Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.4.538>

pISSN : 0367-6315

eISSN : 2288-2162

Effect of Application of Condensed Molasses Solubles Enhanced with Iron on Growth and Productivity of Cherry Tomato

Seung Tak Jeong¹, In-Bog Lee², and Pyeong Ho Yi^{3*}

¹Postdoctoral Researcher, Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Senior Researcher, Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Researcher, Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: leeph@korea.kr

ABSTRACT

Received: October 21, 2021

Revised: November 17, 2021

Accepted: November 22, 2021

ORCID

Seung Tak Jeong

<https://orcid.org/0000-0003-1765-1355>

In-Bog Lee

<https://orcid.org/0000-0003-3305-1691>

Pyeong Ho Yi

<https://orcid.org/0000-0002-9444-3085>

Crops hardly absorb iron (Fe) from high pH soil in plastic greenhouse. Low absorption of iron disturb developing and stabilizing chlorophyll thus result in chlorosis of leaf. Iron absorption of crops can be promoted by application of iron-chelate fertilizer. However use of iron-chelate fertilizer is limited by its high cost. This study was conducted to suggest a simple and low cost methodology for manufacturing iron chelate fertilizer and to analyze the effect of condensed molasses solubles enhanced with iron (CMS-Fe) application on growth and yield of cherry tomato in alkali soil. Soil pH used in this experiment was 7.55. One liter of CMS-Fe solutions were treated by soil injection with four different application levels respectively (Fe 0, 100, 200, 400 ppm). On the 73rd day after transplanting, growth and yield characteristics of cherry tomato and iron content of leaf were analyzed. Iron content and SPAD value of leaf in CMS-Fe application treatments were higher than those in none Fe enhanced CMS and inorganic fertilizer (NPK) application treatments. Yield of CMS-Fe application significantly increased compared with those of none Fe enhanced CMS and inorganic fertilizer application only. Therefore, CMS-Fe application by soil injection is quite useful to improve growth and productivity of cherry tomato in high pH soil.

Keywords: Cherry tomato, Condensed molasses solubles, Growth, Iron, Productivity

Effect of Fe-enhanced CMS application on SPAD value and Fe content in cherry tomato leaves, and fresh weight of fruits.

Introduction

토마토 (*Lycopersicon esculentum*)는 가지과에 속하는 작물로 카로틴과 비타민 C가 풍부하며 주스, 케첩 등 가공 식품으로 많이 활용된다. 토마토는 물빠짐이 좋고 햇빛이 잘 드며 17 - 27°C 온도 범위에서 잘 자라고, 적정 재배 토양 pH는 6.5 - 7.0이다. 국내의 토마토는 전국 각지에서 많이 재배하고 있으며, 2011년에 충청남도에서 당해 연도 국내 토마토 총생산량의 약 23%로 가장 많이 재배하였으나 2020년에는 강원도에서 당해 연도 국내 토마토 총생산량의 약 16%로 가장 많이 재배되었다 (MAFRA, 2020). 2010년 이전에는 노지에서도 일부 재배되었으나 2010년 이후에는 대부분이 시설재배 되고 있다 (MAFRA, 2011).

시설 재배지에서의 퇴·액비나 석회질 자재의 지속적인 과잉 사용은 강우 차단으로 인해 염류 용탈이 거의 일어나지 않아 표토에 염류를 집적시키고 양분의 불균형, 고농도 염류 장해 등의 문제를 일으킨다 (Choi, 1997; Kwak et al., 2003). 염기포화도가 현저하게 높은 경우 토양 산도가 7을 넘기기도 하며 토양 산도 7 이상의 알칼리성 토양에서는 철, 망간, 아연, 구리 등의 원소들이 수산화물을 형성하면서 용해도 및 유효도가 떨어지기 시작한다 (Rout and Sahoo, 2015).

