

양액과 SCB액비 처리에 미량요소 첨가가 방울토마토의 미네랄 함량과 생육에 미치는 영향*

류 종 원**

Effect of the Mixed Treatment of Electrolyzed Micronutrients
with Nutrient Solution and SCB Slurry on Mineral Content and
Growth of Cherry Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*)

Ryoo, Jong-Won

A pot experiment was carried out to examine the effect of electrolyzed micronutrients (Fe, Mn, Zn, Sr, Se, Sn, Co, Ti, and V) solution treatments with nutrient solution and SCB slurry on the mineral content and growth of tomato in cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). The treatment of nutrient solution (NS) + micronutrients solution (MS) significantly increased the concentrations of Li, Zn, Sr, Se, Ti as compared with that of NS alone in the cherry tomato fruits, and SCB +MS solution treatment significantly increased Li, Zn, Se, Co, Sr, and Ti contents as compared with SCB treatment. The micronutrient contents of MN+SCB+MS treatment were significantly higher in Li, Zn, Se, Co and in Ti than those of SCB and NS treatment, respectively. The growth and yield of cherry tomato fruits was highest with NS treatment. The yield indices of cherry tomato treated with NS+MS treatment and SCB+NS+MS were 97% and 94% of NS treatment. In conclusion, it seems to be possible to produce micronutrient-fortified cherry tomato by the mixed treatment of electrolyzed micronutrients.

Key words : *cherry tomato, growth, micronutrients solution, mineral content*

* 본 연구결과는 상지대학교에서 지원한 2011년도 교내연구비에 의해서 수행되었음.

** 교신저자, 상지대학교 유기농생태학과(jwryoo@sangji.ac.kr)

I. 서 론

인간은 건강 유지를 위하여 적절한 미네랄이 필요하다. 미네랄은 생명을 가진 모든 생명체에는 꼭 필요한 요소이다. 세계인구 중 빈민국가와 일부 선진국 사람들이 미량요소 결핍을 겪는 것으로 알려져 있다(Linder, 1991). 1994년 세계은행(The World Bank)의 보고에 의하면 미량원소 결핍에 따른 사회경제적 비용에 국민총생산액의 5%에 달한다고 보고하였다(Schauss, 1988).

오늘날 수식, 풍식에 의하여 토양에 미네랄이 고갈되었고, 현대농업은 다수확을 목표로 하고 있어서 수확 후 미량요소의 재투입이 이루어지지 않아 미량요소가 고갈되고 있다. 토양의 미네랄 싸이클은 퇴비나 가축분뇨 등 유기질 비료에 의해서 유지되는데, 화학농법은 다량요소 성분(질소, 인산, 칼리) 위주로 사용하므로 농작물에 미량 미네랄 함량의 부족을 초래하기 쉽다.

식물의 필수원소 성분은 토양의 함유량에 따라 상이하며 국가별로 미량요소 결핍의 문제가 상이하다. 전세계적으로 수백만명의 인구가 미량요소 결핍을 겪고 있으며 미량요소 결핍을 일명 숨겨진 기아(hidden hunger)라고 일컬어진다. 미량원소 영양결핍은 인간의 건강과 밀접하게 연결되어 있고 국제적으로는 Fe, Zn, I, Se 결핍이 문제가 되고 있다. 또한 세계 곡물재배 지역 토양의 50%가 Zn이 부족하고 30%는 철이 결핍된 것으로 보고되었다(Kennedy와 Powell, 1997).

질소와 황을 제외한 대부분의 미네랄은 무기물 형태로 얻어진다. 질소와 황은 아미노산이나 다른 유기물의 형태로 얻어진다. 식물이 요구하는 필수원소는 N, P, K, Ca, S, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cl, B, Mo가 있다. 인간은 식물의 필수원소 외에도 Cr, I, Se, Co, Sr, Li, Sn, V, Ti도 필요한 것으로 보고되었다(Schauss, 1988).

