

토착미생물과 EM 활용 액비 처리가 방울토마토의 토양 화학성과 미생물상 및 생장에 미치는 영향

최현석^a, 정지식^b, 국용인^c, 최인영^d, 정석규^{e†}

Effect of Fertigation with Indigenous Microorganism and EM on Soil Chemical and Microbial Properties and Growth of Cherry Tomatoes

Hyun-Sug Choi^a, Ji-Sik Jung^b, Yong-In Kuk^c, In-Young Choi^d, Seok-Kyu Jung^{e†}

(Received: Sep. 8, 2019 / Revised: Nov. 18, 2019 / Accepted: Nov. 18, 2019)

ABSTRACT: The study was compared for soil chemical and microbial properties as well as growth of the cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) plants environmentally friendly grown for 3 years and 5 years, which had been fertigated with homemade liquid fertilizer (LF) with indigenous microorganism as an additional fertilizer. Treatment included LF with indigenous microorganism for 3 years (3-year IM-LF) and for 5 years (5-year IM-LF), with an effective microorganism for 10 years (EM-LF), which had been applied with 1,000 times of dilution in the farmhouse. IM-LF and EM-LF materials had increased pH pattern for 16 weeks, in particular for increase of 1.2 for EM-LF. IM-LF material contained slightly higher EC but similar level of 0.2 dS/m to EM-LF. For a pot experiment in the greenhouse, IM-LF treatment increased root dry weight of the cherry tomato plants. In the farmhouse experiment, IM-LF treatment increased to 7.5 of soil pH and 8.4 dS/m of EC, indicating high salt accumulation. EM-LF treatment increased to 62 g/kg of soil OM, which would have affected concentrations of macro essential nutrients, including T-N in the soil. However, the optimum soil chemical levels for growth of cherry tomato plants were observed on the IM-LF plots. EM-LF treatment increased number of bacteria and actinobacteria in the soil. EM-LF treatment increased concentrations of macro essential nutrients in the plants, except for P, with similar nutrient concentrations observed between 3-year IM-LF and 5-year IM-LF-treated plants. Leaf SPAD and PS II levels decreased in the plants treated with 3-year IM-LF. EM-LF treatment increased leaf width and length, number of leaves, canopy area, plant height, and stem diameter in the mid-term stage of growth, which were not significantly different between the treatments. EM-LF treated-plants had two times higher leaf dry weight than those of values observed on the IM-LF plants, which was the opposite result observed on the number of fruit.

Keywords: EM, Microbial activity, Mineral nutrient, Organic, Photosynthesis

초 록: 본 실험은 방울토마토(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) 농가에서 자가제조한 토착미생물 액비를 3년 및 5년간 연용 처리하였을 때 토양 화학성 및 미생물상과 작물의 생장에 어떠한 영향을 미치는지를 비교하고자

^a 대구가톨릭대학교 원예학과 교수(Professor, Department of Horticulture, Daegu Catholic University)

^b 대구가톨릭대학교 원예학과 박사과정(Ph.D Student, Department of Horticulture, Daegu Catholic University)

^c 순천대학교 한약자원개발학과 교수(Professor, Department of Oriental Medicine Resources, Suncheon National University)

^d 전북대학교 농생물학과 교수(Profseeor, Department of Agricultural Biology, Jeonbuk National University)

^e 대구가톨릭대학교 원예학과 연구원(Researcher, Department of Horticulture, Daegu Catholic University)

† Corresponding author(e-mail: gentleman71@msn.com)

수행하였다. 실험구는 3-year IM(토착미생물 3년 노지 처리구), 5-year IM(토착미생물 5년 노지 처리구), EM(effective microorganisms; EM 10년 온실 처리구)으로 분류하였고, 모두 1,000배로 희석하여 웃거름으로 관주하였다. IM과 EM 액비 자재의 pH 수준은 16주간 증가하였고 특히 EM의 pH는 1.2정도 상승하였다. IM 자재의 EC는 약간 높았지만 EM과 비슷한 수준인 0.2 dS/m으로 나타났다. 온실 내 포트 실험에서는 IM으로 처리된 토마토 뿌리의 건물중이 크게 증가하였다. 액비 처리에 따른 농가 현장 실험에서는 IM 액비 처리구의 pH는 7.5로 높았고 EC도 8.4 dS/m로 염류 과잉 수준을 보였다. EM 처리구의 유기물함량은 62 g/kg으로 가장 높았고 전질소 등 필수 무기성분 농도를 증가시키는데 영향을 끼쳤다. 하지만 IM 처리구에서도 토마토 성장을 위한 적절한 토양 화학성 수준이 관찰되었다. EM 처리구에서 세균수와 방선균수가 가장 증가하였다. EM으로 처리된 작물의 대량 무기성분 농도는 인산을 제외하고는 높게 나타났고 3-year IM과 5-year IM 처리구에서는 비슷한 무기성분 농도가 관찰되었다. 잎의 SPAD와 PSII 수준은 3-year IM 처리에서 낮게 나타났다. 토마토 작물의 엽폭, 엽장, 엽수, 수관면적, 초장, 경경은 생육 중기에는 EM 처리구에서 높은 수준이었으나 생육 후기에는 처리구 간에 비슷하였다. EM 처리로 잎 건물중은 IM 처리보다 2배 이상 높았지만 수확과수는 2배 이상 감소되었다.