철은 작물 생장에 있어 가장 많이 필요한 미량필수원소 중 하나이며, 식물체 내 철의 80%가 엽록체에 있다 (Briat et al., 2007). 철은 엽록체에서 페레독신 (ferredoxin), 시트크롬 (cytochrome)과 같은 단백질을 구성하여 전자 전달과 산화환원 작용에 관여하여 광합성 활동을 돕는다 (Hänsch and Mendel, 2009). 토양 내 철의 유효도가 감소되어 작물의 철 흡수가 저해되면 생장이 왕성한 어린잎의 조직이 악화되어 엽맥간 조직에 황백화 증상이 발생한다 (Guerinot and Yi, 1994). 황백화 증상이 나타난 작물은 광합성이 저해되어 생육이 억제되고 결국 수확량이 감소하게 된다. 철 결핍 증상의 예방 또는 개선을 위해서는 주로 0.1 - 0.5% 황산 제1철 수용액 또는 구연산철이나 DTPA 철과 같은 킬레

이트제를 토양에 관주하여 작물에 철을 공급한다. 하지만 이러한 제재들은 다소 비용이 높아 농민들에게 금전적 부담을 줄 수 있으므로 제조가 쉽고 경제적인 대체재가 필요하다.

당밀농축액 (condensed molasses solubles, CMS)은 사탕무, 사탕수수, 당밀, 옥수수, 벼 등의 다양한 탄수화물 원료로 발효와 증류 과정을 거쳐 알코올, 설탕, 효모 등을 생산한 후 남은 발효 찌꺼기 (vinasse)이다 (Christofolletti et al., 2013). 작물을 원료로 한 식품 생산 공정의 부산물로서 자연 친화적일 뿐만 아니라, 질소, 칼리, 황 등의 양분이 풍부해 작물의 양분 흡수 효율과 토양의 공극률 및 입단화, 미생물 활성 등을 증대시킬 수 있어 (Kang et al., 2003; Jiang et al., 2012; Christofolletti et al., 2013) 무기질 비료를 일부 대체할 수 있다 (Abd El Halim Mahmoud et al., 2019). 당밀농축액은 분해가 용이한 유기물과 조단백질을 각각 60%와 16% 정도 함유하며 (Lee et al., 2002; Kang et al., 2003), 미생물에 의한 유기물 분해과정 중 산소가 소모되어 자연적으로 혐기 상태를 유도한다. 혐기적 상태의 용액에서는 철의 용해도가 증가하므로 철못을 첨가하면 철이 2가 형태로 용해되어 당밀농축액 내 아미노기의 전자공여체 작용으로 킬레이트 결합을 할 수 있다 (Muhaemin, 2005; Pradhan et al., 2005).

이와 같이 분해가 용이하고 저렴한 CMS에 주변에서 쉽게 구할 수 있는 철못을 투입하면 철이 추출되어 철 강화 당밀농축액을 쉽고 저렴하게 조제할 수 있다. 이러한 철 강화 CMS의 사용은 철 흡수가 어려운 염기성 토양에서 작물의 철 흡수를 증진시킬 수 있다. 본 연구는 염기성 토양에서 방울토마토의 생육기간 동안 안정적이고 지속적인 철 공급을 위해 철 강화 당밀농축액을 조제 후 토양 관주 처리를 통해 방울토마토의 생육 촉진 효과를 분석하고자 수행하였다.

Materials and Methods

철 강화 당밀농축액 제조 실험에 사용할 철 강화 CMS 조제를 위해 CMS 농도가 5%일 때, 철못 투입량에 따른 철 추출 곡선을 구하였다. 사용한 CMS는 유기물 함량이 49%, 전질소가 4.4%였으며 인은 거의 없었다 (Table 1). 5 L 플라스틱 통에 CMS 50 mL과 증류수 4,950 mL, 그리고 철못 125, 250, 500 g을 3반복 처리한 후 산소의 유입을 막기 위해 뚜껑을 닫고 25°C 실온에서 4주간 추출을 진행하였다. 사용된 철못은 일반용 철못으로 97% 이상 철로 구성되었으며, 길이 50 mm, 굵기 2.5 mm, 개당 무게는 2.7 g이었다. CMS의 N-P₂O₅-K₂O 함량은 4.43-0-0.03%이었으며 Fe 함량은 4.77 mg L⁻¹였다 (Table 1). CMS 용액 내에서 철못을 이용하여 철을 추출하는 동안 산화환원전위를 측정하였으며, 4주 후 철못 투입량에 따른 철 추출 곡선을 구하였다. 구한 곡선의 회귀식을 사용하여 철 농도 100, 200, 400 ppm의 철 강화 CMS를 제조하기 위해 5% CMS 용액 5 L에 철못을 약 74, 164, 425 g 투입한 후 4주간 25°C에서 추출하였다.

