

## ‘매향’ 딸기의 마그네슘 영양진단을 위한 결핍증상 및 식물체 내 한계농도

최종명<sup>1\*</sup> · 정석기<sup>2</sup> · 윤무경<sup>3</sup>

<sup>1</sup>배재대학교 과학기술바이오대학, <sup>2</sup>충남농업기술원, <sup>3</sup>농촌진흥청 원예연구소

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

Jong Myung Choi<sup>1\*</sup>, Suck Kee Jeong<sup>2</sup>, and Moo Kyung Yoon<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Chungchongnam-do Agricultural Research and Extension Services, Chungnam 340-861, Korea

<sup>3</sup>Vegetable Research Division, National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon 440-706, Korea

**Abstract.** This study was carried out to investigate the effect of magnesium (Mg) concentrations in nutrient solution on growth of and nutrient uptake by ‘Maehyang’ strawberry. Tissue analysis based on dry weight and petiole sap were also conducted to determine the threshold level in plants when Mg deficiency disorders developed in strawberry plants. In the Mg deficient plants, the spotted yellowing or yellowing area developed on the interveinal area of mature leaves. The dark brown color also developed on the interveinal area of mature leaves with marginal browning or marginal necrosis. The response in dry weight production of ‘Maehyang’ strawberry to elevated Mg concentrations in nutrient solution was quadratic and the equation is  $y = 6.84 + 1.7533x - 0.9278x^2$  ( $R^2 = 0.1081^{***}$ ). But the Mg contents in tissue increased lineally with the equation of  $y = 0.1764 + 0.1275x$  ( $R^2 = 0.8307^{***}$ ). The trends of fresh weight production and Mg concentrations in petiole sap were also quadratic ( $y = 24.127 + 7.3565x - 1.125x^2$ ,  $R^2 = 0.2314^{***}$ ) and linear ( $11.954 + 5.793x$ ,  $R^2 = 0.6869^{***}$ ), respectively. To prevent growth suppression, the Mg concentrations based on dry weight of above ground tissue and in petiole sap should be in the range of 0.30 to 0.65% and 19 to 40  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectively, for the commercial production of ‘Maehyang’ strawberry.

**Key words :** magnesium, deficiency symptom, petiole sap, strawberry, tissue content

## 서 언

마그네슘 등 식물체에서 무기원소에 의한 생리장애가 발생하면 외관상 발현되는 증상의 특징을 보고 원인을 판단하거나, 식물체 분석을 하여 결핍 또는 과잉이 가능한 무기원소의 종류를 파악하고 교정시비를 하여야 한다. 식물체 분석은 건물중을 기초로 무기원소 함량을 분석하는 방법이 보편적으로 수행되고 있지만, 엽병 등 생체 추출물을 분석하여 신속하게 결과를 도출하기 위한 노력도 하고 있다.

Nelson(2003)은 주요 화훼작물의 생리장애의 특징 및 Mg 함량을 보고하였고, Winsor와 Adams(1987)는 생리장애가 발생하는 오이의 식물체를 분석하여 적정 Mg 영역을 보고하였다. Lee(2003)는 오리엔탈 백합 ‘Casa Blanca’를 대상으로, Kim 등(2005)은 국화 ‘Biarritz’를 대상으로, 그리고 Choi 등(2001)은 딸기 ‘여봉’을 대상으로 건물중에 기초한 Mg 함량의 적정 범위를 보고하였다.

Park(2007)은 잎들개 엽추출액의 Mg 농도를 그리고 Saikoku와 Sanho(1995)는 장미, 카네이션 및 거베라 하위엽을 분쇄하여 추출한 용액속의 적정 Mg 농도를 보고하였다. 그들은 정상 생육을 위한 적정 영역을 보

\*Corresponding author: shyum@rda.go.kr  
Received June 16, 2008; accepted September 3, 2008

고하였지만, 이는 재배 품종, 생육단계 및 재배시기에 따라 차이가 크므로 이들 요인들은 고려하여 적정 영역을 변화시킬 수 있다고 하였다.

