

## 자가제조 액비처리가 토양 화학성과 미생물상 및 오이의 생장에 미치는 영향

정지식<sup>a</sup>, 정석규<sup>a</sup>, 최현석<sup>b†</sup>

### Effect of Homemade Liquid Fertilizers on Chemical Property and Microbial Activity of Soil and Cucumber Growth

Ji-Sik Jung<sup>a</sup>, Seok-Kyu Jung<sup>a</sup>, Hyun-Sug Choi<sup>b†</sup>

(Received: May 9, 2019 / Revised: Jul. 31, 2019 / Accepted: Aug. 2, 2019)

**ABSTRACT:** The study was conducted to compare the chemical properties and microbial activity of soil and the crop productivity by applying homemade liquid fertilizers (LF) used in leading cucumber farms as well as to evaluate the eco-friendly LFs to substitute for a chemical fertilizer. Three homemade LFs, EM, starfish, and native microbes, and a chemical LF were regularly fertigated per three days during the growing season. Chemical LF contained the highest pH, EC (electrical conductivity), and concentrations of T-N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K, Ca, and Mg, while the lowest EC level was observed for EM LF. Soil EC was the highest to the 3.0 dS/m for chemical LF-plots, with lowering soil pH, OM (organic matter), and Mg concentration. Soil chemical properties mostly increased in native microbes LF-plots. However, soil microbial properties were not significantly different among the LF treatment plots. OTU (operational taxonomic units), richness estimator, and diversity index of bacteria and fungi increased in the chemical LF and EM LF based on the pyrosequencing analysis. SPAD and PS II values on the treated-cucumber leaves were seasonally decreased from 32 to 60 days after transplanting, with the rapid decline observed at 45 days after transplanting. Number of leaves and crop height increased in the treatments with EM and native microbes LF. LF treated-cucumber crops were not significantly different for total fresh weight and fruit yield.

**Keywords:** EM, Microbial activity, Organic, Photosynthesis, Pyrosequencing

**초 록:** 본 연구는 오이 선도 농가에서 이용되는 3 종류의 자가제조 액비와 화학비료 액비를 처리하였을 때 토양 화학성 및 미생물상과 작물의 생장에 미치는 영향을 비교하여 화학비료를 대체할 만한 친환경적인 자가제조 액비를 구명하고자 수행되었다. 농가에서 자가제조 되고 있는 EM 미생물, 불가사리, 토착 미생물 액비를 수집하여 화학비료와 함께 적정 농도로 희석한 후, 재배기간 동안 3일에 1회 관주 처리하였다. 액비 자재의 이화학적 성을 분석한 결과, pH, EC, 전질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 농도는 화학비료 액비에서 가장 높았고, EC는 EM 자재에서 가장 낮았다. 토양 내 EC는 화학비료 액비 처리구에서 3.0 dS/m으로 염류집적 증상을 보였으나, 토양 pH와 유기물함량, 그리고 치환성 마그네슘 농도는 오히려 가장 낮았다. 토착 미생물 액비처리구는 토양 화학성에 영향을 주는 요소들을 대부분 증가시켰으나, 토양 미생물상은 처리구 간에 비슷한 수준이 관찰되었다. 파이로시퀀싱 기법을 통한 토양 내 세균과 곰팡이의 OTU와 종 풍부도 및 다양성 지수는 화학비료와 EM 액비 처리구에서 가장 높게 관찰되었다.

<sup>a</sup> 대구가톨릭대학교 원예학과 연구원(Researcher, Department of Horticulture, Daegu Catholic University)

<sup>b</sup> 대구가톨릭대학교 원예학과 교수(Professor, Department of Horticulture, Daegu Catholic University)

† Corresponding author(e-mail: [hchoiuark@gmail.com](mailto:hchoiuark@gmail.com))

작물의 SPAD와 광계II 활성은 모든 처리구에서 정식 후 32일부터 60일까지 시기별로 감소하였고 특히 45일 이후에 뚜렷하게 감소하였다. 잎 수와 초장은 EM과 토착미생물 액비 처리구에서 높게 나타났다. 액비 처리에 따른 총 신선중과 수량은 통계적으로 유의성 있는 차이가 관찰되지 않았다.

**주제어:** EM, 미생물상, 유기, 광합성, 파이로시퀀싱

## 1. 서론

국내 친환경 농산물 시장은 1990년대부터 2010년대 초반까지 매년 10~20% 이상의 성장세를 지속적으로 유지하여 왔다.<sup>1)</sup> 하지만 2015년 저농약 인증제 폐지와 농산물의 잔류약해 및 위해성 물질의 품질관리 강화에 따른 우수 농산물의 대량 출고로 친환경 농산물의 가격 프리미엄이 크게 감소되고 있다. 이에 정부는 제4차 친환경농업 육성 5개년(2016~2020년) 계획안에 친환경 농산물 비중을 전체 대비 8%까지 증수할 목표로 다양한 정책수단을 제시하고 있다. 하지만 친환경 농산물의 생산량이 증가하면 가격 경쟁력 하락이 불가피하므로 고품질 친환경 농산물 수요를 이끌어내기 위한 친환경 농업의 실용화 기술 개발이 요구되고 있다. 전국의 친환경 농가에서는 양분 관리와 병해충 방제를 위하여 주변에서 구하기 쉬운 농림부산물 등을 자원화 한 액비를 개발하여 생산비를 절감하고 있다. 하지만 자가제조 액비는 병해충 및 작물영양 공급 효능에 대한 검증 없이 사용되는 자재가 많아 시용량 및 시용횟수 등과 관련한 문제점이 제기되고 있다.<sup>2)</sup>