최근 미네랄 결핍을 농업적으로 해소하기 위하여 식물에 미네랄이 강화된 작물을 육종하거나, 미네랄을 비료로 시비하여 식물미네랄(phyto-minerals) 함량을 높이는(phytofortification) 방법을 연구하고 있다(Nestel 등, 2006; Cakmak, 2008; Ortiz-Monasterio 등, 2007). 농업적 미네랄 강화(biofortification)는 적은 비용으로 식물체의 미네랄 함량을 높여 미네랄 흡수량을 증가시키는데 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다(Bouis, 1996). 미량요소 강화 시비는 식물의 양분 결핍을 방지할 뿐만 아니라 먹이사슬을 통하여 인간, 가축의 건강에 좋은 영향을 미친다(Alloway, 2004).

본 연구는 관행농산물과 친환경농산물에서 미네랄이 강화된 농산물 생산기술을 모색하기 위하여 관행농산물의 미네랄 강화 비료 원료로 양액을 선택하고 친환경농산물의 미네랄 강화 비료원료로 SCB(slurry composting and biofittation)액비를 재료로 미네랄 강화 시험을 실시하였다. SCB 여과액비의 특성은 저장액비에 비하여 액상화, 균질화가 높고, 악취가 거의 없으며 비료성분과 중금속 함량이 매우 낮은 친환경적 액비이다.

따라서 본 연구에서는 식물체가 쉽게 흡수할 수 있는 10종의 이온성 복합미량요소액을 제조하고, 이 복합미량요소액을 양액과 SCB 액비에 첨가하여 방울토마토의 생육과 과실내 미량 미네랄 함량에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시식물 및 경종개요

본 연구는 2011년 4월부터 9월까지 상지대학교 실습 유리온실에서 수행하였다. 공시 방울토마토 품종은 유니콘(홍농종묘)를 이용하였다. 토마토 파종은 4월 25일, 실시하였으며 정식은 꽃이 피기 시작하는 2011년 6월 10일에 실시하였다.

토마토 묘종은 직경 30cm, 깊이 50cm의 화분에 상토를 채운 후 옮겨 심고 물을 충분히 주었다. 토마토는 처리별로 2 반복구를 두어 각 반복당 6개를 만들어 재배하였다.

2. 복합미량요소액 제조

유기농업에 사용이 가능한 미량 미네랄액을 제조하기 위하여 Fe, Li, Mn, Zn, Sr, Se, Sn, Cr, Co, Ti, V의 금속을 전기분해 방법을 이용하여 물속에 이온화시킴으로서 미네랄 용액을 제조하였다. 이온성 미네랄 제조용 전기분해장치는 슬라이드스로 전압을 자유로이 조절할 수 있게 하고, 정류기를 달아 직류를 발생시키도록 만들어졌으며, 20A 전류를 저장하고 이용할 수 있도록 콘덴서를 설치하고, 전류량을 제어할 수 있도록 제어회로를 갖는다. 전기분해에 사용되는 양극의 전선은 티타늄으로 만들어진 전선과 연결한 후 음극엔 백금판을 설치하고, 양극엔 이온화시키기를 원하는 금속을 접지하여 물속에 담근다. 전기를 가하고 전압을 금속에 따라 적절히 높여주고, 전류의 흐름을 높이고, 금속이온의 용출을 돕기 위해 염이나 유기산과 같은 물질을 전해액으로 넣어주면 금속의 이온화가 이루어진다. 이때 양극에서 녹아나온 이온성 금속은 음극에 달라붙어 코팅될 수 있어 음극은 역삼투막을 통해 격리시켜 전기는 통하되 금속 이온은 통과하지 못하게 하여 지속적으로 물에 녹여 농도를 높일 수 있도록 하였다.

3. 처리내용

본 시험의 처리내용은 Table 1과 같다. 시용량은 질소 시비량을 기준으로 SCB액비와 원예연개발 양액(농촌진흥청, 1997)에 복합미량요소액 조합처리를 두었다. 복합미량요소액은

전기분해에 의하여 분해된 이온성 Fe, Li, Mn, Zn, Sr, Se, Sn, Co, Ti, V를 함유하는 고농도 미네랄액을 제조하여 화학양액과 SCB액비에 각각 10ppm 첨가하였다.