주제어: EM, 미생물, 무기성분, 유기, 광합성

1. 서론

토마토(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)는 1600년대 이후부터 우리나라에서 재배되고 있는 대표적인 1년생 작물로 시설재배의 도입 이후에는 가격 변동의 큰 폭 없이 4계절 내내 이용되는 과채류이다.¹⁾ 1980년대 우리나라의 농산물 트렌드가 고급화를 지향되면서 토마토의 수요가 감소하였지만 1990년대 방울토마토 재배가 시작되고 건강식품으로 각광받으면서 2000년 중반 까지 재배면적이 꾸준히 증가하였다.¹⁾ 하지만 방울토마토를 시설재배지가 아닌 노지에서 재배하였을 때 이상기후로 인한 비료이용효율이 감소하여 생산량 증감 폭의 변동이 크므로 안정적인 수익 구조를 위한 양분관리 기술이 요구되고 있다. 또한 고품질 안전농산물의 트렌드가 부상하면서 농가의 수익극대화를 위하여 친환경적인 영양 및 토양관리를 위한 기술개발이 필요하다.

방울토마토는 일반적으로 5월~10월 사이에 재배되는 생육기간이 긴 작물이기 때문에 생육에 부족함이 없도록 밑거름과 웃거름에 필요한 유기질 비료와 부산물 비료가 이용되고 있다.¹⁾ 토마토와 같은 천근성 원예작물은 토양에 잔류하는 염류에 비교적 민감하게 반응하는데, 속효성 유기질 비료의 다비재배는 뿌리가 갈변하고 물과 무기물의 흡수를 저하

시키는 주요한 요인이 되고 있다.²⁾ 따라서 유기질 비료 보다는 웃거름으로 부산물 비료를 투입하여 토양 내 유기물을 장기간 보존하고 토양 물리성 및 미생물상을 향상시키기 위한 천연자재로 활용하는 것이 토양 안정성 측면에서 중요하다.^{2,3)} 특히 지역에서 발생하는 부산물을 퇴비화 하여 농작물 재배를 위한 비료로 자원을 재순환 하는 것이 친환경농업의 궁극적인 방향이라고 할 수 있다.³⁾ 하지만 작물의 생육 중기인 여름철에 장마와 태풍 등의 폭우에 의한 비료의 유실 및 용탈로 비료의 흡수율이 저해되므로 양분이용효율을 향상시키기 위한 유기자재의 종류 및 투입방법에 대한 연구가 필요하다.

유기 부산물들을 고형으로 투입시 기상환경 및 토양특성 등에 따라 무기화율이 달라지기 때문에 액화된 형태로 관주하면 분해율이 일정하게 유지되어 안정적인 영양공급이 가능하므로 농가에서 관주 투입 방식이 증가하고 있다.^{4,5,6)} 부산물 중에서 어분이 채소류의 생산성을 증가시키는데 가장 효과적인 자재라고 보고하였으며 어분이나 혈분 등을 액비로 투입 하였을 때 4~8주 사이에 약 60~80%의 무기화가 이루어진다고 하였다. 우리나라는 국토의 60% 이상이 산으로 둘러싸여 있는 환경 하에 있기 때문에 각 지역의 부업토에서 자생하는 토착미생물을 퇴비화 하여 농장에 투입하는 것이 쉽게 제조할 수 있는 유기자재이다. 이러한 토착미생물을 액비화 하

여 관주 하는 방법도 토양 내 유기물 보존과 이산화탄소를 절감시킬 수 있을 것으로 사료되지만 토마토 재배지의 토양과 작물에 과학적으로 검증된 사례는 극히 미미하다.

현재 농가에서 자가제조 하고 있는 토착 미생물 액비는 종류 및 특성이 가지각색이며 이러한 액비를 관주 처리하였을 때 연용 년수에 따라 작물생장과 토양반응 등과 관련한 자가제조 액비의 안전성이 구명되어야 할 것으로 판단된다. 본 실험은 토착 미생물을 원료로 하여 방울토마토 재배 농가에서 자가제조한 액비를 장기간 연용 하였을 때 토양의 화학성과 미생물상의 변화를 알아보고 EM(effective microorganisms; 유용미생물) 재배구를 대조구로 하여 액비 처리에 대한 성장 효과를 비교하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 포트실험

육묘한 방울토마토에 토착미생물(IM+EM)과 EM을 액비로 처리하였을 때 성장반응을 알아보기 위하여 온도가 20~30°C로 일정하게 유지된 대학교 유리온실에서 2019년에 수행하였다. ‘슈가레드’ 토마토 종자((주)아시아종묘, 서울, 한국)를 부엽토와 모래가 1:2로 배합한 플라스틱 포트(길이 55 cm × 폭 12 cm × 높이 19 cm)에 처리 당 5개씩 파종하여 60일간 육묘하였다. 액비는 농가에서 관행적으로 처리되는 1,000배액으로 희석하여 주간 2회씩 총 32 L를 포트에 분주하여 관비하였다.

성장 조사를 위하여 뿌리를 포함한 작물을 배지에서 수확하여 줄기와 뿌리의 초장을 측정 후 수확 과수를 확인하여 기록 하였다. 수확한 방울토마토 작물을 60~65°C로 유지된 건조기에 3일간 완전 건조시킨 후에 전기식 지식저울(SW-10W, 카스, 서울, 한국)로 건물중을 측정하였다.

2.2. 재배실험

재배구는 3-year IM(토착미생물 3년 노지 처리구),

5-year IM(토착미생물 5년 노지 처리구), 그리고 EM(EM 10년 온실 처리구)구로 분류하여 조사하였다. 자가제조 액비와 관련된 협력 실험으로 오이와 고추를 대상으로 수행하였으며⁷⁾ 비슷한 분석방법을 본 실험에 적용하였다.