오이(*Cucumis sativus* L.)는 국내에서 가장 많이 소비되는 과채류 중 하나로 1993년을 기점으로 국내 오이시설과 노지재배를 포함한 재배면적은 8,744 ha로 가장 넓었고 생산량도 348.5천톤으로 가장 많았으나 이후 감소세로 돌아서고 있지만 최근 시설재배 기술의 발달로 생산량 감소를 보완하고 있다.<sup>3)</sup> 오이는 재배기간이 3개월 전후의 작기가 비교적 짧은 작물로 호흡이 높고 에틸렌에 감수성으로 노화 속도도 빨라서 과실연화 및 부패 등의 문제가 유발되므로 세심하고 숙련된 작업이 필요하다.<sup>4)</sup> 또한 오이 뿌리는 천근성으로 건조에 약하고 염류해에 의한 생육장애를 가져올 수 있으므로 지하부의 환경조건과 더불어

어서 비배 관리가 중요한 작물로 알려져 있다.<sup>4)</sup> 최근에는 도시근교의 텃밭 등을 이용한 도시농업의 활성화로 여름철 이후에도 오이를 많이 재배하고 있는데 기후변동에 따른 노지 오이의 정상적인 생육에 이상을 가져올 수 있으므로 이와 관련한 연구도 필요할 것으로 판단된다.<sup>5)</sup>

오이 유기재배에서는 일반적으로 밑거름으로 유박이나 유기질 비료를 산포하고 있고 웃거름은 다양한 천연 친환경자재를 제조하여 액비로 처리하고 있다.<sup>3)</sup> 하지만 농가에서 직접 제조한 자가제조 액비에 따른 토양의 안정성과 작물 생육과 관련하여 검증된 결과는 일부 어분액비<sup>6)</sup>와 생초액비<sup>7,8,9,10)</sup>에서 보고되고 있다. 농가에서 많이 이용되고 있는 EM(effective microorganisms; 유용미생물)이나 산업 부산물을 자원화 한 자가제조 액비는 다양한 미생물 군집을 함유하여 토양의 건전성과 작물의 생장을 촉진시킬 수 있지만 미생물간의 경합 과정으로 효과의 재현성이 떨어지기도 하므로<sup>11)</sup> 이와 관련한 과학적 검증이 시급히 요구되고 있다.

본 연구는 친환경 농가에서 활발히 제조되고 있는 EM, 해양 부산물인 불가사리, 토착 미생물을 주원료로 한 액비를 오이 실험구에 일정하게 관주하여 화학비료를 액비로 처리한 곳과 토양 화학성 및 미생물상과 작물의 생장을 비교하여 환경적·생태적 측면에서 안전한 자가제조 액비를 구명하기 위하여 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험구 조성

본 연구는 자가제조 액비 처리에 따른 토양의 안정성과 오이 ‘최강흑진주’(*Cucumis sativus* L.) 생육을 비

교하기 위하여 경상북도 구미시에 소재한 개인 농가에서 수행되었다. 토성은 사양토로 실험 전에는 고추와 파 등을 중심으로 저농약으로 관리되는 경작지이었다. 실험처리 전에 토양을 중화시키고 비옥도 향상을 위하여 칼슘유황 비료(12-6-8+2Mg+0.2B+9Ca+5S; 슈퍼원예, 남해화학, 한국)를 주 당 약 100 g을 산포하여 실험구를 구획정리 한 후에 흑색비닐 멀칭 자재로 피복하였다. 2018년 8월6일에 모판에 파종 후 8월 24일에 정식하여 이후 60여 일간 실험을 수행하였다. 실험구 전체 면적은 33 m<sup>2</sup> 정도이었으며 실험구당 면적은 6.6 m<sup>2</sup>로 설정하였다. 오이의 재식 간격은 기존 유기액비 실험에서 이용된<sup>9)</sup> 주간 20 cm × 열간 90 cm로 두 줄 유인하였고, 두둑 간의 고랑은 50 cm 정도로 배수로로 이용하였다. 실험 기간인 8~10월의 월간 평균온도와 누적강수량을 지난 10년간(2009~2018년) 평균값과 비교하여 Table 1에 제시하였다.<sup>12)</sup>

2.2. 액비제조 원료의 특성 및 제조 방법

실험구 처리를 위하여 자가제조 액비를 투입하고 있는 친환경 오이재배 선도농가 세 곳을 선정하여 액비 원액을 각각 수집하였다.

EM 액비는 전라남도 순천지역의 유기농인증 농가에서 공급받았다. 농가의 액비 제조방법은 순천시 농업기술센터에서 공급 받은 EM균 1 L와 당밀 10~20 L, 그리고 흑설탕 10~20 kg을 플라스틱 통 속에 넣은 후에 약 600 L 물에 혼합 하여 4~5일 동안 자체적으로 배양시켰다. 이후 EM 액비를 1,000배로 희석하여 토양에 관주하여 웃거름으로 시용하여왔다.

불가사리 액비를 투입하고 있는 전라북도 부안의 친환경 오이농가는 불가사리를 파쇄하여 불가사리 70%, 당밀 10%, 그리고 EM 7% 및 바닷물 8%의 비율로 혼합하여 상부는 공기와의 접촉을 피하기 위

하여 실리콘 또는 파라핀 등으로 밀봉한 후 3년간의 발효과정을 거쳤다. 상부의 10% 정도는 여유 공간을 두어 불가사리 발효 시 발생하는 가스로 인하여 팽창할 수 있는 점을 가감하여 비워 놓았다. 배양시켜 완성된 액비는 작물의 생육기에 약 1,000배 전후로 희석하여 관주하여 왔다.

