentrations in petiole sap, fresh weight production showed quadratic responses to elevated Ca concentrations in fertilizer solution, but Ca concentration increased linearly. The equations in changes of fresh weight and Ca concentrations were $y = 9.273 + 4.882x - 0.4245x^2$ ($R^2 = 0.4935^{***}$) and $y = 52.311 + 3.2917x$ ($R^2 = 0.6918^{***}$), respectively. When the concentration of calcium at which plant growth was retarded by 10% is regarded as critical concentration level, the calcium contents based on dry weight of above ground plant tissue and in petiole sap should be in the range between 1.6 to 2.25% and 63 to 79 mg · kg⁻¹, respectively.

Key words : calcium, deficiency symptom, petiole sap, strawberry, tissue content

서 언

식물이 Ca를 흡수하지 못하면 생장점이나 신엽의 Ca 함량이 급격히 감소하고, 결핍증상이 신엽이나 생장점에서 발현한다(Bennett, 1993; Bould 등, 1983). Bould 등(1983)은 십자화과와 같은 광엽식물에서 발현되는 Ca 결핍을, Kim 등(2005)은 절화국화 ‘Biarritz’에서, Choi 등(2005)은 오리엔탈백합 ‘Casa Blanca’

에서, 그리고 Jeong 등(2001)은 ‘여봉’ 딸기의 Ca 결핍증상을 보고한 바 있다. 이상의 연구에서 칼슘이 결핍된 모든 작물의 신생엽에서 결핍증상이 나타났지만 발현되는 증상은 작물에 따라 차이가 있었다.

재배하는 작물을 채취하여 분석하고 영양상태를 진단하여 교정시비를 위한 판단자료로 삼기 위한 연구도 많이 수행되었다. 주로 지상부 전체 또는 지상부 일부를 수확하고 건물중에 기초하여 무기원소 분석을 하거나(Bould 등, 1983; Jeong 등, 2001; Kim 등, 2005; Nelson, 2003), 엽병추출액의 무기원소 농도를 분석하여(Park, 2002; Saikoku와 Sanho, 1995; Ulrich,

*Corresponding author: cjm@pcu.ac.kr
Received June 16, 2008; accepted September 3, 2008

Table 1. Composition of nutrient solution used to investigate the effect of each nutrient on growth and nutrient uptake of 'Maehyang' strawberry.²

Ca (mM)	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Cl ⁻
------(mM)-----									
0	6	5	0	2	0	9	2	1	0
1.5	4	5	1.5	2	0	11	2	1	0
3	2.5	5	3	2	0	12.5	2	1	0
4.5	1.5	5	4.5	2	0	13.5	2	1	0
6	0	5	6	2	0	15	2	1	0
9	0	5	9	2	0	15	2	1	6

²Micronutrient (in mg 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.

1993) 판단자료로 삼고 있다.

국내에서 육성된 딸기 신품종인 ‘매향’은 품질이 우수하여 국내 소비량이 많을 뿐만 아니라 해외에도 많은 양이 수출되고 있다. 그러나 칼슘 등 무기원소의 적정 시비량 또는 결핍 및 과잉증상을 유발하는 식물체내 한계농도와 관련된 연구가 수행되지 않았다. 따라서 관비 용액속의 칼슘농도를 인위적으로 조절하여 재배하면서 칼슘 결핍증상의 특징 및 식물체내 한계농도를 밝혀 ‘매향’ 딸기를 재배하기 위한 기초 자료를 확보하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험작물 및 실험설계

딸기(*Fragaria*×*ananassa* Duch.) ‘매향’(Kim 등, 2004)을 공시하여 본 연구를 수행하였다. 실험을 위해 펄라이트[(주) 신성] 대립(직경 2~5mm)과 소립(직경 1mm 이하)을 1:1(v/v) 비율로 혼합한 상토를 조제하고 준비된 플라스틱 포트(최상부 내경 15cm, 용적 1,600mL)에 충전하였다. 이후 본엽이 3매인 유묘를 확보한 후 잔뿌리가 상하지 않도록 최대한 주의하면서 뿌리 부분을 물로 수세하여 상토를 완전히 제거하였고 준비된 포트에 정식하였다.