그러나 외관상 발현되는 생리장해의 특징 그리고 건물중 또는 생체즙액의 적정 무기원소 함량에 대해서는 수행된 선행 연구 결과가 있어야 이와 비교하여 결핍, 적정 또는 과잉 영역을 판단할 수 있다. 그러나 ‘매향’ 딸기는 국내에서 최근에 육성되어 농가에 보급되었고, 관련 분야의 선행 연구가 전무한 상황이다. 따라서 Mg 농도를 조절한 양액으로 관비재배하면서 결핍증상을 인위적으로 유발시켜 증상의 특징을 밝히고, 시비농도에 따른 식물 생육반응, 결핍증상 발현시기의 식물체 내 무기원소 함량을 구명하여 ‘매향’ 딸기 재배를 위한 최적 영양조건의 기초자료를 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 필라이트(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. 조직배양하여 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 함량

을 최저 수준으로 낮추었는데, 이때 일부 식물에서는 가시적인 질소결핍 증상이 발현되기 시작하였다. 정식 후 45일에 모든 식물체에서 신엽 3매만 남긴 채 하위엽을 모두 제거하고 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 관비용액의 Mg 농도를 조절하여 6처리를 두었고 각 처리당 5반복, 그리고 각 반복당 2식물체로 총 60포트를 배치하였다.

### 2. 양액조성 및 시비

양액조성은 Hoagland 용액(Hoagland와 Arnon, 1950)을 변화시켜 Mg 농도를 0, 0.5, 1, 2, 4 및 6mM로 조절하였다(Table 1). 처리별 양액은 증류수기(Human Science Co, Korea)를 사용하여 EC 5~7  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 의 범위에 포함되도록 증류된 물로 조제하였으며, 이상의 농도로 양액조성 후 HCl 및 NaOH를 첨가하여 pH를 6.0으로 조절한 후 처리하였다.

이 실험은 2007년 4월 15일부터 8월 15일까지 120일 동안 수행하였는데, 필라이트 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.

**Table 1.** Composition of nutrient solution used to investigate the effect of magnesium on growth and nutrient uptake of ‘Maehyang’ strawberry.<sup>2</sup>

Mg (mM)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</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	0	5	5	0	5	15	2	1	0
0.5	0	5	5	0.5	4	15	2	1	0
1	0	5	5	1	3	15	2	1	0
2	0	5	5	2	1	15	2	1	0
4	0	5	5	4	1	15	2	1	4
6	0	5	5	6	3	15	2	1	10

<sup>2</sup>Micronutrient (in mg per L solution): 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.

### 3. 생육 조사 및 무기원소 분석

양액을 관주하기 시작한 날로부터 75일 후에 생육을 조사하였다. 생육조사 항목은 엽수, 엽장, 엽폭, 관부직경, 엽록소함량, 지상부 생체중 및 지상부 건물중이었다. 관부직경은 지체부 상단 1cm를 측정하였고, 지상부의 생체중을 측정후 80°C 건조기에서 48시간 동안 건조한 후 무게를 측정하여 건물중으로 삼았다. 엽록소함량은 하위엽을 측정하였는데 잎의 위치는 가장 하위엽을 Chlorophyll Meter(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 함량 분석은 분쇄된 시료 0.5g을 정량한 후 Kjeldahl 방법(Eastin, 1978)으로 수행하였다. 식물체 내 K, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Zn 및 Cu의 분석은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(RDA, 2003)에 준하여 Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer(Thermo Elemental Tracescan, USA)를 사용하여 분석하였다.

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

토양용액 분석을 위해 관비하고 2시간을 기다린 후 토양시료를 채취하였다. 채취한 시료를 포회추출법(Warncke, 1986)으로 추출하였고, pH와 EC를 측정하였다.