토착미생물 액비는 경상북도 김천지역의 유기농인증 농가에서 분양받았다. 농가의 제조방법은 인근 야산의 부엽토에서 고두밥을 이용하여 종균을 채취하였다. 고두밥과 흑설탕을 1:1 비율로 상온에서 수일 간 재 배양 시킨 후 미강, 한방영양제, 현미식초, 인산칼슘, 광물질 등을 혼합하여 발효시켰다. 발효 중에 발생하는 열이 크게 상승하지 않도록 수차례 뒤집기를 반복하여 미생물의 활성을 높게 유지시켰다. 이러한 과정에서 세력이 강한 미생물균을 분리하여 최종적으로 퇴비와 각종 유기자재를 혼합한 후 약 1,000배로 희석하여 토양에 관주하여 왔다.

2.3. 실험 처리 방법

실험 처리구는 EM(EM 액비; 유용 미생물), starfish(불가사리 액비), microbes(토착 미생물)를 두었고, 관행농업에서 주로 덧거름으로 이용하는 chemical fert(화학비료 액비; 신NK마그, 18-0-16+1Mg+0.1B, KG 케미칼, 울산, 한국)를 포함하였다. 처리방법은 농가에서 이용되는 액비 희석배율을 적용하여 각 액비 원액에 1,000배로 희석하여 정식 후 30일까지는 3일에 한 번씩 주당 50 mL 정도로 관주하였고, 영양생장과 생식생장이 왕성해지는 정식 후 30~60일에는 100 mL를 관주하였다. 추가적으로 무처리구를 대조구로 두어 신선중과 수량 등을 액비 처리구와 비교하였다.

액비자재의 화학성을 분석한 결과 EM 액비(EM),

Table 1. Weather Condition in the Experimental Plot, Gumi Province

Month	2018		Annual avg. from 2009 to 2018	
	Avg. temp. (°C)	Accumulated precipitation (mm)	Avg. temp. (°C)	Accumulated precipitation (mm)
August	27.7	258.2	26.2	233.1
September	20.3	129.5	20.9	138.6
October	13.1	158.5	14.5	73.4

불가사리 액비(Starfish), 토착미생물 액비(Microbes) 간에 비슷한 수준이 관찰되었다(Table 2).

#### 2.4. 토양화학성 및 미생물상 분석

액비로 처리된 오이의 토양 화학성을 분석하기 위하여 실험구 당 0~20 cm 깊이의 토양을 오이 주 간에서 50 cm 떨어진 지점에서 토양오거로 채취하였다. 채취된 토양을 실험실에서 풍건하여 2 mm체로 거른 후에 농촌진흥청 토양 분석법<sup>13)</sup>에 의거하여 토양 pH와 EC(electrical conductivity, 전기전도도)를 1(토양):5(증류수)법으로 하여 pH미터(FIVEEAST FE20, METTLER TONEDO Co., Jingsu, China)와 EC 측정기(HI 2315 Conductivity Meter, HANNA Co., Seoul, Korea)로 조사하였다. 토양 무기성분 농도는 농촌진흥청 토양 분석방법에 제시한 방법을 이용하였다<sup>12)</sup>. T-N(전질소)은 Kjeldahl법으로 분석하였고 유효 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(유효인산)는 Lancaster법, 치환성 양이온은 원자흡광도 측정법으로 분석하였다.

토양 미생물 분석을 위하여 0~20 cm 깊이의 토양을 추가로 채취하여 2 mm체로 통과시켰다. 농촌진흥청 조사 분석법에 제시<sup>13)</sup>되어 있는 주입평판법에 의거하여 적당량의 토양 시료를 생리식염수로 진탕하여 희석액을 조제하였다. 희석액은 YG 세균배지에서 28±2°C에서 3~5일, SC 방선균배지 28±2°C에서 7일, Rose Bengal Agar 사상균배지 25°C에서 3~5일 배양한 후 콜로니수가 20~200개인 평판을 택하여 계수한 후 세균, 방선균, 사상균의 평균치를 각각 구하였다. 이후 콜로니 평균치에 희석 배수를 곱하여 g당 콜로니 형성수(CFU, colony forming unit)로 표시하였다.

토양 시료에서 파이로시퀀싱 분석을 위하여 분석센터(Chunlab, Inc., Korea)에 의뢰하여 FastDNA<sup>®</sup> Spin Kit(MP Biomedicals, Seoul, Korea)를 이용하여 제조사의 방법대로 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA에서 세균의 16S rRNA 유전자의 시퀀싱(sequencing)을 통하여 세균군과 곰팡이군을 동정하였다. 세균동정을 위해서 이용된 부분은 16S rRNA 유전자의 V3와 V4영역을 타깃으로 하는 primer를 이용하여 진행하였다. 세균동정은 341F (5'-TCGTCGGCAGCGTC-A GATGTGTATAAGAGACAG-CCTACGGGNGGCWGCAG-3')와 805R(5'-GTCTCGTGGGCTCGG-AGATGTGTATAAGAGACAG-GACTACHVGGGTATCTAATCC-3')의 primer를 이용하였다. (Target sequence : 빨간색, Sequencing adaptor : 파란색). 곰팡이 동정은 ITS2 영역을 타깃으로 하는 primer 를 이용하였고, ITS3 (5'-TCGTCGGCAGCGTC-AGATGTGTATAAGAGACAG-GCATCGATGAAGAACGCAGC-3')와 ITS4 (5'-GTCTCGTGGGCTCGG-AGATGTGTATAAGAGACAG-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3')의 primer를 이용하였다(Target sequence : 빨간색, Sequencing adaptor : 파란색). 최종적으로 얻어진 염기서열 등은 Mothur 프로그램<sup>14)</sup>을 이용하여 OTU(operational taxonomic units), Good's coverage, 종 풍부도 지수(Chao1, ACE), 종 다양성 지수(Shannon, Inverse simpson)등을 분석하였다.