정식한 유묘는 45일간 증류수만 관수하여 토양중에 잔존할 가능성이 있는 무기염을 용탈시키고 식물체 내의 무기원소 함량을 최저 수준으로 낮추었는데, 이때 일부 식물에서는 가시적인 질소결핍 증상이 발생되기 시작하였다. 정식 후 45일에 모든 식물체를 신엽 3매만 남긴 채 하위엽을 모두 제거하였고, 조성된 양액을 공급하기 시작하였다.

식재된 작물은 주간 24°C, 야간 13°C 이상으로 온도를 조절한 유리온실에서 재배하였고 재배 중 발생하는 런너 및 꽃은 수시로 모두 제거하였다. 정식 후 120일에 지상부의 생육을 조사한 후 식물체를 수확하여 무기원소 분석을 하였다.

본 연구는 Ca 원소를 대상으로 6처리를 두었고 각 처리당 5반복으로, 그리고 각 반복당 2식물체로 총 60포트를 배치하였다.

2. 양액조성 및 시비

양액조성은 Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 변화시켜 이 실험에서는 Ca 농도를 0, 1.5, 3, 4.5, 6 및 9mM로 농도를 조절하였다(Table 1). 각 처리별 양액은 EC 5~7 μS·cm⁻¹의 범위에 포함되도록 증류된 물로 조제하였으며, 이상의 농도로 양액조성 후 HCl 및 NaOH를 첨가하여 pH를 6.0으로 조절한 후 처리하였다.

시비는 2006년 4월 15일부터 2006년 8월 15일까지 약 120일 동안 수행하였는데, 펄라이트 배지의 보수력이 낮아 매주 3~4회 관수를 필요로 하였으며, 매주 1회는 양액을 지상부로부터 관주처리하고 기타 관수시에는 증류수만 공급하였다. 양액을 관주처리하거나 증류수를 공급할 경우 배수율(leaching percentage)을 20~30%로 유지하여 무기염의 상토 내 집적을 방지하였다.

3. 생육 조사 및 무기원소 분석

양액을 관주하기 시작한 날로부터 75일(정식 후 120일) 후에 엽수, 엽장, 엽폭, 관부직경, 엽록소함량, 지상부 생체중 및 지상부 건물중 등의 생육을 조사하

였다. 관부직경은 지제부 상단 1cm를 측정하였고, 지상부의 생체중을 측정한 후 80°C 건조기에서 48시간 동안 건조한 후 무게를 측정하여 건물중으로 삼았다. 엽록소함량은 상위엽을 측정하였다. 잎의 위치는 정단 부로부터 두 번째 잎을 Chlorophyll Meter (Model SPAD-502, Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다.

식물체 분석을 위해 양액관주 시작일로부터 75일에 각각 지상부 식물체 전체를 수확하여 분석 시료로 삼았다. 식물체는 수확 직후 0.01N HCl 용액에 1분간 침지한 후 증류수로 수세하여 식물의 잎에 묻어 있는 이물질을 제거하였다. 이후 80°C의 건조기에서 48시간 건조시킨 후 0.9mm체(20mesh screen)를 통과하도록 분쇄하여 전질소(T-N) 및 무기성분 함량 분석에 이용하였다.

전질소(T-N)함량 분석은 분쇄된 시료 0.5g을 정량한 후 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978; VELP Scientifica, Model UDK 132 Semi-automatic Distillation Unit)으로 수행하였다. 식물체 내 다른 무기성분 분석은 분쇄된 시료 0.5g에 Ternary solution(HNO₃:H₂SO₄:HClO₄=10:1:4) 10mL를 가한 후 200°C에서 20~30분 회화시키고, 회색으로 변한 시료를 여과지(No. 9)에 여과하였다. 다시 증류수를 첨가하여 100mL로 정량한 후 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer(Thermo Elemental Tracescan, USA)를 사용하여 K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu를 분석하였는데, 전반적인 분석방법은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 준하였다.