Table 1. Chemical properties of the condensed molasses solubles used in the experiment.

pH	Moisture (%)	OM [†] (%)	T-N [†] (%)	T-P [†] (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)
4.7	45	49	4.4	0.4	256	36	0.1	222	4.8

[†]OM, T-N, T-P means organic matter, total nitrogen, and total phosphate, respectively.

재배 방법 및 시험 처리 본 실험은 전라북도 완주군 국립원예특작과학원 시험포장 (35.8N, 127.0E)에 있는 비닐하우스에서 2021년 5월 31일부터 8월 12일까지 수행하였다. 토양의 토성은 식양토이었고 pH는 7.55로 약알칼리성이었으며 전기전도도는 1.88 dS m⁻¹이었다 (Table 2).

Table 2. Soil chemical properties before the experiment.

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM [†] (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ [†] (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol ⁺ kg ⁻¹) [†]			NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)
				K	Ca	Mg		
7.55	1.88	24.7	361	0.43	7.12	21.61	10.1	9.1

[†]OM, Av. P₂O₅, and Ex. means organic matter, available phosphate, and exchangeable, respectively.

시험에 사용한 방울토마토는 본엽이 4 - 5매 발생한 ‘썸머킹’을 육묘로 사용하였다. 2021년 5월 31일에 처리구당 4.8 m² 면적에 재식 거리를 40 cm × 80 cm로 하여 2줄씩 정식하였다. 처리구는 무처리 (control), 무기질 비료 (NPK), 철 200 ppm DTPA-Fe 킬레이트 용액 (DTPA-Fe 200), 철 0 ppm 강화 CMS (CMS-Fe 0), 철 100 ppm 강화 CMS (CMS-Fe 100), 철 200 ppm 강화 CMS (CMS-Fe 200), 철 400 ppm 강화 CMS (CMS-Fe 400)로 구성하였다. 모든 처리구는 3반복 난괴법으로 배치를 하였으며, DTPA-Fe 용액과 CMS-Fe 용액은 정식 후 1, 30일째에 방울토마토 1 개체당 500 mL씩 토양 관주 처리하였다. DTPA-Fe 용액은 DTPA-FeHNa (Chelated Iron DTPA 12, Yara, Netheralands)를 사용하여 조제하였다. 무처리구를 제외한 모든 처리구에는 농촌진흥청 방울토마토 표준 시비법에 따라 기비는 2021년 5월 30일에 N-P₂O₅-K₂O를 기준으로 각각 113, 106, 36 kg ha⁻¹를 시비하였다. 추비는 재식후 30, 60일 째에 N과 K₂O를 각각 ha당 56.5와 41.5 kg 시비하였다.

생육 조사 및 분석 방법 초장, 경경, SPAD 값은 최종 수확기인 2021년 8월 11일에 전수 측정하였고, SPAD 값은 엽록소 측정기 (SPAD-502, Konica Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다. 잎, 줄기, 뿌리의 생체량은 물로 세척한 후 물기를 제거하고 생중량을 측정하였다. 과실 수량은 익을 때마다 수확하여 누적량을 계산하였다.

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 화학성 분석법에 준하였다 (RDA, 2000). 토양 시료는 시험이 끝난 후 근권부에서 채취하여 음지에서 풍건한 후 2 mm 체로 쳐서 분석하였다. 토양의 pH와 전기전도도 (EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 pH는 이온전극법 (ORION VersaStar Meter, Thermo, USA), EC는 EC meter (CM-30R, TODKK, Japan)로 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin 법, 암모니아태·질산태 질소는 Kjeldahl 증류법, 유효 인산은 Lancaster법, 치환성 양이온 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 분광분석기 (Integra, GBC Scientific Equipments, Australia)를 사용하여 측정하였다. 식물체 시료는 70°C 오븐에서 72시간 건조 후 성분 분석에 사용하였다. 전질소는 CN 원소분석기 (Primacs SNC-100, Skalar, Netherlands)로 분석하였고, 나머지 성분은 식물체 분해액 (HNO₃:HClO₄ = 85:15)으로 습식 분해 후 분석하였다. 인산은 Vanadate법으로 분석하였고, K, Ca, Mg, Na와 Fe는 유도결합플라즈마 분광분석기 (Integra, GBC Scientific Equipments, Australia)를 사용하여 측정하였다. 과실의 당도는 과육부분을 착즙하여 굴절당도계 (PAL-1, ATAGO, Japan)로 측정하였고, 적정산도는 착즙액 5 mL을 자동적정기 (Titroline 5000, SI Analytics, Germany)를 사용하여 0.1N NaOH로 적정하여 citric acid 함량으로 환산하여 구하였다.