#### 2.5. 엽록소 및 생장 분석

엽록소 함량을 나타내는 SPAD 값은 SPAD-502미터기(Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 정식 후 32 일차부터 60일까지 일주일 간격으로 선단에서 3~4 번째의 건전한 잎을 대상으로 매주 측정하였다. 광

Table 2. Chemical Properties in Liquid Fertilizers Derived from Chemical and Homemade Natural Sources Fertigated in the Experiment Plots

Farm-made	pH (1:1)	EC (dS/m)	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K (%)	Ca	Mg
Chemical fert	8.4	3.9	0.09	<0.01	0.09	0.004	0.0034
EM	7.7	0.2	0.01	<0.01	<0.01	0.001	0.0005
Starfish	7.1	0.3	0.01	<0.01	<0.01	0.002	0.0006
Microbes	6.7	0.3	0.01	<0.01	<0.01	0.001	0.0008

The presented values were results from the nutrient analysis in 1,000 times dilution with each liquid fertilizer.

계II 활성은 SPAD를 측정할 동일한 잎을 이용하여 엽록소 측정용 클립으로 15분간 암 처리 후 엽록소 형광측정기 FP100(FluorPen P100, Photon System Inc., Drasov, Czech Republic)으로 광계II의 반응을 비파괴적으로 측정하였다.

수관 너비는 정식 후 32일차부터 일주일 간격으로 가로와 세로의 길이를 줄자로 측정하여 평균을 구한 값으로 정하였고 이후 초장을 측정하였다. 오이의 주간 직경은 지표면에서 5 cm 높이에 위치한 원줄기에서 디지털 버니어스 캘리퍼(보니테니, 아산, 한국)로 측정하였고, 잎 수와 엽면적(엽폭과 엽장)도 동시에 매주 조사하였다.

수확 일에 작물을 모두 뿌리채 수확하여 작물의 원줄기와 뿌리의 길이를 줄자로 측정 후 신선중을 전기식 지식저울(SW-10W, 카스, 서울, 한국)로 측정하였다. 이후 수확 과수를 조사한 후 신선중을 측정하였다.

## 2.6. 통계분석

처리 당 3개의 실험구(3반복)를 조성하여 무작위로 배치하였고, 처리 당 각 실험구는 총 10주의 오이를 포함하였다. 연구결과를 통하여 평균과 표준오차를 구하여 표와 그래프를 작성하였다. 이후 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc., Release 7.5, Chicago, USA)을 이용하여 분산분석에 이은 Duncan's New Multiple Range Test를 수행하여 처리구 평균 간의 유의성을 5% 수준에서 검정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 기상환경 및 액비처리 간 토양특성 비교

실험구의 2018년 8월의 평균 기온과 강수량은 지난 10년(2009~2018년)간 평균 보다 다소 높은 수준을 보였다(Table 1). 2018년 9월의 기온과 강수량은 지난 10년 대비 비슷하였지만, 10월의 기온은 평년 대비 약 1°C 온도 상승과 85 mm의 초과 강수량이 관찰되어 작물의 생육 환경이 다소 불리하였을 것으로 판단된다.

자가제조 액비자재의 pH 수준은 EM 액비에서 7.7로 다른 액비 보다 비교적 높았으나 EC는 0.2 dS/m으로 다소 낮은 수준을 보였다(Table 2). 해양 부산물의 경우 일반 액비들에 비하여 질소성분이 많이 함유되었다고 하였는데<sup>2)</sup>, 본 연구에 이용된 불가사리 액비는 질소 0.01%로 EM과 토착 미생물 액비와 비슷한 수준이어서 동일한 액비라도 공급된 지역과 계절, 제조방법 및 보관방법, 미생물의 배양 기간 등에 따라 차이가 달라지는 것으로 사료된다. 액비에 함유된 인산과 칼륨, 그리고 칼슘과 마그네슘 농도는 대부분 낮은 수준이 관찰되었다. 화학비료 액비(Chemical fert) 자재는 질소와 칼륨 및 마그네슘이 주 원료로 다른 액비보다 상대적으로 많은 알칼리성 물질이 포함되어 있었기 때문에 pH와 무기성분 농도가 높게 나타났다.