칼슘의 시비농도가 엽병의 무기원소 농도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 75일(정식 후 120일) 동안 조성된 양액을 관주하였으며 관주 2시간 경과 후 상위엽의 엽병을 채취하였다. 수확한 잎의 엽병을 1mm 크기로 절단한 후 vial에 담고 생체:증류수의 비율이 1:10(w/w)이 되도록 증류수를 첨가하였다. 이후 손으로 간간히 흔들어 주면서 30분을 기다렸다가 거즈를 이용하여 식물체 잔재를 제거하였고, 이 용액을 분석시료로 삼았다. 추출 용액을 이용하여 원자흡광분석계(Model 680, Shimadzu, Japan)로 Ca를 분석하였다.

토양용액 분석을 위해 관비하고 2시간을 기다려 토양 내의 용액이 화학평형에 도달하였다고 판단하여 토양시료를 채취하였다. 채취한 시료를 포화추출법(Warncke, 1986)으로 추출하였으며, 추출 후 미생물에

의한 NH₄의 산화를 방지하기 위하여 포화된 phenyl mercuric acetate(1g/18mL)를 2~3방울 첨가하였다. 각각의 pot로부터 추출된 토양 용액의 pH와 EC를 측정하였다.

4. 통계 분석 방법

식물의 생육, 무기물함량 및 토양 pH 및 EC 등 조사 또는 분석한 결과는 LSD검정과 회귀분석을 하였다. 회귀분석은 다항회귀분석을 통해 얻어진 1~3차항 회귀선 중 최적예측 회귀함수를 결정하기 위해 R²값과 Incremental F값이 큰 회귀식을 적용하였다. 통계분석은 CoStat 프로그램(Monterey, California, USA)으로 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 생육과 결핍증상의 특징

칼슘 시비농도에 영향받은 ‘매향’ 딸기의 정식 120일 후의 생육은 Ca 무시비구의 생육이 뚜렷하게 저조하였고, 1.5mM 이상으로 칼슘 시비농도가 증가함에 따라 생육도 증가하였다(Fig. 1). ‘매향’ 딸기의 칼슘 결핍증상은 신엽에서 발생하였고, 신엽의 엽맥 부분이 갈변하는 증상과 함께 신엽이 기형이 되면서 선단부가 피사하는 현상으로 나타났다(Fig. 2)

칼슘 결핍증상이 신생엽에서 발현되는 것은 Bould 등(1983), Jeong 등(2001) 및 Kim 등(2005)의 결과와 유사하였다. Kim(2005)은 국화 ‘Biarritz’에서 Ca이 결핍될 경우 신생엽의 잎 가장자리가 검게 변하는

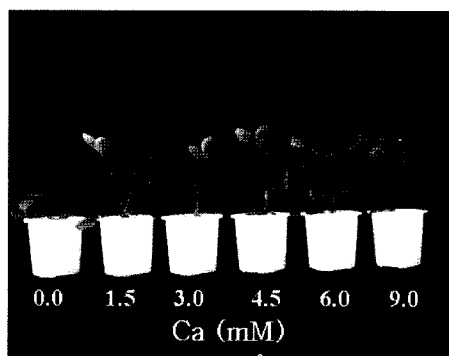


Fig. 1. Differences in crop growth of ‘Maehyang’ strawberry at 120 days after transplanting as influenced by elevated calcium concentrations in the fertilizer solution.

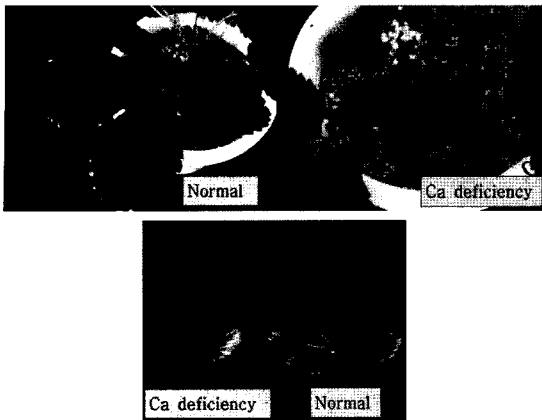


Fig. 2. Induced calcium deficiency symptoms in 'Maehyang' strawberry. The margins of the youngest leaves were scorched and they developed a cupped shape as they expand. The veinal area of young leaves became brown when the deficiency became severe.