### 4. 통계 분석 방법

마그네슘 시비농도가 식물의 생육, 무기물함량 및

토양 pH 및 EC 변화에 미치는 영향을 조사 또는 분석한 결과는 LSD검정과 회귀분석을 하였다. 회귀분석은 다항회귀분석을 통해 얻어진 1~3차항 회귀선 중 최적예측 회귀함수를 결정하기 위해 R<sup>2</sup>값과 Incremental F값이 큰 회귀식을 적용하였다. 통계분석은 CoStat 프로그램(Monterey, California)으로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생육과 결핍증상의 특징

Figure 1에는 Mg 시비농도를 조절하여 관비하고 정식 120일 후의 지상부 생육을 나타내었다. 마그네슘을 1 또는 2mM로 시비한 처리의 생육이 우수하였으며, 0.5mM 이하나 4mM 이상으로 Mg 농도를 조절한 처리의 생장이 저조해지는 경향이였다.

Figure 2에는 '매향'에서 발생하는 Mg 결핍증상을 나타내었다. Mg 결핍증상은 하위엽에서 발생하였으며, 초기에 하위엽의 엽맥 사이에서 반점 형태의 황화현상이 나타난 후 점차 반점 부위가 확산되어 엽맥간 황화현상으로 발전하였다. 또한 증상이 심해지면서 엽맥 사이가 검게 변하고, 하위엽 선단의 갈변 및 괴사하는 증상이 발생하였다.

Bould 등(1983), Kim 등(2005), Lee(2003) 그리고 Park(2007)은 하위엽에서 Mg 결핍증상이 나타난다고 하여 본 연구 결과가 하위엽에서 발생한 것을 뒷받침하고 있다. Lee(2003)는 오리엔탈 백합 'Casa Blanca'

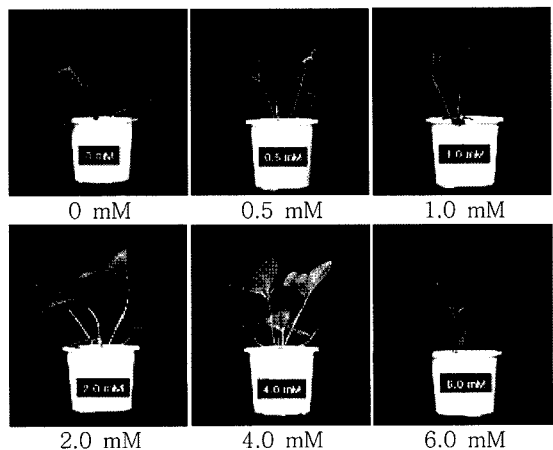


Fig. 1. Differences in crop growth of 'Maehyang' strawberry at 120 days after transplanting as influenced by elevated magnesium concentrations in the fertilizer solution.

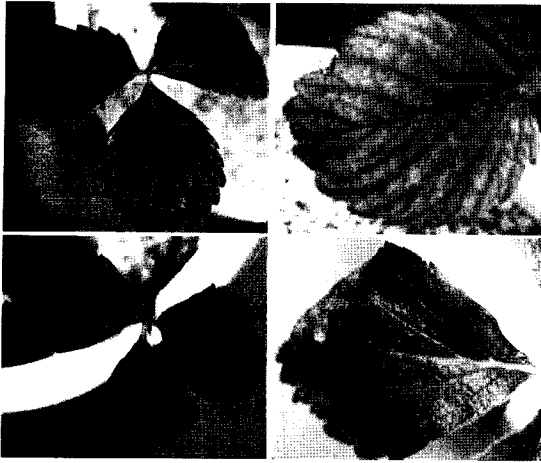


Fig. 2. Induced magnesium deficiency symptoms in ‘Maehyang’ strawberry. The spotted yellowing or yellowing area developed on the interveinal area of mature leaves (upper left and right). The dark brown color also developed on the interveinal area of mature leaves with marginal browning or marginal necrosis (lower left and right).