실험 전 토양의 산성화를 막기 위하여 석회화 함유된 비료를 대량 시용(주당 100 g)하였기 때문에 토양 pH는 모든 처리구에서 7.1~7.5 사이의 약 알칼리성이 관찰되었다(Table 3). 토양 EC는 화학비료 액비 처리구에서 3.0 dS/m의 높은 수준으로 염류집적의 가능성을 보여 환경오염의 가능성이 제기되었고, 반면에 모든 자가제조 액비 처리구에서는 1.4 dS/m으로 오이 재배를 위한 한계 염류농도인 1.5 dS/m 이내로 문제가 없는 것으로 나타났다.<sup>4,15)</sup> 토착 미생물 액비 처리는 유기물함량을 41 g/kg으로 크게 증가시켰고 유효인산과 치환성 양이온도 높은 수준을 보였다. 토양 내 유효인산은 모든 처리구에서 적정 수준 이상을 보였는데 이는 약알칼리성 토양에서 인산의 불용화로 과잉 집적된 결과로 풀이되며, 가축분뇨액비의 과용 및 연용으로 나타난 이전 결과들과 유사하였다.<sup>16,17)</sup> 이에 토양 내의 불용성 인산을 작물이 쉽게 이용할 수 있는 유리인산의 형태로 전환할 수 있는 토양 pH의 조정(6.0 - 7.0)이나 인산가용화 미생물 등에 대한 구체적인 방법이 모색되어야 할 것으로 판단된다. 치환성 양이온인 칼륨은 원자재에 칼륨을 많이 함유한 화학비료 액비 처리구에서 높게 관찰되었다. 치환성 칼슘은 오이생육을 위한 토양 적정 농도 보다 모든 처리구에서 3배 정도 높았는데 이는 본 연구에 들어가기 전에 석회와 황을 많이 함유한 비료를 사용한 결과로 판단되

Table 3. Soil Mineral Nutrition as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Chemical and Homemade Natural Sources in a Cucumber Field

Treatment	pH (1:1)	EC (dS/m)	OM (%)	T-N (%)	P2O5 (mg/kg)	ExCation (cmolc/kg)			
						K	Ca	Mg	Na
Chemical fert	7.1 b	3.0±0.3 a	26±1 b	0.21±0.0 ab	737±34 ab	1.5±0.2 a	13±0 a	1.3±0.1 c	0.05±0.00 a
EM	7.5 a	1.0±0.1 b	30±4 ab	0.25±0.0 a	695±26 b	0.5±0.0 b	15±1 a	1.4±0.0 b	0.08±0.00 a
Starfish	7.4 a	0.8±0.0 b	31±1 ab	0.25±0.0 a	658±23 b	0.5±0.0 b	16±1 a	1.5±0.0 ab	0.07±0.00 a
Microbes	7.3 a	1.4±0.3 b	41±6 a	0.11±0.0 b	826±47 a	0.6±0.2 b	16±1 a	1.5±0.0 a	0.07±0.01 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	-

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

Table 4. Soil Microbial Activity as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Chemical and Homemade Natural Sources in a Cucumber Field

Treatment	Bacteria (10 <sup>6</sup> CFU g <sup>-1</sup> )	Fungi (10 <sup>5</sup> CFU g <sup>-1</sup> )	Actinobacteria (10 <sup>4</sup> CFU g <sup>-1</sup> )
Chemical fert	47.6±5.6 a	72.0±8.0 a	17.4±1.4 a
EM	40.2±4.5 a	49.1±11.1 a	23.8±1.4 a
Starfish	44.4±7.4 a	48.4±37.2 a	30.0±2.4 a
Microbes	48.9±1.5 a	45.2±6.8 a	27.7±4.9 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

며, 토양 내 유효인산을 비롯한 다른 무기이온들의 이용성을 높여주기 위하여 석회 시용량을 줄여주어야 할 것으로 사료된다.

토양 내 유기액비를 정기적으로 시용하면 미생물의 개체수를 직접적으로 증가시키고 토양유기물함량이 증가하여 토양의 물리성 및 미생물상이 개선된다고 하였다.<sup>6,11,18)</sup> 본 연구에서는 처리구 간에 토양 미생물상은 통계적으로 유의성 있는 차이가 없었지만 화학비료 액비 처리구에서 곰팡이 개체수는 비교적 높게 나타났다(Table 4). 이러한 이유는 화학비료 액비 처리를 통한 무기물의 급속한 공급은 곰팡이 개체수를 일시적으로 증가 시켰을 것으로 추정되며, 또한 오이 뿌리가 신장하는 동안 뿌리에서 발생하는 분비물이 미생물 활성화에 일부 기여하였을 것으로도 생각되지만 그러한 변이들의 상관관계에 대하여 면밀한 검토가 필요하였다.<sup>19,20)</sup> 토양을 대상으로 세균의 파이로시퀀싱 OTU 분석 결과는 화학비료와 EM 액비 처리구에서 각각 5,709와 5,875로 관찰되어 세균 군집이 좀 더 다양한 것으로 분석되

었다(Table 5). 곰팡이의 OTU 분석 결과 또한 화학비료와 EM 액비 처리구에서 가장 높은 수준을 보였다. 처리구 내 Good's coverage는 모두 0.98 또는 0.99를 나타내어 파이로시퀀싱 결과의 신빙성이 높게 나타났다.<sup>21)</sup> 토양 내 세균과 곰팡이의 종 풍부도와 다양성 지수는 화학비료와 EM 액비 처리구에서 높은 수준을 보였다. 특히 세균의 파이로시퀀싱 분석에서 토착 미생물 처리구의 종 풍부도와 다양성 지수가 낮았는데 이는 특정 세균을 포함한 미생물들이 우점 하여서 군집의 다양성 감소에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

### 3.2. 액비처리 간 성장 비교

엽록소함량의 간접 지표인 SPAD 수준은 처리에 상관없이 시기가 경과함에 따라 감소하였다(Fig. 1A). 정식 후 60일차에 SPAD는 화학비료 액비 처리구에서 가장 높았는데, 이는 액비 내 엽록소의 주요한 구성 성분인 질소의 투입이 높았기 때문으로 사료된다(Table 1). 기존의 연구에서 다른 과채류 작물