초기 증상이 나타난다고 하였고, Choi 등(2005)은 오리엔탈 백합 'Casa Blanca'에서 신엽에 검은 반점이 발생한다고 하였다. Jeong 등(2001)은 딸기 '여봉'에서 신생엽의 잎 가장자리가 검게 변하면서 기형이 된다고 하였다. 딸기 '매향'에서도 신생엽의 끝이 갈변하면서 기형이 되는 것은 '여봉'과 유사하였지만 반점 형태 또는 검게 변하는 특징은 나타나지 않아 차이가 있었다.

정식 120일 후에 지상부 생육을 조사하여 Table 2에 나타내었다. 엽수, 엽장, 엽병장, 생체중 및 건물중

은 4.5mM과 6mM 시비구에서 생육이 우수하였다. 4.5mM이나 6mM 칼슘 시비구에 비해 3mM 또는 9mM의 칼슘 시비농도에서 성장량이 적었고, 관부직경을 제외한 모든 생육지표에서 2차 곡선회귀가 성립하여 경향이 뚜렷하였다. 그러나 건물중은 Ca 0mM 처리만, 생체중은 Ca 0mM 및 1.5mM 시비구만 통계적으로 유의하게 가벼웠고, 3, 4.5, 6 및 9mM 시비구 간에는 통계적인 차이가 인정되지 않았다. 따라서 딸기 '매향'을 관비재배하기 위해서는 관비용액의 Ca 농도를 4.5mM 또는 6mM로 조절하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

2. 지상부의 무기원소 함량

칼슘 농도를 조절하여 관비하고 정식 후 120일에 건물중과 건물 내 Ca 함량을 조사 및 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 건물중은 식물체당 4.9g에서 정점이 형성되었고, 최대 생산량의 90%를 생산억제를 방지할 수 있는 최저 한계점으로 판단하면(Ulrich, 1993) 식물체당 약 4.4g의 건물중을 생산하는 것이다. 이 때의 건물중에 기초한 Ca 함량은 약 1.6%으로 1.6~2.25%의 Ca 함량이 생산억제를 방지할 수 있는 범위라고 판단하였다.

Bould 등(1983)은 사탕무에서 엽신은 0.4~1.5%, 엽병은 0.5~0.8% 범위의 Ca 함량일 때 결핍증상이 나타나지 않는다고 하였고, Kim 등(2005)은 절화 국화를 재배하면서 건물중 기준으로 1.39% 이상일 때

Table 2. Influence of elevated calcium concentration in fertilizer solution on growth characteristics of 'Maehyang' strawberry at 120 days after transplanting.

Ca (mM)	Number of	Leaf	Leaf	Petiole	Crown	Fresh	Dry
	leaves	length	width	length	diameter	weight	weight
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(g/plant)	(g/plant)
0	12.5	6.52	3.97	12.0	1.20	8.89	2.15
1.5	18.5	7.48	4.90	14.6	1.19	16.11	4.18
3	20.5	8.63	5.38	17.1	1.15	20.20	4.41
4.5	21.0	9.70	6.32	18.9	1.08	23.08	5.14
6	22.5	9.75	6.08	16.6	1.08	22.41	4.70
9	22.0	8.50	5.78	15.1	1.16	19.09	3.71
LSD _{0.05} ^z	5.61	1.39	0.82	2.65	0.18	6.19	1.57
Linear	**	**	***	NS	NS	**	NS
Quadratic	***	***	***	***	NS	***	***
Cubic	**	***	***	***	NS	***	**

^zLeast significant difference at $P=0.05$.

NS,*,**,**Nonsignificant or significant at $P=0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

‘매향’ 딸기의 칼슘 영양진단을 위한 결핍증상 및 식물체 내 한계농도

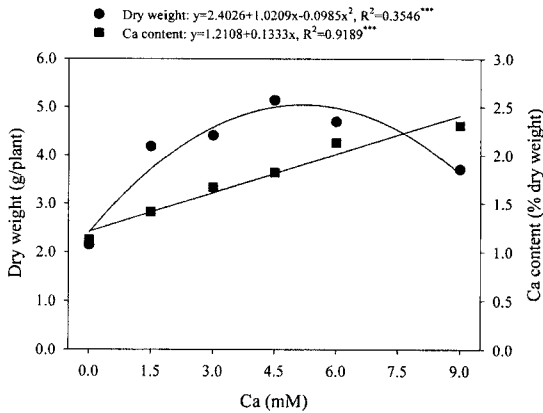


Fig. 3. Effect of elevated calcium concentrations in the fertilizer solution on changes in dry weight and calcium content of the whole above ground plant tissue of ‘Maehyang’ strawberry at 120 days after transplanting.