2.2.1. 재배실험구의 특성

토착미생물을 발효한 액비를 방울토마토 노지에 3년 및 5년간 투입하고 있는 경상북도 김천시의 독농가를 선정하여 토양 특성과 작물의 생육환경을 조사하였다. 토성은 사양토로 모래와 미사 및 점토가 각각 63%, 25%, 12%로 배수가 양호하였다. 농촌진흥청에서 고시한 토마토 표준시비량⁸⁾에 근거하여 질소와 인산, 칼륨 및 칼슘을 ha당 각각 226, 106, 119, 2,000 kg이 함유된 복합비료를 투입하였고 잡초방제를 위하여 부분경운 하였다. 웃거름으로 토착미생물 액비를 살포하기 위하여 농가 주위 야산의 부엽토를 채취하여 고두밥을 혼합하였고 흑설탕과 1:1로 잘 섞어서 상온에서 안정화 시켰다. 액비통에 쌀겨(수분함량 60%), 한방영양제, 현미식초, 인산칼슘, 돌가루 미네랄 등을 잘 퇴적하여 발효열이 빠져나가지 않도록 입구를 밀봉한 후 월 2~3회 잘 저어 주면서 3개월 발효시켰다. 퇴적물을 발효과 잘 섞어서 다시 퇴적하여 주었고 현미식초, 썩, 효소, 인산칼슘과 미네랄을 첨가한 후 물로 약 1,000배 희석하여 살포하였다.

방울토마토 ‘미니찰’을 10년 이상 온실 내에서 EM 자가제조 액비를 투입하여온 전라남도 순천시의 유기농인증 독농가를 대조구로 설정하였다. 토성은 모래와 미사 및 점토가 각각 43%, 42%, 15%로 구성된 양토로 배수가 양호하였다. 밑거름으로 사탕무, 사탕수수, 휴믹산 등을 제조하여 숙성 후 분리과정을 거쳐서 효모 추출물이 생성된 유기질 비료를 표준시비량에 의거⁹⁾하여 겨울에 사용하였고 무경운 농법으로 경작하였다. 웃거름으로 사용된 EM균((주) 고원, 서귀포시, 한국)의 주원료는 *Lactobacillus casei*과 *Bacillus subtilis* 균주를 배양하여 만든 것을 액비 자가제조에 이용하였다. 액비통에 EM 균을 넣어서 총 자가제조 액비 대비 3% 수준으로 맞추었고, 당밀 48%, 흑설탕 49%의 비율로 혼합하여 600 L 물

에 용해시켜서 입구를 밀봉한 후 월 2~3회 저어주면서 2년 이상 배양하였다. 완성된 액비를 물로 1,000배 희석하여 토양에 관주하여 웃거름으로 사용하였다.

2.2.2. 액비성분 및 토양특성 분석

자가제조 액비의 무기성분 분석을 위하여 농촌진흥청의 토양 및 식물체분석법⁸⁾에 준하여 분석하였다. IM과 EM 액비를 100 mL 플라스틱 시험관 튜브에 주입하여 16주 동안 pH 미터기(FIVEEAST FE20, METTLER TONEDO Co., Jingsu, China)와 EC 측정기(HI 2315 Conductivity Meter, HANNA Co., Seoul, Korea)로 pH와 EC를 매주 측정하였고 농가에서 보관한 것처럼 밀폐된 상태로 상온에 저장하였다. T-N(전질소)은 Kjeldahl법으로 분석하였고 유효 P₂O₅(유효인산)은 Lancaster법, 치환성 양이온인 K₂O(칼륨), CaO(칼슘), MgO(마그네슘), NaO(나트륨)은 1-N CH₃COONH₄(pH 7.0) 침출법으로 분석하였다. 분석 결과 두 액비 자체 내의 전질소 농도는 모두 0.01%이었고 인산과 칼륨은 0.01% 이하로 나타났다. 마그네슘은 IM과 EM 자체에서 각각 0.0008% 및 0.0005%이었고 나트륨 농도는 모두 0.001%로 나타났다.

재배지의 토양 화학성을 분석하기 위하여 방울토마토 주간으로부터 20~30 cm 떨어진 곳에서 0~20 cm 깊이의 토양을 채취하였다. 상온에서 풍건시킨 시료를 2-mm 체로 곱게 간 후 액비분석과 같이 농촌진흥청 토양 및 식물체분석법⁸⁾에 의거하여 pH, EC, 전질소, 유효인산, 그리고 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 농도를 분석하였다.

토양 미생물 분석을 위하여 0~20 cm 깊이의 토양을 오거로 채취한 후 아이스박스에 보관한 후 토양 희석평판법⁸⁾에 의거하여 세균과 방선균 및 사상균의 밀도를 조사하였다. 토양시료는 증류수로 희석하여 진탕기에서 10분간 진탕한 후 일반세균은 측정배지인 Yeast Glucose Agar, 사상균은 Rose Bengal Agar, 방선균은 Starch Casein Agar에 streptomycin 30 mL를 첨가하였다. 배양조건은 세균은 28±2°C에서 3~5일간 배양하였고, 사상균은 25°C에서 3~5일, 그리고 방선균은 28±2°C에서 7일간 배양하였다. 이후 콜로니수가 20~200개인 평판을 택하여 계수한 후 세균, 방선균, 사상균의 평균값을 g당 생균수(CFU, colony

forming unit; CFU/g, 건토)로 계산하였다.