Table 5. Summary of Pyrosequencing Analysis in Soil Bacteria and Fungi as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Chemical and Homemade Natural Sources in a Cucumber Field

Treatment	Number of OTUs	Good's coverage	Richness estimator		Diversity index	
			Chao1	ACE	Shannon	Inverse Simpson
Bacteria						
Chemical fert	5,709	0.98	5,891	6,206	7.53	0.0
EM	5,875	0.98	6,043	6,330	7.50	0.0
Starfish	5,537	0.98	5,712	6,035	7.47	0.0
Microbes	4,898	0.99	5,072	5,346	6.33	0.0
Fungi						
Chemical fert	1,179	0.98	1,203	1,240	4.53	0.04
EM	911	0.98	936	969	4.08	0.05
Starfish	753	0.98	773	802	3.55	0.09
Microbes	860	0.99	876	901	4.14	0.04

OTU means operational taxonomic units.

과 비슷하게 오이 잎의 질소함량과 SPAD 수준 간에 통계적으로 유의성이 높은 정의 상관관계가 관찰되었다.<sup>22)</sup> 새로 전개된 잎에서 SPAD를 측정했음에도 불구하고 모든 처리구에서 시기별 수준의 감소가 나타난 원인은 노화와 더불어서 평년보다 낮은 10월의 주·야간 온도로 근권에서 엽록소구성 성분을 포함한 필수 무기성분 흡수의 저하에 기인하였을 것으로 사료된다. 작물의 광계II 활성(Fv/Fm)은 일반적으로 광합성을 나타내는 간접 지표로 유해 물질에 장기간 노출되거나 노화가 급진전 되었을 때 광합성 기구의 구조적 변화로 감소 될 수 있다.<sup>23)</sup> 오이 잎의 광합성 수준은 잎 전개 후 20~30일 사이에서 일반적으로 가장 높고 45일 이후에는 노화의 영향으로 감소한 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 본 연구에서도 시기별 광계II 활성은 SPAD 결과에서 관찰된 바와 같이 모든 처리구에서 감소하는 경향이 관찰되었고 특히 정식 후 45일 이후에 뚜렷하게 저하되었다(Fig. 1B). 광계II 활성은 SPAD 결과에서처럼 화학비료 액비 처리구에서 정식 후 53일과 60일차에 가장 높은 수준을 보였다.

오이 수관과 줄기직경, 그리고 엽폭과 엽장은 시기에 상관없이 모든 처리구에서 일정한 수준이 관찰되었고 초장과 잎 수는 시기가 경과하면서 수관의 확대와 증가하였다(Fig. 2A-F). 처리에 따른 잎 수의 비교에서는 통계적으로 유의성 있는 차이가

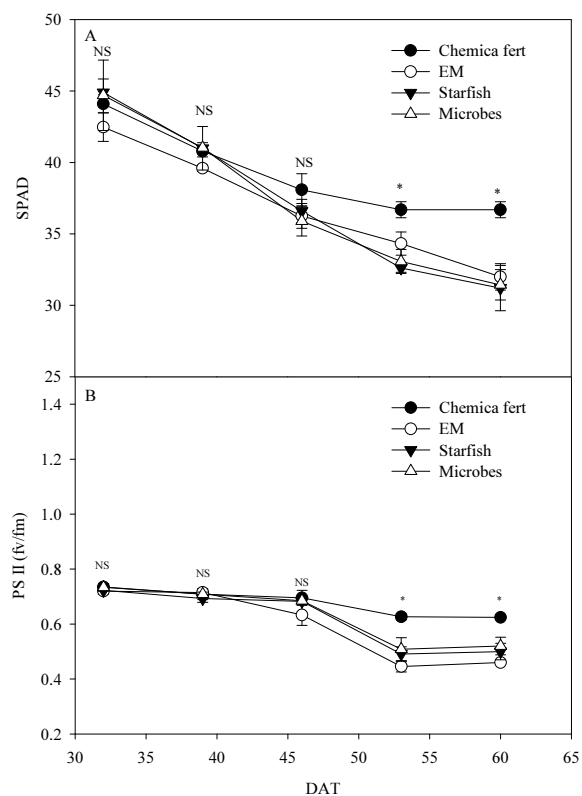


Fig. 1. Leaf SPAD and PS II from 32 to 60 days after transplanting (DAT) as fertigated with liquid fertilizers derived from chemical and homemade natural sources in a cucumber field. \*adjacent to each datum point for each sampling time indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ ; NS, not significantly different.