Table 1. Treatments of experiment

Treatment No.	Treatment	Content
T1	NS	Nutrient solution
T2	NS+MS	Nutrient solution+ Micronutrients solution
T3	SCB	SCB slurry
T4	SCB+MS	SCB+Micronutrients solution
T5	SCB+NS+MS	SCB+Nutrient solution+Micronutrients solution

본 연구에서 적용된 양액은 토마토재배 전용 원예연구소배양액(N-P-K-Ca-Mg = 9-2-5-4-2 me/L)을 공급하였다. 각 처리구의 양분은 전기전도도(EC)를 기준으로 동일하게 시용하였으며 생육 초기에 1.6mS/cm, 생육중기에 1.8-2.0mS/cm 생육후기에 1.8mS/cm으로 조절하였다. 배양액의 pH는 인산용액으로 조절하였으며 pH 5.5~6 정도 유지하였다.

4. 미네랄 및 액비 분석

방울토마토의 미네랄 분석은 미국 EPA의 Method 3050B에 준하여 전처리하였다. 시료의 분석방법은 유도결합플라즈마 발광광도법에 따라 측정용 시료의 발광강도를 측정하고, 분석항목별 표준물질의 농도와 발광강도의 상관관계로 작성한 검량선으로부터 분석원소의 양을 구하여 함량(mg/kg)을 산출하였다. 분석에 사용된 ICP-OES 기기는 유도결합플라즈마 광학분광계(Vista-MPX, Varian)이었다.

액비의 분석방법은 폐기물 공정시험법과 Standard Method에 따라 분석하였다. pH는 ORION model 420A을 사용한 이온전극법(Ionic electronic method), EC(Electronic Conductivity : mS)는 TOA model CM-7B를 사용하였다. 또한, T-N(Total Nitrogen)은 Ultraviolet spectrophotometric screening method, T-P(Total Phosphates)는 Ascorbic acid method를 사용하였다. 이온성 원소 분석은 AA(Perkin Elmer model : 5100PC)를 사용하였으며, EPA Method 3050B의 전처리방법과 EPA Method 200.9의 분석방법을 적용하였다.

5. SCB액비, 양액, 복합미량요소액의 성분

SCB액비는 여주군 가남면 신해리 182-2번지에 위치한 애농원 양돈농가에서 잘 발효된

돈분뇨 SCB액비를 사용하였다. SCB 퇴비단여과액비의 이화학적 특성은 Table 2와 같다. SCB액비의 부유물질(suspended solid) 함량은 15.2mg/ℓ로 매우 낮아 하우스 관비 재배 시 막힘 문제가 발생되지 않는 수준이었다. SCB액비의 질소 및 칼륨함량이 각각 608, 855mg/ℓ이었으나 인산, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 34.4, 24.2, 32.5mg/ℓ로 질소와 칼륨 함량에 비하여 성분 함량이 부족한 양분 불균형 상태를 나타내었다.

Table 2. Nutrient composition of SCB liquid manure

T-N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)	K (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	Suspended solid (mg/ℓ)
608.2	34.4	885.1	24.2	32.5	15.2

SCB액비, 양액, 복합미량요소액의 미량원소 함량을 조사한 결과, SCB액비는 철분, 망간, 아연을 각각 3.5, 0.4, 13mg/ℓ 함유하고 있었으며, 양액은 철분, 망간, 아연을 각각 20, 2, 0.22mg/ℓ 함유하고 있었다. 복합미네랄은 10종의 미량미네랄을 10mg/ℓ 함유하였다(Table 3).

Table 3. Micromineral content of SCB slurry, nutrient solution and micronutrients solution

Elements	SCB	Nutrient solution	Micronutrients solution
Fe(mg/ℓ)	3.5	20	10
Li(mg/ℓ)	0	0	10
Mn(mg/ℓ)	0.4	2	10
Zn(mg/ℓ)	13	0.22	10
Sr(mg/ℓ)	0	0	10
Se(mg/ℓ)	0	0	10
Sn(mg/ℓ)	0	0	10
Co(mg/ℓ)	0	0	10
Ti(mg/ℓ)	0	0	10
V(mg/ℓ)	0	0	10