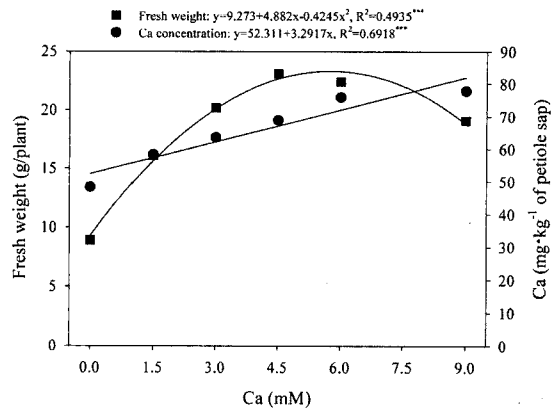


Fig. 4. Effect of elevated calcium concentration in the fertilizer solution on changes in fresh weight of above ground plant tissue and calcium concentrations in petiole sap of ‘Maehyang’ strawberry at 120 days after transplanting.

생육이 우수하였고, 0.63% 이하일 때 결핍증상이 나타났다고 보고하였다. Jeong 등(2001)은 딸기 ‘여봉’에서 건물중 기준으로 1.06% 이상의 Ca 함량을 가져야 정상 생육이 가능하고, 1.0% 이하일 때 생육이 억제된다고 하였다.

이상의 보고한 내용과 본 연구결과를 비교할 때 딸기 ‘매향’은 사탕무나 딸기 ‘여봉’보다 칼슘 요구도가 높고, 절화국화 ‘Biarritz’(Kim 등, 2005)와 유사한 수준에서 적정 영역이 형성된다고 판단하였다.

정식 120일 후에 지상부를 수확하여 무기원소 함량을 분석을 한 결과 지상부 성장량이 가장 적었던 Ca

무처리구의 다량원소 함량이 낮았다(Table 3). 이는 Ca를 시비하지 않아 근권부의 생장이 억제되고, 이로 인해 무기원소의 흡수량이 저하하였다고 판단하였다. Marschner(1995) 그리고 Mengel과 Kirkby(1987)도 Ca 시비량 저하에 따른 근권부의 성장량 저하 및 기타 무기원소의 흡수량 저하를 보고하여 본 연구결과를 뒷받침하고 있다.

칼슘 시비량이 증가함에 따라 식물체내 P, K 및 Ca 함량이 뚜렷하게 증가하였다. 칼슘 함량의 증가는 시비농도 증가가 직접적인 원인이 되었고, 인산 함량 증가는 양이온이 흡수될 때 음이온의 흡수가 촉진되는

Table 3. Influence of elevated calcium concentration in fertilizer solution on tissue nutrient contents of ‘Maehyang’ strawberry based on whole above ground plant tissue at 120 days after transplanting.

Ca (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	----- (%) -----			----- (mg·kg ⁻¹) -----					
0	1.37	0.62	1.88	1.13	0.72	229.8	53.8	51.2	6.45
1.5	1.42	0.56	2.33	1.41	0.86	333.9	95.1	57.7	12.32
3	1.33	0.58	2.69	1.67	0.86	414.9	67.6	53.7	9.88
4.5	1.37	0.79	2.85	1.82	0.83	285.4	72.9	47.5	11.35
6	1.48	1.03	3.06	2.13	0.85	142.9	77.8	42.0	8.67
9	1.39	0.93	2.90	2.31	0.89	161.7	81.9	46.7	7.60
LSD _{0.05} ^z	0.22	0.07	0.25	0.19	0.09	48.6	29.0	13.2	1.83
Linear	NS	***	***	***	*	*	NS	NS	NS
Quadratic	NS	***	***	***	*	*	NS	NS	*
Cubic	NS	***	***	***	**	***	NS	NS	***

^zLeast significant difference at $P=0.05$.