에서 Mg이 결핍되면 하위엽의 엽맥 사이가 검게 변하였다가 점차 황화된다고 하였고, Kim 등(2005)은 절화국화 ‘Biarritz’에서 하위엽의 엽맥간 황화현상과 엽신에 흑반현상이 나타나면서 하위엽 가장자리가 괴사하는 것이 Mg 결핍증상의 특징이라고 설명하였다. Choi 등(2001)은 ‘Nyoho’ 딸기에서 노엽의 엽맥 사이가 검게 변하거나 황화된다고 보고하였다. Choi 등(2001), Lee(2003) 또는 Kim 등(2005)의 보고와 유사하게 본 연구에서도 엽맥 사이가 검게 변하면서 하

위엽 선단이 갈변 및 괴사하는 증상이 나타났다.

Table 2에는 Mg 농도를 변화시켜 관비하고 정식 후 120일에 딸기 ‘매향’의 지상부 생육을 조사하여 나타내었다. Mg 무시비구는 Mg을 시비한 처리구 보다 조사한 엽장과 엽폭을 제외한 모든 생육지표에서 뚜렷하게 생육이 저조하였다. Mg 시비농도를 1 및 2mM로 높일 경우 생육이 우수하였으나, 4mM 이상의 고농도 Mg 시비구에서는 1 및 2mM 시비구보다 생체중 및 건물중이 가벼웠다. 엽장 및 엽폭은 1~3차항의 회귀관계가 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었으며, 엽수 및 건물중은 직선 및 2차 곡선회귀는 성립하지 않고 3차 곡선회귀가 성립하여 경향을 찾을 수 있었다. 비록 Mg을 시비한 각 처리 내의 반복간 편차가 커 조사한 각 생육지표에서 Mg 시비구간의 통계적인 차이를 찾을 수 없었지만 ‘매향’ 딸기를 재배하기 위해서는 관비용액의 Mg 농도를 1 또는 2mM로 조절하여 시비하는 것이 바람직하다고 판단하였다.

## 2. 지상부의 무기원소 함량

Figure 3에는 관비용액의 Mg 농도를 조절하며 시비하고 정식 후 120일 지상부 건물중과 건물중에 기초한 Mg 함량을 조사 및 분석하여 나타내었다. 마그네슘 시비농도에 대한 건물중은 3차 곡선적인 반응을 보였으며 식물체당 약 8.2g의 건물중을 생산할 때 정점이 형성되었다. 최대 생장량의 90%를 생장역제를 방지할 수 있는 최저 한계점으로 간주하면(Ulrich, 1993) 식물체당 7.4g의 건물중을 생산하는 것이며, 이

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

Mg (mM)	Number of leaves	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Crown diameter (cm)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0	4.14	12.2	7.69	21.9	1.17	20.3	5.05
0.5	5.43	12.5	8.10	23.0	1.06	27.4	6.85
1	5.50	13.3	8.13	27.9	1.12	36.5	8.53
2	5.43	12.9	8.34	27.4	1.12	34.8	7.82
4	5.14	12.8	8.35	25.7	1.14	31.3	7.25
6	5.29	13.3	8.16	22.9	1.30	29.4	7.08
LSD <sub>0.05</sub> <sup>2</sup>	0.92	1.18	0.88	3.2	0.17	7.5	1.90
Linear	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS
Quadratic	NS	NS	NS	**	*	***	**
Cubic	*	NS	NS	***	NS	***	***

<sup>2</sup>Least significant difference at  $P=0.05$ .