6. 조사내용

생육조사는 방울토마토 3주를 1구 3반복으로 하여 초장, 줄기직경, 생과중, 지상부 생체중, 엽록소 함량 등을 조사하였다. 과일은 과수와 과중을 조사하였다. 액비와 양액의 혼합

에 의한 산도(pH)는 pH미터로, 전기전도도는 EC미터를 이용하여 측정하였다. 엽록소 측정치(SPAD reading value)는 간이엽록소측정장치(Minolta Japan, SPAD-502)을 이용하였다. 측정엽은 완전 전개된 중상위 엽으로 하였으며 반복당 3주씩, 1주당 5회씩 측정하여 평균처리 하였다. 기타 생육특성은 농촌진흥청이 제시한 농사시험연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 의거 조사하였다. 통계처리는 Dancan의 다중검정을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 방울토마토의 미량 미네랄 농도

양액과 SCB액비에 복합미량요소액 처리에 따른 방울토마토의 미네랄 농도는 Table 4 및 Table 5와 같다. 시험 결과 양액+복합미량요소액 처리구에서는 Li, Mn, Se, Ti이 증가되었고, SCB+복합미량요소액 처리구는 Li, Mn, Zn, Se, Sr, Ti 함량이 높아졌다. 각 미량요소 성분별 처리효과를 보면 Fe 처리의 효과는 나타나지 않았다. 양액+SCB+복합미량요소액은 SCB액비, NS액비 처리구보다 Li, Zn, Se, Co, Ti 함량이 유의성있게 증가하였다. 리튬 시용에 따른 처리별 리튬 함량은 대조구의 0.46에서 처리구에서 1.53mg/kg로 높아졌으며 SCB 처리구에서도 리튬 함유량이 증가하였다. 토양의 lithium 함량은 100ppm 정도인 것으로 알려져 있고, 통상 과일의 리튬 함량은 14~70 μ g/g으로 보고되었고 고추의 리튬 함량은 194~318 μ g/g으로 높다(Lovkova 등, 2007).

망간 처리의 효과는 모든 처리구에서 나타나지 않았다. 그러나 아연 처리에 따른 아연 함량 증가 효과는 양액 처리구에서는 나타나지 않았으나 SCB 처리구에서는 증가 효과를 나타내었다. Zn 함량 결핍은 서부 사하라 아프리카 인구의 13~47%, 남동아시아 18~30%, 남동아시아 27~39%에 달하며 지역에 따라 아연 부족 토양이 산재하고 있다(Bouise 등, 1996; Begner, 1997). 아연은 식물의 화분 형성에 중요한 성분이다. 화분의 Zn 함량은 80mg/kg이다(Cakmak, 2008). 벼의 아연 함량은 10~40mg/kg, 밀은 13~68mg/kg으로 보고되었다(Rashid와 Ryan, 2004).

스트론튬(Sr) 처리는 양액처리구에서는 흡수효과가 높았으나, SCB액비 처리구에서 효과가 미미하였다. 천연 상태의 스트론튬(strontium)은 방사성 원소가 아니며 생물은 스트론튬을 칼슘과 잘 구분하지 못하고 스트론튬을 흡수한다. 동물에서는 뼈와 치아를 구성하며 칼슘의 일부를 대체하는데, 인체에는 약 320mg의 스트론튬이 함유하고 있으며, 뼈에는 36~140ppm 농도로 들어있다. 1950년대부터 인체 건강에 대한 스트론튬의 유익성이 많이 연구되고, 스트론튬 화합물이 식품보조제로 사용되고 있다(Krutilina 등, 1999).

Table 4. Effects of micronutrients solution treatments on the concentration of Fe, Li, Mn, Zn, and Sr in cherry tomato fruits

Treatments	Fe (mg/kg)	Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Sr (mg/kg)
NS(A)	34.7a	0.46c	27.2a	15.1b	1.51b
NS+MS(B)	35.6a	1.53a	28.4a	15.3b	2.96a
Difference(B-A)	0.9	1.07	1.2	0.2	1.45
Increase(B/A, %)	102	332	104	100	196
SCB(C)	34.5a	0.44c	26.9a	14.8b	1.49b
SCB+MS(D)	34.8a	0.97b	28.9a	20.5a	1.60b
Difference(D-C)	0.3	0.53	2.0	5.7	0.11
Increase(D/C, %)	101	220	107	138	107
SCB+NS+MS(E)	35.9a	1.06b	29.1a	20.7a	1.63b
Difference(E-C)	0.4	0.62	2.2	5.9	0.14
Increase(E/C, %)	103	240	108	140	109
Difference(E-A)	1.2	0.60	1.9	5.6	0.12
Increase(E/A, %)	103	230	106	137	108