NS,*,**,* Nonsignificant or significant at $P=0.05$, 0.01 and 0.001, respectively.

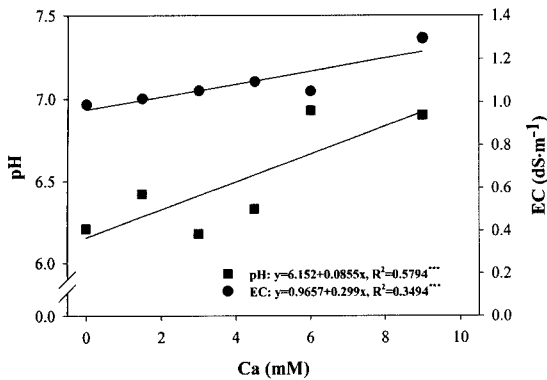


Fig. 5. Effect of elevated calcium concentrations in the fertilizer solution on changes in pH and EC in soil solution of root media at 120 days after transplanting of ‘Maehyang’ strawberry.

상조작용(Marschner, 1995; Mengel과 Kirkby, 1987)이 원인이 되었다고 판단하였다. Figure 5와 같이 Ca 시비농도 증가가 근권부의 pH를 상승시켰고, pH가 높아지면 알칼리성 물질인 K 및 Mg의 활성도(activity)가 증가하여 흡수량이 증가한다고 알려져 있지만(Hanan, 1998; Nelson, 2003) 보완연구가 필요한 부분이라고 생각되었다.

칼슘 무시비구를 제외한 Ca 시비구는 시비 농도가 증가함에 따라 Fe, Zn 및 Cu 함량이 감소하였다. 이는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 알칼리성 물질인 Ca의 시비농도가 증가함으로써 근권부의 pH가 상승하였고, 높은 pH에서 불용화되는 미량 금속원소의 양이 증가하여 흡수량 감소의 원인이 되었다고 사료되었다.

3. 엽병 추출액의 Ca 농도

Figure 4에는 정식 후 120일에 지상부의 생체중과 엽병 추출액의 Ca 농도를 분석하여 나타내었다. 칼슘 시비농도에 대한 생체중은 2차 곡선회귀적인 반응을 보였으며, 식물체당 23g에서 정점이 형성되었다. 최대 성장량의 90%를 생장억제를 방지할 수 있는 최저 한계점으로 간주하면 식물체당 20.3g의 생체중을 생산하는 것이고, 이 때의 엽병 추출액 Ca 농도는 약 63 mg·kg⁻¹에 해당한다. 또한 최대 성장량의 90%를 최대 한계점으로 간주하면 엽병 추출액의 Ca 농도가 약 79mg·kg⁻¹이 되며 63~79mg·kg⁻¹의 범위를 딸기 ‘매향’의 생육을 위한 엽병 추출액의 적정 Ca 농도 범위라고 판단하였다.

생체중액의 Ca 농도에서 Saikoku와 Sanho(1995)는 장미, 카네이션 및 거베라의 하위엽 추출액 Ca 농도가 각각 300~600, 200~500, 그리고 300~750mg·kg⁻¹의 범위에 포함되면 적정 영역으로 판단할 수 있다고 주장하였다. Park(2007)은 잎들깨의 잎을 0.1N HCl로 추출하여 생장량과의 관계를 구명한 결과 생체중액의 Ca 농도가 1,600mg·kg⁻¹ 이상을 유지하도록 시비하여야 정상 생육할 수 있다고 하였다. Ulrich(1993)는 감자에서 엽병 및 엽신 추출액 모두 150~250mg·kg⁻¹ 일 때 생육이 우수하였다고 하였다.

본 연구에서 딸기 ‘매향’의 엽병추출액 농도는 Park(2007), Saikoku와 Sanho(1995), 또는 Ulrich(1993)가 보고한 내용보다 월등히 낮은 농도이며, 이는 작물 자체의 흡비 특성과 추출 방법이 원인이 되어 차이가 컸다고 사료되었다.