2.2.3. 식물체 무기성분 및 성장 분석

식물체 무기성분 분석은 토양분석과 마찬가지로 농촌진흥청 표준분석법⁸⁾을 참조하여 분석하였다. 방울토마토 작물 전체를 열풍건조기에 60°C~70°C에서 3일간 건조한 후 분쇄기로 분쇄한 시료 0.5 g을 습식분해액(HClO₄:H₂SO₄ = 2:1)으로 분해한 후 여액을 가지고 분석하였다. 전질소는 Kjeldahl법으로 분석하였고, 인산은 Vandate법을 통하여 발색시킨 후 UV-Visible spectrophotometer(Genesys 5, Termo Scientific™, Madison, USA)로 분석하였다. 치환성 양이온은 1-N-Ammonium acetate(pH 7.0)로 침출한 후 ICP-AES(Simultaneous ICP Spectrometer, SPECTRO Analytical Instruments GmbH Co., Baden-Württemberg, Germany)로 분석하였다.

엽록소 및 작물의 성장 특성을 비교하기 위하여 생육중기(수확초기)와 후기(수확후기)로 구분하여 각각 조사하였다. 엽록소 측정을 위하여 작물의 선단부위로 부터 3~4번째의 전개 잎을 간지 엽록소 측정계(Chlorophyll meter, Minolta, Tokyo, Japan)로 SPAD값을 측정하였다. 엽록소 형광측정은 측정용 클립으로 15분간 암 처리 후 FluorPen FP-100(Photon System Inc., Drasov, Czech Republic)으로 광계II(fv/fm)의 반응을 비 파괴적으로 측정하였다.

작물의 엽폭과 엽장은 현장에서 자를 이용하여 조사하였고 잎 수는 모두 전수 조사하였다. 수관 너비는 작물의 가장 넓은 부위의 가로와 세로의 길이를 줄자로 조사하여 평균을 구한 값을 제시하였다. 초장은 지표면에서 선단부위까지 줄자로 조사하였고 직경은 표토 5 cm 높이 지점의 부위를 간지 디지털 버니어스 캘리퍼(보니테니, 아산, 한국)로 측정하였다. 수량은 수확과수를 모두 전수 조사하였고, 이후 잎을 모두 수확하여 열풍건조기에 60°C~70°C에서 건조 후에 건물중을 측정하였다.

2.2.4. 통계분석

재배구 당 3반복을 무작위로 선정하여 배치하였다. 실험결과를 통하여 도출해 낸 평균과 표준오차를 구하여 표와 그래프를 작성하였다. 이후 SAS 9.3 소

소프트웨어 프로그램(SAS Institute Inc., Chicago, USA)을 이용하여 분산분석에 이은 Duncan's New Multiple Range Test를 수행하여 처리구 평균 간의 유의성을 5% 수준에서 검정하였다. EM과 IM 액비 처리에 따른 생장분석은 t-test를 통하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 액비 분석 및 포트실험

농가에서 자가제조 한 토착미생물(IM) 액비와 EM(EM) 액비의 16주간 pH의 변화는 증가하는 경향이 관찰되었다(Fig. 1A). 분석에 이용된 액비는 농가에서 보관한 것처럼 상온에서 밀폐된 상태이었기 때문에 이산화탄소의 유입이 희박하여 pH가 상승한 것으로 판단된다. 특히 EM의 pH는 16주 동안 1.2 정도 상승하여 생육 중반기 이후에 액비 시용에 따른 재배지의 pH 상승에 유의하여야 할 것으로 판단된다. IM과 EM 액비의 16주 동안 EC 변화는 IM 액비에서 다소 높았지만 대체적으로 0.2 dS/m 수준으로 유지되었다(Fig. 1B).

유리온실 내에서 포트에 육묘한 방울토마토에 IM과 EM 액비를 처리하여 성장반응을 본 결과, IM 처리에서 뿌리의 건물중이 크게 증가하였다(Table 1). 줄기와 뿌리 길이, 줄기 건물중, 줄기/뿌리 비율, 그리고 과실수는 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았지만 IM 처리에서 비교적 높은 경향을 보였다. 이는 IM 액비에 함유된 마그네슘을 포함한 염류의 농도가 상대적으로 높아서 작물의 성장을 촉진시키는데 일부 기여하였을 것으로 판단된다.

3.2. 토착미생물 연용에 따른 토양 화학성 및 미생물상

액비 처리에 따른 토양 pH는 IM 액비 처리구에서 7.5 이었고, EM구에서는 6.9로 나타나서 연용으로 관주하였더라도 액비의 pH 수준에 따른 토양 pH에 미치는 직접적인 영향은 미미하였던 것으로 판단된다(Table 2). EM 액비 처리구는 8.4 dS/m의 염류 과