NS: Nutrient solution, MS: Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration
 abc: Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level

셀레늄 처리에 따른 방울토마토 열매의 Se 함량은 대조구의 0.08mg/kg에 비하여 양액처리구에서는 2.29, SCB액비 처리구에서는 1.29로 증가되어 Se 흡수효과가 인정되었다. 셀레늄 흡수율은 50~100% 정도이며 식품 내에 유기 셀레늄으로 공급되면 거의 완전히 흡수되거나 무기 셀레늄의 흡수는 여러 인자의 영향을 받는다고 한다. 영국인들의 Se의 일일 섭취량은 60~75µg으로 섭취기준(RNI)의 1/2로 보고되었다(Terry 등, 2000). 전 세계 대부분의 토양에서 Se의 함량(정상범위: 0.01~2.0mg/kg)이 낮다. 핀란드에서는 곡물과 채소 재배에서 16 mg/kg의 Se를 비료에 혼합하여 사용하고 있다. 본 연구의 공시작물인 방울토마토의 Se 함량은 높은 수준은 아니었다.

주석 처리는 토마토 열매의 주석 함량에 영향을 미치지 않았다. 크롬 함량은 양액처리구에서 67%, SCB액비에서 44% 증가되었다. 코발트는 토마토 성장에 유용한 효과를 나타내며, 코발트 첨가는 식물체의 삼투압을 감소시켜 염류장해를 감소시켜 토마토의 생육과 수량을 증가시키는 것으로 보고되었다(Nadia와 Kandil, 2010). 식물체의 Co 농도는 건물중으

로 0~10 μ g/g으로 알려져 있다. 코발트는 비타민 B12(cobalamin)의 필수구성요소로 고등식물과 동물에 필수원소로 알려져 있으며 결핍 때 악성빈혈을 일으킨다(Bakkaus 등, 2005). 코발트는 오옥신 대사와 세포신장에 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 통상 건조에 코발트 함량이 0.07mg/kg에 불가하여 가축에 코발트 결핍현상이 나타난다. 코발트 시용은 목초지에 코발트 결핍을 방지하여 사료 품질 향상에 필요하다.

티타늄(titanium)은 식물 생장과 광합성을 촉진하는 것으로 보고되었으나 처리효과가 나타나지 않았다. 또한 바나듐 처리에 의한 바나듐의 함량의 증가 효과는 나타나지 않았다. 연구보고에 의하면 토마토 시험에서 바나듐 50ng/ml 처리에서 117~418 μ g/g의 농도를 나타내었다고 보고하였다(Hayati와 Aksu, 2011). 바나듐(vanadium)은 인간, 가축의 건강과 식물의 생육에 효과가 있다고 보고되고 있다(Mertz, 1986).

Table 5. Effects of micronutrients solution treatments on the concentration of Se, Sn, Cr, Co, Ti, and V in cherry tomato fruits

Treatments	Se (mg/kg)	Sn (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ti (mg/kg)	V (mg/kg)
NS(A)	0.08d	0.20a	0.025c	0.001c	3.42a
NS+MS(B)	2.29a	0.21a	0.026c	0.026a	3.44a
Difference(B-A)	2.21	0.01a	0.001	0.026	0.02
Increase(B/A, %)	2,862	105	104	26,000	100
SCB(C)	0.07d	0.19a	0.025c	0.001c	3.41a
SCB+MS(D)	1.08b	0.21a	0.066a	0.008b	3.46a
Difference(D-C)	1.01	0.02	0.065	0.008	0.05
Increase(D/C, %)	1,442	110	264	800	101
SCB+NS+MS(E)	1.29c	0.22a	0.028b	0.008b	3.47a
Difference(E-C)	1.22	0.03	0.003	0.008	0.06
Increase(E/C, %)	1,842	115	112	800	100
Difference(E-A)	1.21	0.02	0.36	0.003	0.05
Increase(E/A, %)	1,612	110	112	800	101