4. 토양 pH 및 EC의 변화

Figure 5에는 정식 후 120일에 상토의 pH 및 EC를 측정하여 그 결과를 나타내었다. Ca 시비농도가 증가할수록 상토의 pH가 상승하였는데, Ca이 알칼리성 물질이며 Ca 시비농도 증가가 직접적인 원인이 되었다고 판단하였다. Ca 시비농도 증가가 상토의 전기전도도를 상승시킨 것도 Ca 시비농도 증가가 직접적인 원인이 되었다고 생각한다. 그러나 Fig. 3과 4, 그리고 Table 2에 나타난 바와 같이 Ca을 4 또는 6mM로 조절하여 시비한 처리의 생육이 우수하였으며, 두 처리의 전기전도도인 0.65~0.8ds·m⁻¹의 범위에 포함되도록 시비농도를 조절하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

적 요

국내육성 딸기 신품종인 ‘매향’을 Ca 농도를 조절한 관비용액으로 재배하면서 결핍증상의 특징과 결핍증상을 유발하는 건물중 및 생체중액내 한계농도를 구명하기 위하여 본 연구를 수행하였다. Ca 결핍증상은 신엽에서 발생하였고, 신엽의 엽맥 부분이 갈변하는 증상과 함께 신엽이 기형화되면서 선단부가 괴사하는 증상이었다. 정식 후 120일에 지상부의 생육을 조사한 결과 엽수, 엽장, 엽병장, 생체중 및 건물중은 4.5mM과 6mM 시비구에서 생육이 우수하였고, 3mM 이하나 9mM의 칼슘 농도에서 성장량이 적어 2차곡선회귀가

성립하였고 경향이 뚜렷하였다. 식물체당 건물중 4.9g에서 2차 곡선회귀의 정점이 형성되었으며($y = 2.4026 + 1.0209x - 0.0985x^2$, $R^2 = 0.3546^{***}$), 최대 성장량의 90% 이상 성장량을 최저 한계점으로 설정하면 식물체당 약 4.4g 이상의 건물중을 생산해야 하며 건물중에 기초한 Ca 함량이 1.6~2.25%의 범위에 포함되도록 시비량을 조절해야 할 것으로 판단하였다. 생체중도 Ca 시비농도에 대하여 2차 곡선회귀적인 반응을 보였으며($y = 9.273 + 4.882x - 0.4245x^2$, $R^2 = 0.4935^{***}$), 식물체당 23g에서 정점이 형성되었다. 최대 성장량의 90% 이상을 확보하려면 엽병 추출액의 Ca 농도가 $63 \sim 79 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 의 범위에 포함되도록 Ca 시비농도를 조절해야 한다고 판단하였다.

주제어 : 결핍증상, 딸기, 식물체 무기원소 함량, 칼슘 농도

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.
- Choi, J.M., K.H. Lee, and E.M. Lee. 2005. Effect of calcium concentrations in fertilizer solution on growth of and nutrient uptake by Oriental hybrid lily ‘Casa Blanca’. Acta Hort. 673:755-760.
- 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, N.J.
- 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, 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 (in Korean).
- Kim, J.M., J.M. Choi, and H.J. Chung. 2005. Effect of calcium concentration in fertigation solution on growth and nutrient uptake of cut chrysanthemum ‘Biarritz’. J. Bio-Environ. Control 14:119-127 (in Korean).
- Kim, T.I., W.S. Jang, J.H. Choi, M.H. Nam, W.S. Kim, and S.S. Lee. 2004. Breeding of ‘Maehyang’ strawberry for forcing culture. J. Kor. Hort. Sci. & Tech. 22:434-437 (in Korean).
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, Calif.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. Int’l. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, N.J.
- Park, J.Y. 2007. 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 (in Korean).
- RDA. 2003. Agricultural science technique research investigation and analysis standard. 4th ed. Suwon, Korea (in Korean).
- Saikoku, K. and T.S. Sanho. 1995. Nutritional physiology and fertilization of floral crops. Rural Culture Association. Tokyo, Japan.
- Ulrich, A. 1993. Potato. p. 149-156. In: W.F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, Minn.
- Warncke, P.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. Hort-Science 211:223-225.