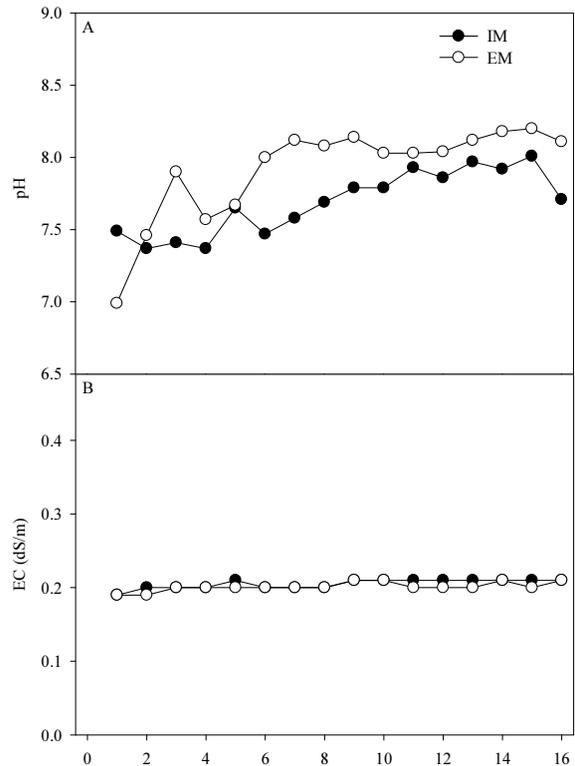


Fig. 1. Weekly pH and EC in liquid fertilizers derived from homemade natural sources. 3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

Table 1. Growth Characteristics of Cherry Tomatoes Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Homemade Natural Sources in a Greenhouse

| Treatment | Shoot length (cm) | Root length (cm) | Shoot (S) DW (g) | Root (R) DW (g) | S:R ratio | No. fruit |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------|
| IM | 140.5±3.3 | 27.0±1.7 | 198.0±66.0 | 9.4±1.4 | 20.2±4.5 | 2.0±1.7 |
| EM | 133.5±1.3 | 24.5±1.3 | 103.3±6.1 | 5.6±0.5 | 19.2±2.3 | 0.0±0.0 |
| P value | ns | ns | ns | * | ns | ns |

* Significantly different mean values within each column separated by Duncan's new multiple range test, $P \leq 0.05$. ns; not significantly different. IM: indigenous microorganism; EM: effective microorganism.

양을 보였는데,⁹⁾ 이는 강우를 막는 시설재배지이기 때문에 물이나 무기성분이 용탈되지 않고 토양에 그대로 잔류하여 염류가 집적되었을 것으로 판단된다. 따라서 비료량을 추천사용량에 의거하여 적정량을 시비하고 휴경기에 녹비작물 재배를 통하여 염류집적을 경감시켜야 할 것으로 판단된다.

토양 유기물함량은 EM 액비를 10년 이상 연용한 재배지에서 62 g/kg으로 가장 높았다(Table 2). IM 3년 연용구와 5년 연용구는 통계적으로 유의성 있는 차이는 없었지만 IM 3년 연용구에서 다소 낮은 수준이 관찰되었다(Table 2). IM 액비 처리구는 염류 수준이 기준 농도 보다 낮았지만 유기물 함량은 적정 수준인 20~30 g/kg에 포함되어 이상적인 토양 화학성 조성에 기여하였을 것으로 판단된다.⁹⁾ EM 액비 처리에 따른 토양 중 유기물 함량의 상승은 전질소 등 필수 무기성분 농도를 증가시키는데 영향을 끼쳤을 것으로 사료되며 인산과 치환성 양이온 등은 적정 수준을 훨씬 상회하여서 온실 조건 하에서 염류 집적이 더욱 가속화 된 것으로 판단된

다.⁹⁾ IM 3년과 5년 연용 처리구 간에 토양 내 무기성분 농도는 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다.

표토 내·외부에 존재하는 동·식물 잔사는 미생물의 군집 및 활성을 증가시켜서 생물종의 다양성이 확대되고 토양구조 개선과 무기화가 원활하게 이루어지는 등 토양의 물리화학성 및 미생물상이 향상된다고 하였다^{2,6,10)} 본 실험에서도 10년 이상 EM 액비를 연용한 재배구에서 세균수가 가장 많았으며 세균수/곰팡이 수 비율이 가장 높아서 토양 미생물상이 가장 안정적인 구조를 보인 것으로 판단된다(Table 3).^{11,12)} 토양의 유해한 난분해성 미생물, 즉 리그닌을 잘 분해하는 것으로 알려진 토양 방선균은 유기액비 사용으로 증가하였다고 보고하였는데,^{11,12)} EM 처리구에서 방선균수는 증가하였고 IM 3년 연용 액비처리구에서 가장 적은 개체수가 관찰되었다.

Table 2. Soil Mineral Nutrition as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Homemade Natural Sources in Cherry Tomato Fields

| Treatment | pH (1:1) | EC (dS/m) | OM (g/kg) | T-N (%) | P ₂ O ₅ (mg/kg) | ExCation (cmolc/kg) | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|---------------------|---------|-----------|-----------|
| | | | | | | K | Ca | Mg | Na |
| 3-year IM | 7.5±0.1 a | 0.3±0.0 b | 19±0 b | 0.2±0.0 b | 756±44 b | 0.4±0.1 b | 13±0 a | 1.7±0.2 b | 0.0±0.0 b |
| 5-year IM | 7.5±0.1 a | 0.4±0.0 b | 27±4 b | 0.2±0.0 b | 740±56 b | 0.4±0.1 b | 12±0 a | 1.5±0.0 b | 0.0±0.0 b |
| EM | 6.9±0.2 b | 8.4±0.8 a | 62±3 a | 0.4±0.0 a | 1163±121 a | 4.9±0.2 a | 14±1 a | 5.5±0.6 a | 1.1±0.1 a |
| Desired level | 6.0-7.0 | 0.5-1.5 | 20-30 | - | 400-500 | 0.7-0.8 | 5.0-6.0 | 1.5-2.0 | - |