통계분석 통계 분석은 SAS (Enterprise Guide 7.1, SAS Institute, USA)를 사용하여 실시하였다. 각 처리 간 유의성은 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)으로 분석하였고, 평균 간 유의성은 5% 수준에서 Duncan의 다중검정법 (DMRT)으로 분석하였다.

Results and Discussion

철못 투입량에 따른 CMS 내 철 추출률 CMS에 철 100, 200, 400 ppm을 추출하기 위해 25°C에서 5% CMS 용액에 철못 투입량에 따른 철 추출량을 알아보았다 (Fig. 1). 4주간 추출을 통해 얻은 철못 투입량에 따른 철 추출 회귀식은 아래와 같았다.

$$Y = -0.0011X^2 + 1.3994X - 0.5289 \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, X는 철못 투입량 (g), Y는 철 추출량 (ppm)을 의미한다. 철 추출량은 철못의 투입량이 증가할수록 증가하였다가 철못 투입량이 636 g일 때 444.5 ppm으로 최대농도가 된 후 다시 감소하는 양상을 보였다. 이 식을 이용하여 5% CMS 5 L에 철못 74, 163, 425 g 투입하여 102 ± 16 , 203 ± 24 , 408 ± 16 ppm의 철을 추출할 수 있었다. CMS를 희석하고 철못을 투입한 지 3일 만에 산화환원전위는 -400 mV 이하로 떨어졌으며 매우 빠른 속도로 혐기적 환경이 조성됨을 알 수 있었다 (Fig. 2). 그 이후로는 -400~-500 mV를 유지하며 대체로 안정적인 환원 조건이 되었다.

Fig. 1. Iron concentration in 5% CMS solution after 4 weeks of extraction.

Fig. 2. Redox potential (Eh value) changes in 5% CMS solutions containing iron nails at 25°C during iron extraction.

방울토마토 생육 변화 Control 처리구를 제외한 처리구간 초장의 차이는 없었는데 (Table 3), 이는 초장이 너무 크면 유인 및 수확 작업에 어려움이 있어 단수를 제한했기 때문이다. 경경은 CMS-Fe를 관주한 CMS-Fe 100, 200 처리구에서 각각 13.3, 13.4 mm로 높았으나 NPK 처리구 등 다른 처리구와 통계적 유의차는 보이지 않았다. SPAD 값은 CMS-Fe를 관주한 CMS-Fe 100, 200, 400 처리구에서 각각 39.1, 39.2, 39.6으로 NPK 처리구의 32.3에 비해 유의성 있게 증가하였다. 철은 단백질과 효소의 구성 성분으로 식물체의 광합성과 엽록체 합성과 같은 과정에서 중요한 역할을 한다 (Kim and Rees, 1992). Rawashdeh and Sala (2014)는 철의 처리가 밀 잎의 엽록소 함량을 약 15% 증가시켰다고 보고하였고 Hwang et al. (2017)은 토양에 철 킬레이트제 처리가 상추의 엽록소 함량을 증가시켰다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 철 강화CMS를 토양 관주 처리한 CMS-Fe 100, CMS-Fe 200, CMS-Fe 400 처리구에서 NPK 처리구에 비해 유의성 있게 높은 SPAD 값을 보여주었다. 철 강화 CMS 처리구에서 방울토마토의 경경 및 SPAD값 증대 효과는 CMS-Fe 처리와 함께 질소와 칼리 등 추가적인 양분 투입에 의한 효과로 볼 수 있다 (Table 4). 비록 통계적 유의성은 나타나지 않았지만 철의 투입이 거의 없는 CMS-Fe 0 처리구에 비해 모든 철 강화CMS 처리구에서 경경과 SPAD 값이 증가하는 결과를 볼 때, 본 연구에서도 철 추출액 처리가 방울토마토 잎의 엽록소 합성을 증대시켜 방울토마토의 생육을 촉진시킨 것으로 보인다.