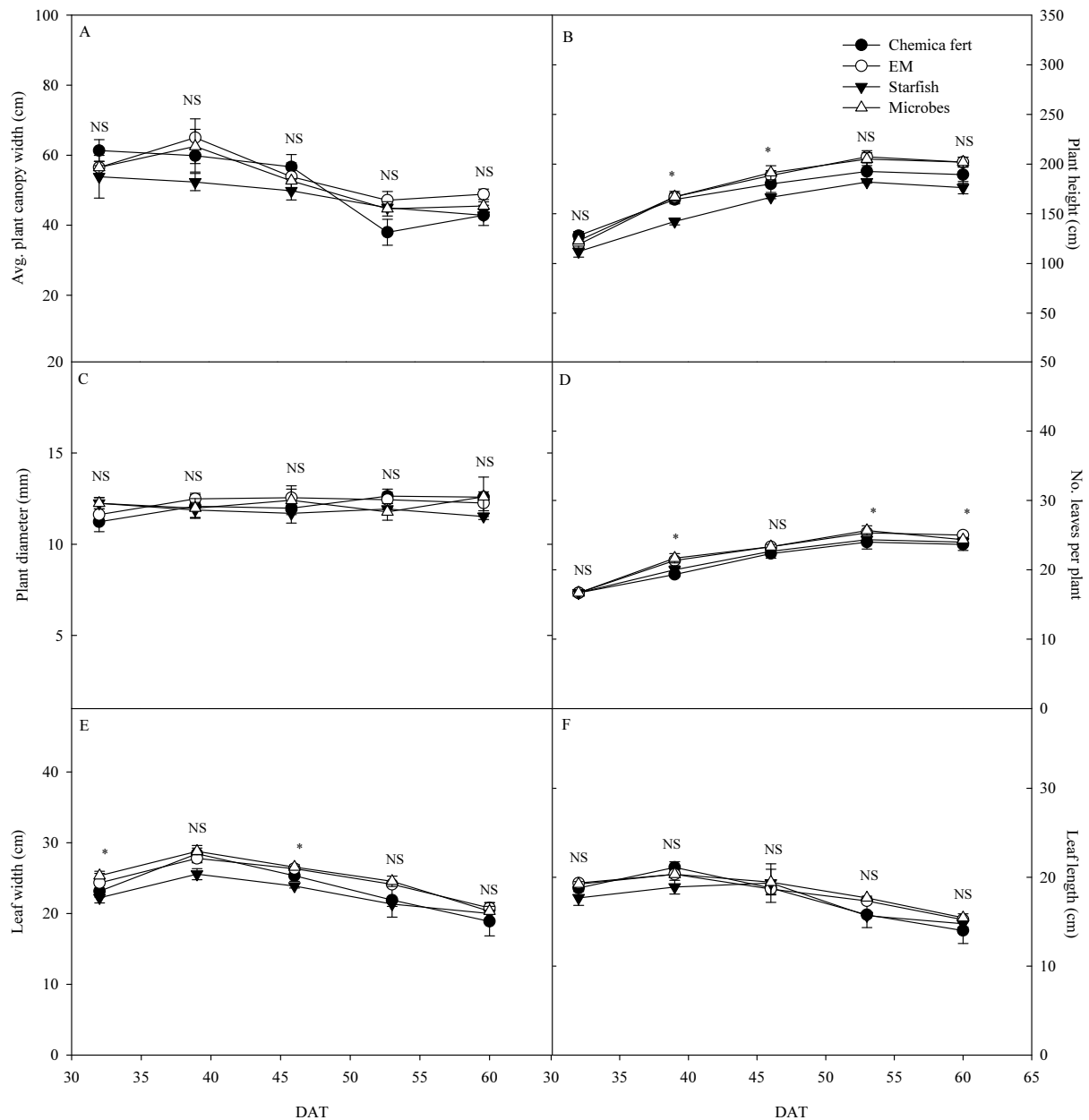


Fig. 2. Plant growth parameters from 32 to 60 days after transplanting (DAT) as fertigated with liquid fertilizers derived from chemical and homemade natural sources in a cucumber field. \*adjacent to each datum point for each sampling time indicate significant differences as determined by Duncan's multiple range test at  $P < 0.05$ ; NS, not significantly different.

대부분 관찰되었고 EM과 토착 미생물 액비 처리구에서 비교적 높게 나타났다.

오이의 지상부 초장은 잎 수가 비교적 많았던 EM과 토착미생물 액비 처리구에서 통계적으로 유의성 있게 길게 신장되었다(Table 6). 오이의 선행 연구에서 지하부 생장은 지상부 성장과 비슷한 경향을 보

였다고 하였다.<sup>24)</sup> 본 연구에서는 10월의 기상 환경이 평년 대비 저온다습 하여(Table 1) 뿌리의 발육이 저조하여 처리구 간에 별다른 차이가 없었던 것으로 판단되며(자료미제시), 전반적으로 수량 감소에도 영향을 끼쳤을 것으로 판단된다. 화학비료 액비 처리구는 비교적 건전한 영양생장을 보였지만 예상



Table 6. Total length, Fresh Weight, and Fruit Yield as Fertigated with Liquid Fertilizers Derived from Chemical and Homemade Natural Sources in a Cucumber Field

Treatment	Total length (cm)	Total fresh wt. (g plant <sup>-1</sup> )	Fruit yield (kg plant <sup>-1</sup> )
Control	112.7±7.2 c	144.7±32.9 b	0.2±0.1 b
Chemical fert	219.7±9.8 ab	347.0±46.9 a	3.2±0.5 a
EM	235.7±8.6 a	413.3±51.2 a	3.0±0.5 a
Starfish	209.3±4.4 b	311.7±11.9 a	3.1±1.1 a
Microbes	235.6±7.3 a	406.3±43.2 a	3.8±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.

보다 수량이 높지는 않았는데 기상 환경과 더불어서 염류집적으로 인한 물과 무기물 흡수의 감소와 탈수 등의 부정적인 요인에 기인한 것으로 판단된다.<sup>5)</sup> 오이의 수량은 액비처리 농도가 증가함에 따라 정점을 이루지만 적정 수준 이상에서는 감소하였다고 보고하였다.<sup>15)</sup> 본 시험에서 염류 농도가 높았던 화학비료 액비구에서 SPAD와 광계II 활성이 생육 후 반기에도 높게 유지되어 과실의 수량 증가보다는 영양생장을 위한 탄수화물 분배에 기여하였을 것으로 사료된다.