3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

Desired levels were adapted from RDA.⁹⁾

Table 3. Soil Microbial Activity as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Homemade Natural Sources in Cherry Tomato Fields

| Treatment | Bacteria (10 ⁶ CFU g ⁻¹) | Fungi (10 ⁵ CFU g ⁻¹) | Actinobacteria (10 ⁴ CFU g ⁻¹) |
|-----------|---|--|---|
| 3-year IM | 30.1±1.8 ab | 27.4±1.2 b | 12.6±0.5 b |
| 5-year IM | 25.7±3.4 b | 42.1±3.1 a | 19.1±4.2 ab |
| EM | 37.5±3.2 a | 17.9±0.9 c | 26.1±0.8 a |

Means comparisons among treatments within a column by Duncan's new multiple range test; means followed by different letters are significantly different, 5% level.

3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

3.3. 토착미생물 연용에 따른 작물의 무기성분 및 생장

모든 재배구에서 방울토마토 생장을 위한 적정 질소농도(3.5% - 4.3%) 보다 낮은 수준을 보였는데,⁹⁾ 이는 양액을 투입한 시설재배지 기준이기 때문에 유기물을 투입한 재배지에는 다소 높게 측정된 수준으로 판단된다(Table 4). 토양 중 유기물 함량과 무기성분이 높게 분포하였던 EM 액비구의 토마토의 전질소와 칼륨 농도는 IM 처리 보다 높았지만 인산과 마그네슘은 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 이는 토양 중에 과다한 치환성 양이온, 특히 마그네슘과 결합하여 인산염으로 존재하여 인산과 마그네슘 흡수가 감소한 것으로 판단되지만 불용성 인산과 관련한 정밀한 토양분석이 필요하였다. 한편 EM으로 처리된 작물의 칼슘과 마그네슘, 그리고 나트륨 농도가 예상보다 높지 않았던 이유는 칼륨이 상대적으로 많이 흡수되어 양이온의 흡수가 저해된 것으로 양이온 길항작용이 적용된 것으로 판단된다.¹³⁾

방울토마토 작물 내 질소는 엽록소의 구성 성분으로 엽록소와 광합성 수준과 높은 상관관계를 보인다고 하였으며,¹⁴⁾ 본 실험에서도 질소농도가 높았던 EM으로 처리된 작물에서 SPAD 값도 높게 나타났다(Fig. 2A). IM 액비구에서는 SPAD 수준이 낮았지만(Fig. 2B), 토마토에 EM을 처리한 이전 연구¹⁰⁾에서 보고된 SPAD 값과 비슷하여 적정 수준으로 사료된다. 광합성의 간접지표인 PS II 수준도 생육중기와 생육 후기에 EM 처리구에서 높게 나타났고, IM 연용 처리 간 비교에서는 5년간 연용 처리에서

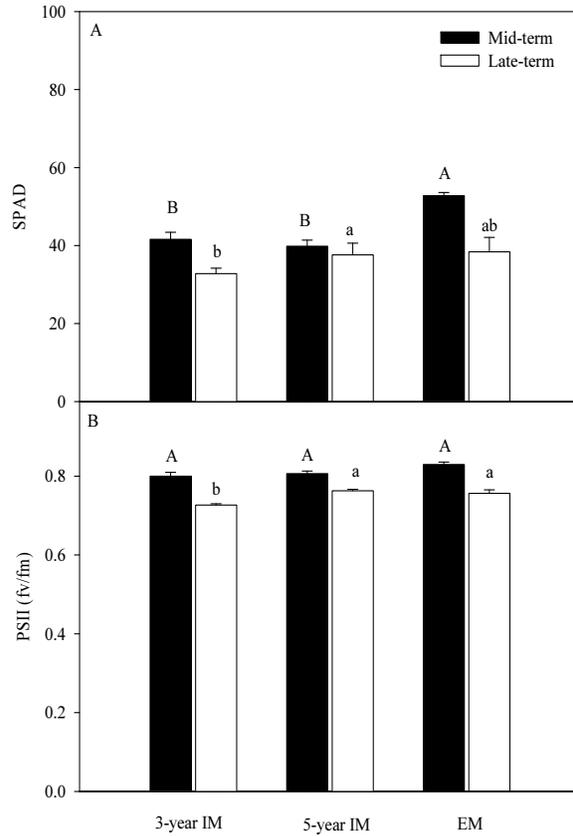


Fig. 2. Leaf SPAD and PS II at mid-term and late-term stage of growth as fertigated with liquid fertilizers derived from homemade natural sources in cherry tomato fields. Different letters on top of the columns indicate significant difference as determined by duncan's multiple range test at $P < 0.05$. 3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

Table 4. Plant Mineral Nutrient Concentrations as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Homemade Natural Sources in Cherry Tomato Fields

| Treatment | Macronutrient concentrations (%) | | | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | T-N | P | K | Ca | Mg | Na |
| 3-year IM | 1.2±0.1 c | 0.79±0.09 a | 3.1±0.5 b | 3.9±0.4 a | 1.4±0.3 a | 0.03±0.02 a |
| 5-year IM | 1.6±0.1 b | 0.79±0.03 a | 3.6±0.1 b | 4.3±0.0 a | 1.7±0.0 a | 0.02±0.01 a |
| EM | 2.4±0.0 a | 0.35±0.03 b | 5.6±0.2 a | 3.9±0.4 a | 1.3±0.2 a | 0.02±0.01 a |
| Desired level | 3.5-4.3 | 0.35-0.61 | 3.7-5.1 | 2.6-4.6 | 0.6-0.9 | - |

Means comparisons among treatments within a column by Duncan's new multiple range test; means followed by different letters are significantly different, 5% level.