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

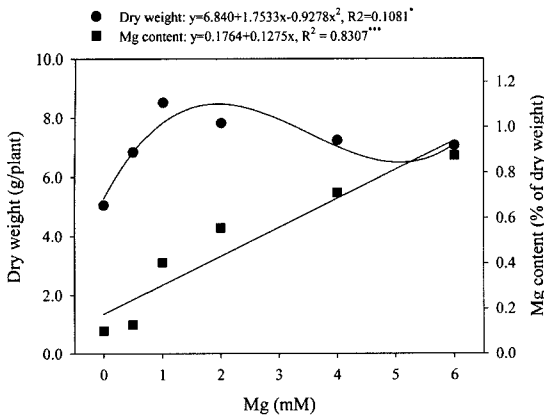


Fig. 3. Effect of elevated magnesium concentrations in the fertilizer solution on changes in dry weight and magnesium content of the whole above ground plant tissue of 'Maehyang' strawberry at 120 days after transplanting.

때의 건물 내 Mg 함량은 약 0.30%에 해당된다. 정점을 지나 생장량이 10% 감소할 때를 최고 한계점 (upper critical level)로 간주하면 Mg 함량이 약 0.65%에 해당한다. 따라서 '매향' 딸기를 관비재배하면서 생장억제를 방지하기 위해서는 건물중에 기초한 Mg 함량이 0.30~0.65%의 범위에 포함되도록 시비해야 하며, 최적 시비농도는 약 2mM이라고 판단하였다.

Winsor와 Adams(1987)는 Mg 결핍증상이 발현하는 오이는 건물중 기준으로 상위엽 0.22%, 그리고 하위엽은 0.13%의 Mg 함량을 가졌고, 정상생육을 하는 식물체는 상위엽 0.77%, 하위엽 0.46% 이상의 Mg

함량을 갖는다고 보고하였다. Lee(2003)는 오리엔탈 백합 'Casa Blanca'에서 0.36~0.45%, Kim 등(2005)은 국화 'Biarritz'에서 0.53~0.71%의 범위를, 그리고 Choi 등(2001)은 딸기 '여봉'에서 0.25~0.31%가 건물중을 기준으로 분석할 때 수용 가능한 Mg 함량이라고 하였다. 본 연구의 딸기 '매향'은 백합, 국화 또는 딸기 '여봉'보다 Mg 요구도가 높고 오이와 유사한 수준에서 적정 영역이 성립한다고 판단하였다.

Table 3에는 정식 후 120일에 지상부를 수확하여 무기물 함량을 분석하고 그 결과를 나타내었다. 식물체 내 인산과 칼륨 함량은 지상부 생장량이 가장 많았던 Mg 1.0mM과 2.0mM 시비구의 함량이 낮았다. 이는 생장량이 증가함에 따라 희석효과가 발생하였기 때문이라고 생각하며 Marschner(1995) 및 Ulrich(1993)도 유사한 결과를 보고하여 본 연구에서 지상부 생장량이 많은 처리의 희석효과 발생을 뒷받침하고 있다.

마그네슘 시비농도가 증가함에 따라 식물체 내 Ca와 Mg 함량이 증가하였다. 마그네슘 함량은 시비농도에 직접 영향을 받아 식물체 내 함량이 증가한 원인이 되었다고 판단하였으나, Mg 시비농도 증가가 식물체 내 Ca 함량을 증가시킨 것은 예상 밖의 결과이다. 칼슘과 Mg은 흡수과정에서 길항작용을 하는 대표적인 원소로 알려져 있으며(Hanan, 1998; Marschner, 1995; Nelson, 2003) 일반적으로 Mg 시비량이 증가하면 Ca 흡수량이 저하하고, Ca 시비량이 증가하면 Mg 흡수량이 저하하는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 Mg