Table 3. Growth characteristics of cherry tomato plants under different treatments.

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD value
Control	165.8 b [†]	10.4 b	32.6 b
NPK	231.4 a	12.6 a	32.3 b
DTPA-Fe 200	226.9 a	12.2 ab	36.5 ab
CMS-Fe 0	213.5 a	11.4 ab	35.6 ab
CMS-Fe 100	218.3 a	13.3 a	39.1 a
CMS-Fe 200	239.5 a	13.4 a	39.2 a
CMS-Fe 400	236.9 a	12.8 a	39.6 a

[†]Values in a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 4. Nutrient inputs of different treatments during cherry tomato cultivation.

Treatment	Nutrient input (kg ha ⁻¹)						
	T-N [†]	T-P [†]	K	Ca	Mg	Na	Fe
Control	0	0	0	0	0	0	0
NPK	226.0	106	119.0	0	0	0	0
DTPA-Fe 200	230.7	106	119.0	0	0	2.557	6.250
CMS-Fe 0	294.8	106	119.4	0.056	0	0.347	0.008
CMS-Fe 100	294.8	106	119.4	0.056	0	0.347	3.125
CMS-Fe 200	294.8	106	119.4	0.056	0	0.347	6.250
CMS-Fe 400	294.8	106	119.4	0.056	0	0.347	12.500

[†]T-N, T-P means total nitrogen and total phosphate, respectively.

방울토마토 잎의 양분 흡수 방울토마토 잎의 질소, 인, 칼리와 철 함량을 분석한 결과, 철 강화CMS의 처리는 NPK만 처리했을 때보다 잎의 질소 함량을 21 - 33% 증대시켰으나 처리구간 통계적 유의성은 없었다. CMS와 질소 비료를 함께 처리한 경우 질소비료만 처리했을 때보다 질소 시비량이 약 30% 증가하였다. 이로 인해 질소 흡수가 증가하여 잎의 질소 함량이 증대된 것으로 보인다. 인 함량 역시 7 - 17% 증대되었으나 처리구간 유의적인 차이가 없었다 (Table 5). CMS 처리구와 NPK 처리구 간의 잎의 질소와 인의 함량이 각각 33과 17%의 차이가 있음에도 불구하고 성분 함량의 편차가 커서 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 칼륨의 함량은 CMS-Fe 400 처리구에서 31.6 g kg^{-1} 으로 가장 높았으며 NPK 처리구의 20.7 g kg^{-1} 에 비해 유의적으로 증가하였다. 철 강화CMS의 처리는 NPK만 처리했을 때 보다 잎의 철 함량을 13 - 32% 증대시켰다. CMS-Fe 400 처리구가 432 mg kg^{-1} 로 가장 높았고, 대체로 처리한 철 농도가 높을수록 잎의 철 함량도 증가하는 경향이였다. 철은 엽록소 내 porphyrin의 구성요소이자, 식물의 광합성과 호흡에서 산화환원 반응에 관여하는 주요한 식물 단백질인 cytochrome, ferrichrome, hemes, leghemoglobin, hematin 등의 주요 구성요소이다 (Mengel and Kirkby, 1987; Marschner, 1995). 따라서 본 연구에서 잎의 철 함량 증가는 엽록소 증가에도 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 잎의 철 함량 증가는 광합성이나 호흡에 관여하는 효소계에 관여하기 때문에 잎의 양분함량에도 영향을 줄 수 있다. 작물에 대한 철의 처리는 작물의 철 흡수 증가와 함께 질소, 칼륨 등의 양분 흡수도 증가한다는 보고가 있다 (Singh et al., 2004; Chandel et al., 2013; Gomaa et al., 2015). 특히 CMS-Fe를 처리는 DTPA-Fe 또는 CMS만의 처리보다 잎의 질소 함량이 증가시켰다. CMS를 통한 추가적인 질소 공급과 철의 공급이 시너지 효과를 내어 질소 흡수를 증대시키고 잎의 질소 함량을 증대시킨 것으로 보인다. 하지만 철의 처리 농도 증가와 함께 잎의 질소 함량의 증가 경향은 보였으나 잎의 철 함량과 질소 함량 간의 유의적인 상관성은 보이지 않았다.