3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

Desired levels were adapted from RDA.⁹⁾

3년간 연용 처리 보다 생육 후기에 SPAD와 PS II 값이 높은 수준이었다. 처리구에 상관없이 SPAD와 PS II 수준은 생육 후기에 감소하는 경향이 관찰되었는데, 이는 작물의 노화가 진행되면서 세포내 소기관의 기능이 저하된 결과로 기존 오이작물을 이용한 자가제조 액비 실험에서도 시기별로 감소한 결과가 관찰되었다.⁷⁾

질소는 단백질의 구성성분으로 세포 내 효소의 작용을 매개하여 영양기관의 성장을 촉진시킨다고 알려져 있으며,^{15,16)} 본 시험에서도 비슷한 결과가 관찰되었다(Table 5). 방울토마토의 질소농도가 높았던 EM 액비 처리구에서 생육 중기에 엽폭, 엽장, 엽수, 수관면적, 초장, 그리고 경경이 모두 높게 나타났다. 하지만 생육 후기에는 생장이 거의 완료된 단계로 처리구 간에 영양생장의 차이가 다소 줄어들었다. IM 액비 연용 처리구 간에 작물의 성장 특성은 생육 시기에 상관없이 대부분 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다.

방울토마토 작물의 잎 건물중은 EM 처리구에서 IM 처리구 보다 약 2배 이상 증가하였는데, 이는 영양기관의 성장 확대에 따른 결과로 풀이된다(Fig. 3A). 하지만 수량은 EM 처리구에서 IM 처리구 보다 약 2배 이상 낮은 수준을 보였다(Fig. 3B). EM 액비 처리에 의하여 영양생장이 촉진되어 꽃이나 과일 등을 포함한 생식기관으로의 양분 공급이 감소하여

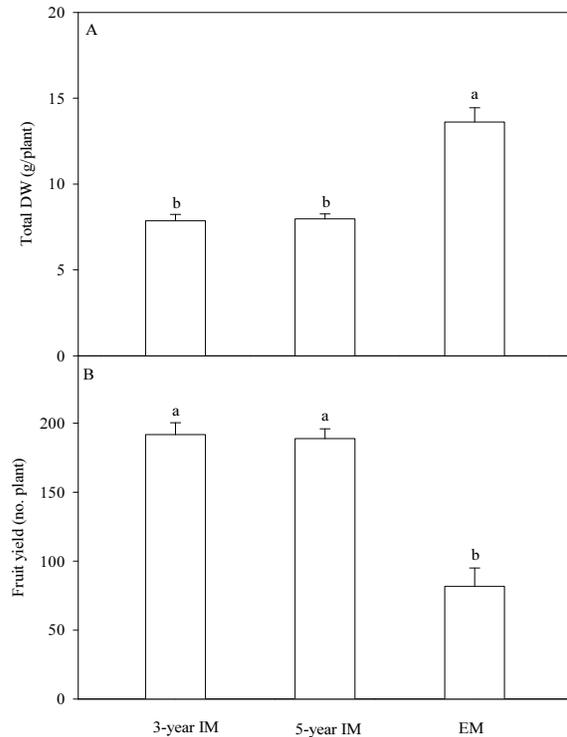


Fig. 3. Leaf dry weight and fruit yield as fertigated with liquid fertilizers derived from homemade natural sources in cherry tomato fields. Different letters on top of the columns indicate significant difference as determined by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. 3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

Table 5. Plant Growth Characteristics at Mid-term and Late-term Stage of Growth as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Homemade Natural Sources in Cherry Tomato Fields

| Treatment | Leaf width (cm) | Leaf length (cm) | Leaf (no.) | Canopy width (cm) | Plant height (cm) | Stem diameter (mm) |
|-----------|-----------------|------------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Mid-term | | | | | | |
| 3-year IM | 3.1±0.2 b | 5.3±0.2 b | 92.7±9.0 b | 40.5±1.5 b | 93.3±13.6 b | 8.0±0.4 b |
| 5-year IM | 2.9±0.2 b | 5.0±0.2 b | 85.3±15.8 b | 36.3±0.9 b | 83.3±7.5 b | 7.1±0.3 b |
| EM | 6.0±0.2 a | 10.5±0.4 a | 362.0±28.7 a | 46.3±1.8 a | 148.7±9.4 a | 10.3±0.5 a |
| Late-term | | | | | | |
| 3-year IM | 3.3±0.0 b | 6.1±0.2 b | 450.0±31.2 a | 49.2±0.8 a | 195.0±8.7 a | 10.7±0.6 a |
| 5-year IM | 3.4±0.1 b | 5.7±0.3 b | 402.0±15.8 a | 45.0±5.8 b | 188.3±6.0 a | 9.9±1.1 a |
| EM | 5.0±0.2 a | 9.3±0.9 a | 492.0±76.8 a | 53.0±1.9 a | 189.7±1.5 a | 11.7±1.4 a |

Means comparisons among treatments within a column by Duncan's new multiple range test; means followed by different letters are significantly different, 5% level.

3-year IM and 5-year IM: continuous fertigation with 3-year and 5-year of indigenous microorganism, respectively; EM: continuous fertigation with 10-year effective microorganism.