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

Mg (mM)	T-N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
	(%)					(mg·kg <sup>-1</sup> )			
0	1.45	0.32	2.40	0.57	0.10	290.9	370.4	33.1	10.99
0.5	1.47	0.32	2.57	0.64	0.13	256.3	401.7	36.5	13.13
1	1.36	0.31	2.19	0.86	0.41	172.3	228.6	34.7	11.95
2	1.26	0.23	1.90	0.68	0.56	130.0	336.9	44.6	10.29
4	1.25	0.37	2.36	1.58	0.71	65.5	77.3	34.5	9.21
6	1.23	0.37	2.11	1.42	0.88	64.3	72.2	27.6	6.89
LSD <sub>0.05</sub> <sup>z</sup>	0.17	0.06	0.77	0.25	0.18	78.8	170.3	8.98	2.77
Linear	***	NS	NS	***	***	***	***	NS	***
Quadratic	***	*	NS	***	***	***	**	*	***
Cubic	***	*	NS	***	***	***	**	*	**

<sup>z</sup>Least significant difference at P=0.05.

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

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

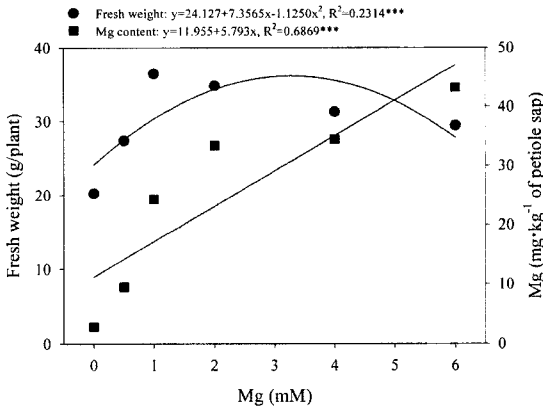


Fig. 4. Effect of elevated magnesium concentration in the fertilizer solution on changes in fresh weight of above ground plant tissue and magnesium concentrations in petiole sap of ‘Maehyang’ strawberry at 120 days after transplanting.

시비량이 증가할 때 Ca 흡수량이 증가한 것은 원인이 불분명하며 추후 보완 연구가 필요한 부분이라고 판단하였다.

마그네슘 시비농도가 증가함에 따라 식물체 내 Fe, Mn, Zn 및 Cu 함량이 뚜렷하게 감소하여 Mg 시비농도 간 네 원소의 통계적인 차이가 인정되었다. Zn을 제외한 세 원소의 직선회귀가 성립하였으며, 네 종류 원소의 2차 곡선회귀도 성립하여 경향이 뚜렷함을 알 수 있었다. 마그네슘 시비농도 증가로 미량원소 함량이 감소한 것은 두 종류 원인에 기인한 결과라고 생각되었다. 첫번째는 Mg 시비농도 증가로 상토의 pH가 상승하였고(Fig. 5), 높은 pH에서 금속원소의 불용화가 촉진되어 흡수량 저하의 원인이 되었다고 생각한다. Hanan(1998), Morgan과 Mascagni(1991) 및 Nelson(2003)도 상토의 pH가 상승함에 따라 불용화 되는 금속 미량원소의 양이 증가한다고 하여 본 연구결과와 유사한 보고를 한 바 있다. 또 다른 가능성은 양이온인 Mg 시비농도가 증가함에 따라 흡수과정에서의 양이온간 길항작용으로 Fe, Mn, Zn 및 Cu의 흡수량이 감소하였다고 판단한다.

### 3. 엽병 추출액의 Mg 농도

Figure 4에는 Mg 농도를 조절하여 딸기 ‘매향’을 관비재배하고 정식 후 120일에 지상부 생체중과 엽병즙액 내 Mg 농도를 조사 및 분석하여 나타내었다. 마그네슘 시비농도에 대한 지상부 생체중은 2차 곡선

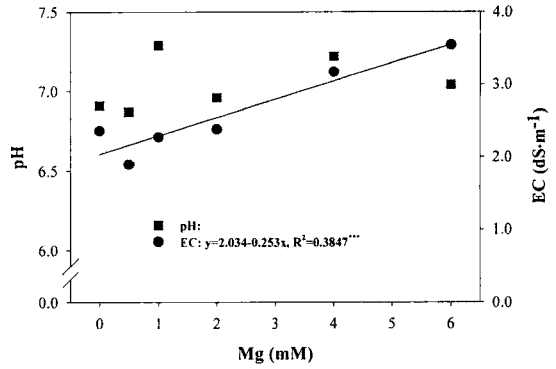


Fig. 5. Effect of elevated magnesium concentrations in the fertilizer solution on changes in pH and EC in soil solution of root media at 120 days after transplanting of ‘Maehyang’ strawberry. Curves in pH were not significant in fitting for linear, quadratic, and cubic.