Table 5. Macro nutrient and iron content in cherry tomato leaves under different treatments.

Treatment	N (g kg^{-1})	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})
Control	23.9 a [†]	3.69 a	20.5 b	299 c
NPK	25.5 a	3.82 a	20.7 b	328 bc
DTPA-Fe 200	25.9 a	4.33 a	25.6 ab	378 abc
CMS-Fe 0	29.5 a	4.29 a	26.9 ab	332 abc
CMS-Fe 100	30.9 a	4.07 a	27.0 ab	371 abc
CMS-Fe 200	33.1 a	4.28 a	26.4 ab	402 ab
CMS-Fe 400	34.0 a	4.46 a	31.6 a	432 a

[†] Values in a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

방울토마토 수량 및 과실 특성 CMS만의 처리로도 NPK 처리구 대비 방울토마토의 과실 수량이 약 29% 증가하였으며 (Table 6), 이는 CMS를 관비로 사용했을 때 고추의 양분 이용 효율을 높여 수량을 증가시킨 결과와 유사하였다 (Yi et al., 2020). 방울토마토 과실의 수량은 철 강화CMS를 처리하였을 때 증가하였다. CMS 철 400 ppm을 토양 관주 처리하였을 때 과실 중량은 주당 618.9 g 으로 NPK 처리구에 비해 약 85% 컸으며, 식물체의 줄기와 잎의 중량 또한 다른 처리구에 비해 유의성 있게 증가하였다. CMS-Fe 100, CMS-Fe 200 처리구 또한 NPK 처리구에 비해 77 - 81% 유의성 있게 높은 수량을 보여주어 철 강화CMS의 토양 관주 처리가 약알칼리성 토양의 시설재배지에서 관행 재배에 비해 수량 증대에 효과가 있는 것으로 판단되었다. 뿌리의 중량은 CMS-Fe 100 처리구에서 개체당 20.3 g 으로 NPK 처리구에 비해 유의성 있게 증가하였으며, 이는 철 흡수 증가와 함께 광합성 양이 증가하면서 뿌리의 생장 또한

증가한 것으로 보인다. 이와 유사하게 철의 시비가 밀의 뿌리 생장을 증가시켰다고 보고된 바 있다 (El-Fouly et al., 2011; Rawashdeh and Sala, 2013).

Table 6. Fresh weight (g plant⁻¹) of cherry tomato plants under different treatments.

Treatment	Total	Organ			
		Fruit	Leaf	Stem	Root
Control	399.0 d [†]	250.9 b	29.9 b	113.0 b	5.2 c
NPK	615.1 c	334.9 b	58.4 ab	213.0 ab	8.8 bc
DTPA-Fe 200	658.8 bc	404.4 b	50.7 ab	189.3 ab	14.4 ab
CMS-Fe 0	728.7 b	431.8 ab	61.7 ab	226.7 ab	20.3 a
CMS-Fe 100	992.4 a	606.1 a	83.0 a	283.0 a	8.5 bc
CMS-Fe 200	960.9 a	594.5 a	79.5 a	274.3 a	12.6 b
CMS-Fe 400	1,019.2 a	618.9 a	79.0 a	308.7 a	12.6 b

[†] Values in a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

철 강화CMS를 토양 관주 처리하였을 때 CMS만 토양 관주 처리한 CMS-Fe 0 처리구에 비해서 수량이 37 - 43% 유의미하게 증가하였다. 이는 철 강화CMS를 처리하였을 때 방울토마토의 수량 증가가 CMS만의 효과가 아닌 철 공급에 의한 효과가 있음을 의미한다. 밭 토양에서 대부분의 철은 3가 형태로 존재하며 수산화물로 구성되어 용해도가 극히 낮다 (Zuo and Zhang, 2011; Samaranayake et al., 2012). 본 연구에 사용된 철 강화CMS는 식물이 주로 흡수하는 형태인 2가 철 이온을 혐기적 조건에서 추출한 용액으로, 작물의 흡수에 용이하여 수량 증대에 영향을 준 것으로 판단된다. Hwang et al. (2017)은 토양에 2가 철 킬레이트 물질 처리로 상추 잎의 엽록소 증가와 함께 수량이 1.3배 증가하였다고 보고한 바 있다.