NS: Nutrient solution, MS: Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration.

abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

2. 방울토마토 생육 특성

복합미량요소액 처리에 따른 정식 후 40일의 방울토마토의 생육특성은 Table 6과 같다. 토마토의 초장은 표준양액에서 185cm로 가장 높았으며 양액에 미네랄 첨가구와는 유의차를 나타내지 않았다. SCB액비구의 초장은 172.4cm로 양액처리구 보다 낮았다. 초장은 양액과 SCB 혼합액에서 181.6cm로 SCB액비보다 높았다. 줄기직경의 경우 SCB+NS+복합미량요소액 혼합시용구에서 16.1mm로 양액재배구와 대등하였다. SCB액비 시용구의 줄기직경은 15.8mm로 가장 적었다. 이러한 결과는 양액처리구는 성분간에 균형이 맞아 시용효과가 초장과 줄기직경의 증대효과를 가져 왔으나 SCB액비 시용구는 양분의 불균형으로 인하여 정상적인 생육을 나타내지 못한 것으로 보인다.

SPAD502를 이용하여 엽록소 함량을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 토마토 잎의 엽록소 측정치는 양액처리구에서 52.9로 가장 높았으며 SCB액비와 SCB액비에 복합미량요소액 첨가구의 엽록소측정치는 양액처리구보다 낮았다. 홍 등(2001)은 토마토 잎의 엽록소측정치는 단위면적당 질소흡수량과 유의성 있는 정의 상관관계를 보여 식물체의 질소영양진단의 지표로 활용이 가능하다고 하였다. 본 연구결과에서도 모든 처리구의 EC를 동일하게 처리하였는데도 불구하고 SCB액비 처리구의 잎의 엽록소측정치가 낮아진 것은 SCB액비의 암모니아태질소 과다와 질산태질소와 인산 부족이 원인이 된 것으로 사료된다(류와 서, 2009).

Table 6. Growth characteristics of cherry tomato plants at 40 days after transplanting as affected by micronutrients solution treatment

Treatments	Plant height (cm)	Stem diam. (mm)	SPAD
NS	185.9a	16.7a	52.9a
NS+MS	182.4a	16.9a	52.0a
SCB	172.4b	15.8b	50.1b
SCB+MS	172.0a	15.6b	50.4b
SCB+NS+MS	181.6a	16.1ab	52.7a

NS: Nutrient solution, MS: Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration.

ab: Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3. 화방별 수확과수와 주당 수량

Table 7은 양액과 SCB액비에 복합미량요소액을 혼합하여 처리한 화방별 평균 수확과수를 나타낸 것이다. 대조구인 양액과 비교하여 양액에 복합미량요소액 첨가구(NS+M)의 수확과수와는 유의한 차이를 나타내지 않았다. SCB액비의 수확과수는 8.9~10.2로 양액처리구

의 11.2~13.2보다 현저히 낮았다. SCB액비 시용구에서 과수가 낮아진 것은 영양불균형에 의한 생식생장의 심한 장애를 받는 결과로 보인다. 이러한 결과는 SCB액비에서 질소, 칼리 성분은 충분하지만 인산, 칼슘, 마그네슘 성분이 부족하여 영양생장 뿐만 아니라 생식생장에 장애를 받은 것으로 나타났다. 그러나 SCB액비+양액+ 미량요소액 혼합구(SCB+NS+MS)는 양액의 혼합에 의한 양분불균형이 해소되어 정상적인 생식생장이 가능하였던 것으로 보인다(류와 서, 2009).