회귀적인 반응을 보였고 식물체당 생체중이 약 36.2g에서 정점이 형성되었다. Bouma(1983), Ohki(1984) 및 Ulrich(1993)의 보고와 같이 최대 성장량의 90% 성장량을 생장억제를 방지할 수 있는 최저 한계점으로 간주하면 식물체당 32.5g의 생체중을 과잉에 의해 10% 생장이 억제될 때를 최고 한계점으로 간주하면 엽병즙액의 Mg 농도는 약 40mg·kg⁻¹이 된다. 따라서 딸기 ‘매향’을 재배하면서 생장억제를 피하기 위해서는 엽병 추출액의 Mg 농도가 19~40mg·kg⁻¹의 범위에 포함되도록 시비농도를 조절해야 한다고 생각하였다.

Park(2007)은 0.1N HCl로 앞들개의 잎을 추출하여 Mg 농도를 분석하고 1,700mg·kg⁻¹ 이상의 Mg 농도를 유지하도록 시비해야 생장억제를 방지할 수 있다고 주장하였다. Saikoku와 Sanho(1995)는 장미, 카네이션 및 거베라 하위엽을 분쇄하여 추출한 결과 Mg 농도가 각각 250~500, 200~350 및 300~750mg·kg⁻¹의 범위에 포함되어야 생장억제를 방지할 수 있다고 보고하였다. 본 연구는 이상 보고된 내용보다 월등히 낮은 범위에서 적정 영역이 성립하였는데, 엽병을 절단한 후 증류수로 흔들어 추출하였기 때문에 0.1N HCl로 추출한 경우(Park, 2002) 또는 하위엽을 마쇄하여 추출한 경우(Saikoku와 Sanho, 1995) 보다 농도가 낮게 분석된 원인이 되었다고 사료되었다.

### 4. 토양 pH 및 EC의 변화

Figure 5은 정식 후 120일에 포화추출법(Warneck,

1986)으로 상토의 pH 및 EC를 측정하여 그 결과를 나타내었다. Mg 시비농도가 증가할수록 상토의 pH 및 EC가 상승하였다. pH가 상승한 원인은 Mg이 알칼리성 물질이며, 알칼리성 물질의 농도가 높아져 pH 상승의 원인이 되었다고 판단한다. 그러나 상토의 pH는 Mg 시비농도 간의 통계적인 차이가 인정되지 않았고, 1~3차항 회귀곡선도 성립하지 않아 경향을 찾을 수 없었다.

마그네슘 시비농도 증가가 상토의 전기전도도를 상승시켰는데, Mg 시비농도를 높이기 위해 Mg 혼합량이 증가하고 또한 양액조성 과정에서 Mg의 상대 이온농도가 높아져 전기전도도가 높아진 원인이 되었다고 생각되었다.