철 강화CMS 토양 관주 처리는 DTPA-Fe 킬레이트 용액을 토양 관주 처리한 DTPA-Fe 200 처리구에 비해 수량이 47 - 53% 높았는데 이는 CMS 성분 중에 함유된 질소와 칼리 등 성분의 영향으로 판단된다 (Table 6). 따라서 철 강화CMS가 DTPA 철 킬레이트제보다 토양 관주 처리했을 때 수량 증대에 더 효과적인 것으로 판단되었다.

당도와 산도는 방울토마토의 과실 품질을 결정하는 중요한 인자이다. 방울토마토 과실의 당도와 산도를 측정한 결과 당도는 5.30 - 5.97°Brix 사이의 값을 보였으며, 산도는 0.39 - 0.47% 사이의 값을 보였다 (Table 7). 당도와 산도는

Table 7. Comparison of sugar and acid contents in fresh cherry tomato fruits under different treatments.

Treatment	Sugar content (°Bx)	Acid content (%)
Control	5.73 a [†]	0.39 a
NPK	5.87 a	0.47 a
DTPA-Fe 200	5.70 a	0.42 a
CMS-Fe 0	5.30 a	0.43 a
CMS-Fe 100	5.83 a	0.44 a
CMS-Fe 200	5.97 a	0.45 a
CMS-Fe 400	5.67 a	0.42 a

[†] Values in a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

전반적으로 통계적 유의성 없이 비슷한 경향을 보인 것으로 보아 철 강화 CMS의 방울토마토 당도와 산도에 미치는 영향은 미미한 것으로 보인다.

Conclusions

중중 철 흡수 저하로 인해 작물에 나타나는 황백화 증상을 예방 및 완화하기 위해 DTPA나 EDTA 등을 활용한 철 킬레이트제 사용이 일반적이거나, 이는 사용자의 경제적 부담을 증가시킬 수 있다. 이에 대한 개선 대책으로 현장에서 저렴하고 쉽게 이용이 가능한 철 강화 CMS를 조제하여 방울토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향을 평가하였다. CMS는 양분을 다소 함유하고 있어 자체 처리만으로도 방울토마토의 수량이 증가하였다. 철 강화 CMS 처리는 방울 토마토의 경경과 잎의 철 함량을 증가시키고 엽록소 농도의 간접 측정치인 SPAD 값 또한 증가시켰으며, 이러한 결과 들의 영향으로 과실 수량을 CMS 자체 처리에 비해 유의성 있게 증대시켰다. 이를 통해 철 강화 CMS는 현장에서 저 렵하고 쉽게 조제 및 사용이 가능하며, 토양 관주를 통해 작물의 생육 및 생산량 증대에 효과가 있는 유용한 제제인 것 으로 판단되었다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청에서 지원하는 원예특작시험연구 “채소작물 병해충 및 토양의 친환경 관리를 위한 광물자원 과 수산 부산물 활용 기술 개발 (과제번호: PJ014318)”의 일환으로 수행되었음.

References

- Abd El Halim Mahmoud, S., H.S. Siam, A.S. Taalab, and S.M. El-Ashry. 2019. Significant use of vinasse as a partial replacement with chemical fertilizers sources for spinach and barley production and their effect on growth and nutrients composition of plant. *Plant Arch.* 19:1593-1600.
- Briat, J.F., C. Curie, and F. Gaymard. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 10:276-282.
- Chandel, B.S., D.H.A.R.M.E.S.H. Verma, and A.K. Upadhyay. 2013. Integrated effect of iron and FYM on yield and uptake of nutrients in wheat. *Ann. Plant Soil Res.* 15(1):39-42.
- Choi, C.W. 1997. Development of absorbent-microbe mixture for desalination of green house soils. p. 1-105. MOA, Gwacheon, Korea.
- Christofolletti, C.A., J.P. Escher, J.E. Correia, J.F.U. Marinho, and C.S. Fontanetti. 2013. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Manage.* 33(12):2752-2761.
- El-Fouly, M.M., Z.M. Mobarak, and Z.A. Salama. 2011. Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for incresing salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Plant Sci.* 5(5):314-322.
- Gomaa, M.A., F.I. Radwan, E.E. Kandil, and M.A. El-Zweek. 2015. Effect of some macro and micronutrients appli-cation methods on productivity and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Middle East J. Agric. Res.* 4(1):1-11.
- Guerinot, M.L. and Y. Yi. 1994. Iron: Nutritious, noxious, and not readily available. *Plant Physiol.* 104:815.
- Hänsch, R. and R.R. Mendel. 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Curr. Opin. Plant Biol.* 12:259-266.
- Hwang, J.Y., S.E. Jun, N.J. Park, J.S. Oh, Y.J. Lee, E.J. Sohn, and G.T. Kim. 2017. Growth-promoting effect of new