수량이 오히려 감소한 결과로 판단된다.^{15,16)} IM 액비로 처리된 수확 과수는 주당 180개 정도 나타나서 기존에 보고된 유기 방울토마토 수확과수 50개 보다 훨씬 높은 생산량을 보였다.¹⁷⁾

4. 결론

일반 친환경 농가에서 유기물 공급원으로 IM 자체가 가장 손쉽게 이용되고 있지만 실제 토양에 관주하여 수년 간 연용 하였을 때 토양화학성과 미생물상 및 작물의 반응과 관련한 과학적으로 검증된 연구는 미미한 실정이다. 본 연구의 포트 실험결과 IM 액비가 EM 보다 무기성분의 농도가 다소 높아서 토마토 육묘의 생장을 증가시켰다. 재배 실험에서는 10년 이상 장기간 연용 한 EM 액비 처리구에서 토양 유기물 함량 등 토양화학성과 미생물상이 개선되어 작물의 영양생장이 크게 증가하였지만 토양 내 염류가 과잉으로 축적되고 수량 감소 등의 문제점이 제기되었다. IM 액비의 연용 비교에서 3년간 IM을 연용하면 토양환경이 자체적으로 개선되어 5년간 연용 하였을 때와 비슷한 수준의 토양화학성 및 미생물상이 나타났고 작물의 영양생장과 생식생장의 균형이 이루어져서 생산성이 향상된 것으로 사료된다. 하지만 두 시험구(전남, 순천)의 독립변수(농가 토양특성, 토양관리 방법, 재배조건, 처리 액비)가 다르기 때문에 독립변수들을 더 고려한 추가 시험이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구과제 “자가 제조 유기농업자재 평가 및 활용기술 개발” 과제(PJ01338806)의 지원으로 수행되었음. 대구가톨릭대학교 지원에도 감사드립니다.

References

1. RDA, “Tomato, 2nd publication”, RDA, (2018).
2. Rosen, C. J. and Allan, D. L., “Exploring the benefits of organic nutrient sources for crop production and quality”, HortTechnol., 17, pp. 422~430. (2006).
3. Parr, J. F., Papendick, R. I. and Colacicco, D., “Recycling of organic wastes for a sustainable agriculture”, Biol. Agric. Hortic., 3, pp. 115~130. (1986).
4. Hartz, T. K., Smith, R. and Gaskell, M., “Nitrogen availability from liquid organic fertilizers”, HortTechnol., 20, pp. 169~172. (2010).
5. Liedl, B. E., Bombardiere, J. and Chaffield, J. M., “Fertilizer potential of liquid and solid effluent from thermophilic anaerobic digestion of poultry waste”, Water Sci. Technol., 53, pp. 69~79. (2006).
6. Zhai, Z., Ehret, D. L., Forge, T., Helmer, T., Lin, W. and Gv, C., “Organic fertilizers for greenhouse tomatoes : Productivity and substrate microbiology”, HortScience, 44, pp. 800~809. (2009).
7. Choi, H. S., Jung, J. S. and Jung, S. K., “Organic cucumber productivity affected by long-term application with homemade liquid fertilizers”, Korean J. Org. Agric., 27, pp. 87~100. (2019).
8. RDA, “Analysis methods of soil and plant”, National Institute of Agriculture Science, RDA, (2010).
9. RDA, “Criteria of fertilizer application in crops”, National Institute of Agriculture Science, RDA, (2011).
10. Albiach, R., “Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural crops”, Bioresource Technol., 75, pp. 43~48. (2000).
11. Jeong, S. J., Oh, J. S., Seok, W. Y., Kim, J. H., Kim, D. H. and Chung, W. B., “Effect of chitosan, wood vinegar and EM on microorganisms in soil and early growth of tomato”, Korean J. Org. Agric., 14, pp. 433~443. (2006).
12. Jeong, S. J., Cho, M. Y., Seok, W. Y., Lee, S.

- L., Lee, H. J. and Oh, J. S., "Effects of organic materials, chitosan, wood vinegar, and EM active solution on soil microbial and growth in Chinese cabbage", *J. Life Sci.*, 21, pp. 584~588. (2011).
13. Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. and Nelson, W. L., "Soil fertility and fertilizers", Person Education Ltd., USA, pp. 1~515. (2004).
14. Ulissi, V., Antonucci, F., Benincasa, P., Farneselli, M., Tosti, G., Guiducci, M., Tei, F., Costa, C., Pallottino, F., Pari, L. and Menesatti, P., "Nitrogen concentration estimation in tomato leaves by VIS-NIR non-destructive spectroscopy", *Sensors*, 11, pp. 6411~6424. (2011).
15. Aliyu, L., "Effects of organic and mineral fertilizers on growth, yield and composition of pepper (*Capsicum annuum* L.)", *Biol. Agric. Hortic.*, 18, pp. 29~36. (2000).
16. Amnifard, M., Arojee, H., Nemati, H. and Azizi, M., "Effect of nitrogen fertilizer on vegetative and reproductive growth of pepper plants under field conditions", *J. Plant Nutr.*, 35, pp. 235~242. (2012).
17. Park, J. S., Lee, M. J., Lee, S. Y., Kim, J. S., Lee, T. K., Ro, H. M., Kim, S. J., Jeon, S. W., Seo, S. G., Kim, K. Y., Lee, G. H. and Jeong, B. G., "Effect of mixed liquid fertilization on growth responses of cherry tomatoes and soil chemical properties", *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 33, pp. 268~275. (2015).