## 적 요

마그네슘 시비농도를 인위적으로 조절하여 ‘매향’ 딸기를 관비재배하면서 Mg의 시비수준이 생장과 결핍증상 발현에 미치는 영향을 구명하고, 건전생육을 유지할 수 있는 식물체 및 토양의 한계농도를 밝히기 위하여 본 연구를 수행하였다. 마그네슘 결핍증상은 하위엽에서 발생하였으며, 초기에 하위엽의 엽맥 사이에서 반점 형태의 황화현상이 나타난 후 점차 반점 부위가 확산되어 엽맥간 황화현상으로 발전하였다. 또한 증상이 심해지면 엽맥 사이가 검게 변하고, 하위엽 선단의 갈변 및 괴사하는 증상이 발생하였다. Mg 시비농도를 조절하여 관비하고 정식 120일 후에 지상부 생육을 조사한 결과 Mg 1.0 또는 2mM의 처리에서 생육이 우수하였으며, 0.5 이하나 4mM 이상으로 Mg 시비농도를 조절한 처리의 생장이 저조해지는 경향이였다. 건물중은 마그네슘 시비농도에 대하여 3차 곡선회귀적인 반응을 보였으며 식물체당 약 8.2g의 건물중을 생산할 때 정점이 형성되었다. 최대 생산량의 90%를 최저 한계점으로 간주하면 식물체당 7.4g 이상의 건물중을 생산하기 위해서는 Mg 함량이 0.30~0.65%의 범위에 포함되도록 시비해야 하며, 최적 시비농도는 약 2mM 이라고 판단하였다. 또한, 최대 생산량인 식물체당 생체중 36.2g의 90%를 최저 및 최고 한계점으로 간주할 경우 엽병 추출액의 Mg농도가 19~40mg·kg<sup>-1</sup>의 범위에 포함되도록 시비해야 한다고 판단하였다.

**주제어** : 결핍증상, 딸기, 식물체 무기원소 함량, 칼슘 농도

## 인 용 문 헌

1. Bould, C., E.J. Hewitt, and P. Needham. 1983. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 1. Principles. Her Majesty Stationery Office, London.
2. Bouma, D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies in plant tests. p. 120-146. In: Encyclopedia of plant physiology Vol. 15A. Springer-Verlag, Berlin. Germany.
3. Choi, J.M., S.K. Jeong, K.H. Cha, H.J. Chung, and K.S. Seo. 2001. Deficiency symptom, growth characteristics, and nutrient uptake of ‘Nyoho’ strawberry as affected by controlled magnesium concentrations in fertilizer solution. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 42:142-146 (in Korean).
4. Eastin, E.F. 1978. Total nitrogen determination for plant material containing nitrate. Anal. Biochem. 85:591-594.
5. Hanan, J.J. 1998. Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.
6. 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.
7. Kim, J.M., J.M. Choi, H.J. Chung, and D.C. Choi. 2005. Effect of magnesium concentration in fertigation solution on growth and nutrient uptake of cut chrysanthemum ‘Biarritz’. J. Bio-Environ. Control 14:128-136 (in Korean).
8. 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.
9. Lee, K.H. 2003. Effect of macro element concentrations in fertilizer solution on growth and nutrient uptake by Oriental hybrid lily ‘Casa Blanca’. PhD Diss., Pai Chai Univ., Daejon, Korea (in Korean).
10. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, Calif.
11. Morgan, J.T. and H.J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. p. 371-425. In: R.J. Luxmoore (ed.). Micronutrient in agriculture. Soil Sci. Soc. of Amer, Inc. Madison, Wisc.
12. Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, N.J.
13. Ohki, K. 1984. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghums. Agron. J. 76:253-256.
14. Park, J.Y. 2007. Effects of application time, concentra-

- tion 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).
15. RDA. 2003. Agricultural science technique research investigation and analysis standard. 4th ed. Suwon, Korea (in Korean).
  16. Saikoku, K. and T.S. Sanho. 1995. Nutritional physiology and fertilization of floral crops. Rural Culture Association. Tokyo, Japan.
  17. Ulrich, A. 1993. Potato. p. 149-156. In: W.F. Bennett (ed.). Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants. APS Press, St. Paul, Minn.
  18. Warncke, P.D. 1986. Analysing greenhouse growth media by the saturation extraction method. Hort-Science 211:223-225.
  19. Winsor, G. and P. Adams. 1987. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 3. Glasshouse crops. Her Majesty's Stationery Office, London.