- iron-chelating fertilizer on lettuce. *J. Life Sci.* 27(4):390-397.
- Jiang, Z.P., Y.R. Li, G.P. Wei, Q. Liao, T.M. Su, Y.C. Meng, H.Y. Zhang, and C.Y. Lu. 2012. Effect of long-term vinasse application on physico-chemical properties of sugarcane field soils. *Sugar Tech* 14:412-417.
- Kang, G.H., I.W. Choi, K.D. Park, Y.B. Lee, D.J. Lee, B.K. Sohn, H.S. Ha, and J.S. Cho. 2003. Effects of CMS on rice growth and chemical properties of paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:72-79.
- Kim, J. and D.C. Rees. 1992. Structural models for the metal centers in the nitrogenous molybdenum-iron protein. *Science* 257:1677-1682.
- Kwak, H.K., K.S. Seong, N.J. Lee, S.B. Lee, M.S. Han, and K.A. Roh. 2003. Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:304-310.
- Lee, S.M., W.J. Choi, S.I. Yun, Y.D. Choi, H.M. Ro, and J.W. Park. 2002. Evaluation of fate of NH_4^+ of condensed molasses solubles (CMS) in soil using by ^{15}N -tracer method. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(2):69-76.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2011. Major statistics of agriculture, forestry, live stock and food 2020. MAFRA, Sejong, Korea.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2020. Major statistics of agriculture, forestry, live stock and food 2020. MAFRA, Sejong, Korea.
- Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients: Micronutrients: Iron. p. 313-323. In H. Marschner (ed.) *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, UK.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. Principles of plant nutrition. p. 687. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Muhaemin, M. 2005. Chelating ability of crab shell particles and extracted acetamido groups (chitin and chitosan) from *Portunus sp* to lead (Pb^{2+}). *J. Coastal Dev.* 9:1-7.
- Pradhan, S., S.S. Shukla, and K.L. Dorris. 2005. Removal of nickel from aqueous solutions using crab shells. *J. Hazard. Mater.* 125:201-204.
- Rawashdeh, H.M. and F. Sala. 2013. The effect of foliar application of iron and boron on early growth parameters of wheat (*Triticum aestivum* L). *Res. J. Agric. Sci.* 45(1):21-26.
- Rawashdeh, H.M. and F. Sala. 2014. Influence of iron foliar fertilization on some growth and physiological parameters of wheat at two growth stages. *Sci. Pap. Ser. A. Agron.* 57:306-309.
- RDA (Rural Development Administration). 2000. Methods of soil and plant analysis. Sammi Press, Suwon, Korea.
- Rout, G.R. and S. Sahoo. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Rev. Agric. Sci.* 3:1-24.
- Samaranayake, P., B.D. Peiris, and S. Dissanayake. 2012. Effect of excessive ferrous (Fe^{2+}) on growth and iron content in rice (*Oryza sativa*). *Int. J. Agri. Biol.* 14:296-298.
- Singh, M., S.R. Chaudhary, S.R. Sharma, and M.S. Rathore. 2004. Effect of some micronutrients on content and uptake by chickpea (*Cicer arietinum*). *Agric. Sci. Digest* 24(4):268-270.
- Yi, P.H., D.H. Jung, S. Gopal, S.E. Lee, S.G. Han, and I.B. Lee. 2020. Analysis of soil nutrient balance and enzymatic activity and growth characteristics of red pepper under protected cultivation using organic liquid fertilizer based on condensed molasses soluble. *Korean J. Hortic. Sci. Technol.* 38(5):730-741.
- Zuo, Y. and F. Zhang. 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant Soil* 339:83-95.