Table 7. Changes in the number of fruits by truss as affected by micronutrients treatment in cherry tomato plants

Treatments	1 st Truss (No.)	2 nd Truss (No.)	3 rd Truss (No.)
NS	11.3a	13.0a	13.3a
NS+MS	11.2b	12.9a	13.2a
SCB	8.9ab	10.9c	10.2a
SCB+MS	9.0a	10.3c	10.5a
SCB+NS+MS	10.7a	11.9b	12.4a

NS: Nutrient solution, MS Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration.

abc: Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

Table 8에서 양액과 SCB액비에 복합미량요소액을 혼합하여 처리한 결과 주당 총 과실생산량은 양액재배에서 555.7g으로 가장 많았다. SCB액비구의 총과실생산량은 451.6g으로 양액 대비 81%의 생산성을 나타내었다. 이러한 결과는 SCB액비구는 잎줄기가 충분히 자라지 않는 상태에서 영양생장기에 도달하여 총 과실생산량이 저하된 것으로 보인다.

Table 8. Effects of micronutrients solution treatment on fruit yield of cherry tomato ntrated slurry of swine manure

Treatments	Yield per plant (g/plant)	Yield index (%)
NS	555.7a	100
NS+MS	552.4a	97
SCB	451.6c	81
SCB+MS	446.2c	80
SCB+NS+MS	520.4b	94

NS: Nutrient solution, M: Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration

abc: Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4. 식물체 기관별 생체중

식물체 기관별 생체중은 Table 9에서 보는 바와 같이 양액과 SCB액비 사이에는 유의차가 인정되었으나, 복합미량요소액 첨가에 따른 유의차는 인정되지 않았다. 식물체 기관별 생체중은 양액처리구가 170.3g으로 SCB액비 보다 높았으며, SCB액비+양액+복합미네랄액 혼합처리구의 생체중은 SCB액비 단독 처리구 보다 유의성 있게 높아졌다.

SCB액비의 엽+줄기+뿌리 생체중은 대조구인 양액 대비 85%를 나타내었다. 최와 박(2007)은 잎들개 시험에서 인산 결핍은 지상부 생육이 심하게 억제 되었다고 하였는데 토마토에서도 SCB액비의 양분불균형에 의한 인산부족이 지상부 잎+줄기 생육을 저해한 것으로 사료된다. Blair 등(1970)은 양액내의 NH₄-N이 적을 때 수량이 증대된다고 하였다. 또한 무에 있어서 NH₄-N이 10% 이상일 때 생육이 저하된다고(Gericke, 1929) 하였는데 이는 식물체내에 흡수되는 NO₃:NH₄의 비율이 더 중요하다는 것을 보여 주었다. 본 연구 결과에서도 농축액비의 NH₄의 함량이 높은 것이 잎줄기의 생육이 억제된 원인이 된 것으로 생각된다(류와 서, 2009).

Table 9. Effects of micronutrients solution treatment on the growth of cherry tomato plants

Treatments	Leaf wt. (g/plant)	Stem wt. (g/plant)	Root wt. (g/plant)	Total wt. (g/plant)
NS	78.2a	55.7a	36.4a	170.3a
NS+MS	77.9a	55.0a	36.6a	169.5a
SCB	65.2b	50.7b	30.1b	146.0b
SCB+MS	65.8b	50.1b	30.9b	146.8b
SCB+NS+MS	76.7b	54.5a	35.4a	166.6a

NS: Nutrient solution, MS: Micronutrients solution, SCB: Slurry Composting & Biofiltration.

ab: Mean separation within columns by Duncan multiple range test at 5% level.

IV. 요약

식물미네랄(phyto-minerals) 함량을 높인 미네랄강화 농작물(biofortification foods)을 개발하기 위하여 전기분해를 이용하여 10종(Co, Fe, Mg, Mn, Sr, Zn, Li, Sn, V, Ti, Se, S)의 미량요소를 함유하는 복합미네랄액을 조제하였다.

양액과 SCB 액비에 복합미량요소액을 방울토마토 처리한 결과 양액+복합미량요소액 처리구는 Li, Zn, Sr, Se, Ti이 증가되었고, SCB+복합미량요소액 처리구는 Li, Zn, Se, Co, Sr,

Ti 함량이 유의성있게 증가하였다. 양액+SCB+복합미량요소액 처리구는 SCB액비, NS액비 처리구보다 Li, Zn, Se, Co, Ti 함량이 유의성 있게 증가하였다.

토마토의 생육과 수량은 양액처리구에서 가장 높았고, 복합 미량요소액 처리로 감소하였다. 토마토의 수량은 표준양액처리구와 비교할때 NS+복합미량요소액 처리구와 SCB+양액+복합 미량요소액 혼합시용구는 각각 97%와 94%의 토마토 과실 수량을 나타내었으나 미량요소 강화효과가 있었으므로 혼합용액을 조제하면 토마토 재배용 양액으로 활용이 가능할 것으로 보인다.

[논문접수일 : 2012. 8. 27. 논문수정일 : 2012. 9. 17. 최종논문접수일 : 2012. 9. 20.]

참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 1991. 농사시험연구조사기준.
2. 농촌진흥청. 1997. 양액재배기술 표준영농교본.
3. 류종원·서운갑. 2009. 퇴비단 여과액비와 농축액비를 이용한 양액재배가 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.)의 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 17(3): 357-370.
4. 최종명·박종윤. 2007. 인산시비농도가 잎들개의 생육, 결핍증상 및 무기원소 함량에 미치는 영향. 한국생물환경조절학회 16(4): 358-364.
5. 홍순달·김기인·박효택·김성수. 2001. 시설재배 토마토 잎의 엽록소 측정치와 토양 질소공급능력의 상호관계. 한국토양비료학회지 34(2): 85-91.
6. Alloway, B. J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association, Brussels, Belgium.
7. Bakkaus E., B. Gouget, J. P. Gallien, H. Khodja, F. Carrot, J. L. Morel, and R. Collins. 2005. Concentration and distribution of cobalt in higher plants: The use of micro-PIXE spectroscopy. Nuclear Physics Research B 231: 350-356.
8. Bergner, Paul. 1997. The Healing Power of Minerals, Special Nutrients, and Trace Elements. Prima Publishing, Rocklin, CA. 312p.
9. Blair, G. J., H. Miller, and W. A. Mitchell. 1970. Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. Agron. J. 62: 530-532.
10. Bouis, H. E. 1996. Enrichment of food staples through plant breeding: A new strategy for fighting micronutrient malnutrition. Nutr. Rev., 54: 131-137.

11. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. *Plant Soil*. 302: 1-17.
12. Gericke, W. F. 1929. Aquaculture a menas of crop production. *Amer. J. Botany*. 16: 862.
13. Hayati F. and D. Aksu. 2011. Determination of Vanadium in Food Samples by Cloud Point Extraction and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy. *Food analytical methods*. 5(3): 359-365.
14. Kennedy E. and R. Powell. 1997. Changing eating patterns of American children: a view from 1996. *J Am Coll Nutr* 16: 524-529.
15. Krutilina, V. S., N. A. Goncharova, N. P. Panov, and W. Letchamo. 1999. Effect of zeolite and phosphogypsum on yield, plant uptake, and content of strontium in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30(3-4). 483-495.
16. Linder MC. 1991. *Nutritional Biochemistry and Metabolism: With Clinical Applications*, 2nd ed. New York. Elsevier.
17. Lovkova, M. Ya., S. M. Sokolova, and G. N. Buzuk. 2007. Lithium-concentrating plant species and their pharmaceutical usage. *Doklady Biological Sciences*. 412(1): 64-66.
18. Mertz, W., ed. 1986. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, Fifth Edition, Academic press, New York, N.Y.
19. Nadia G. and H. Kandil. 2010. Influence of cobalt on phosphorus uptake, growth and yield of tomato. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1(5): 1069-1075.
20. Nestel, P., H. E. Bouis, J. V. Meenakshi, and W. Pfeiffer, 2006. Biofortification of staple food crops. *J. Nutr.*, 136: 1064-1067.
21. Ortiz-Monasterio, J. I., N. Palacios-Rojas, E. Meng., K. Pixley, R. Trethowan¹, and R. J. Peña. 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*. 46(3): 293-307.
22. Rashid, A. and J. Ryan. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: A Review. *J. Plant Nutr.* 27: 959-975.
23. Schauss, A. 1998. *Trace Elements and Human Health*. 3rd ed. Tacoma: AIBR Press.
24. Terry, A., M. Zayed., M. P. de Souza, and A. S. Tarun. 2000. Selenium in hihher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51: 401-432.