양의 물리·화학적 및 생물학적 안정성의 상관관계에 대해서 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

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

## 4. 결론

결과적으로 모든 자가제조 액비는 화학비료 액비보다 약 9배 이하의 질소와 칼륨 등이 투입되었음에도 불구하고 토양 내 적정 양분과 건전한 작물 형성에 기여하여 환경적으로 더욱 안전한 영농방법으로 관찰되었다. 특히 EM 처리구의 토양 내 EC는 1.0 dS/m으로 한계염류 농도 이하의 수준으로 토양 내 세균과 곰팡이의 종 다양성이 확대되어 현지 내 보전확대로 생태계 생산성과 안정성을 향상시켰다. 또한 작물생장에 필요한 적정 수준의 양분 공급으로 균형 있는 생장을 유도한 것으로 사료된다. 특히하게도 화학비료 액비 처리의 경우 일시적으로 토양 미생물의 군집 다양성 증가에 영향을 끼친 것으로 관찰되었다. 하지만 최근 빈번한 이상 기온은 비료의 처리 효과 보다 오이의 생산성에 크게 영향을 끼치므로<sup>5)</sup> 장기간에 걸친 다양한 종류의 연용액비 처리와 토

## References

1. KREI, “2018 Agricultural outlook”, Korea Economic Institute, KREI. (2018).
2. An, N. H., Cho, Y. S., Cho, J. R., Kim, Y. K., Lee, Y., Jee, H. J., Lee, S. M., Park, K. L. and Lee, B. M., “The survey of actual using conditions of farm-made liquid fertilizers for cultivating environment-friendly agricultural products”, Korean J. Org. Agric., 20, pp. 345~356. (2012).
3. RDA, “Cucumber, 2<sup>nd</sup> publication”, RDA. (2017).
4. Smith, D. S., Cash, J. N., Nip, W. K. and Hui, Y. H., “Processing vegetables: Science and technology”, Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, USA. pp. 1~417. (1997).
5. Guo, R., Li, X., Christie, P., Chen, Q. and Zhang, F., “Seasonal temperatures have more influence than

- nitrogen fertilizer rates on cucumber yield and nitrogen uptake in a double cropping system”, *Environ. Pollut.*, 151, pp. 443~451. (2008).
6. An, N. H., Cho, J. R., Gu, J. S., Kim, Y. K. and Han, E. J., “Effect of fish meal liquid fertilizer application on soil characteristics and growth of cucumber (*Cucumis sativus* L.) for organic culture”, *J. Korea Org. Resour. Recycl. Assoc.*, 25, pp. 13~21. (2017).
  7. Cho, J. K., Ann, S. W., Kim, Y. C., Hwang, I. S., Kim, M. S., Lee, J. K. and No, H. Y., “Effect of seafood amino acid fertilizer and korean effective microorganisms on the leaf quality of *Perilla frutescens* var. *japonica*”, *J. Environ. Sci.*, 19, pp. 1301~1305. (2010).
  8. Kim, Y. S., Ham, S. K., Kim, T. S. and Jeong, H. S., “Effect of liquid fertilizer containing medium of *Lactobacillus confuse* and *Pichia anomala* on growth in creeping bentgrass”, *Kor. Turfgrass Sci.*, 22, pp. 185~196. (2008).
  9. 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”, *Hortic. Sci. Technol.*, 33, pp. 268~275. (2015).
  10. Yamada, K. and Xu, H. L., “Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective micro organisms”, *J. Crop Prod.*, 3, pp. 255~268. (2001).
  11. Lalande, R., Gagnon, B., Simard, R. R. and Cote, D., “Soil microbial biomass and enzyme activity following liquid hog manure application in a long-term field trial”, *Can. J. Soil Sci.*, 80, pp. 263~269. (2000).
  12. KMA, “Statistical analysis of climate”, Korea Meteorological Administration, KMA. (2018).
  13. RDA, “Analysis methods of soil and plant”, National Institute of Agriculture Science, RDA. (2010).
  14. Schloss, P. D., Westcott, S. L., Ryabin, T., Hall, J. R., Hartmann, M., Hollister, E. B., Lesniewski, R. A., Oakley, B. B., Parks, D. H., Robinson, C. J., Sahl, J. W., Stres, B., Thallinger, G. G., Van Horn, D. J. and Weber, C. F., “Introducing mothur: open-source, platform-independent, community supported software for describing and comparing microbial communities”, *Appl. Environ. Microbiol.*, 75, pp. 7537~7541. (2009).
  15. Papadopoulos, I., “Nitrogen fertigation of greenhouse-grown cucumber”, *Plant Soil*, 93, pp. 87~93. (1986).
  16. Lee, J. E., Yun, Y. U., Lee, J. I., Choi, M. T., Lee, D. S. and Nam, Y. G., “Effect of slurry composting and bio-filtration (SCB) by fertigation on soil chemical properties and growth of red pepper (*Capsicum annuum* L.)”, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 48, pp. 404~412. (2015).
  17. Soupir, M. L., Mostaghimi, S. and Yagow, E. R., “Nutrient transport from livestock manure applied to pastureland using phosphorous-based management strategies”, *J. Environ. Qual.*, 35, pp. 1269~1278. (2006).
  18. An, N. H., Ok, J. H., Cho, J. R., Shin, J. H., Nam, H. S. and Kim, S. C., “Effects of organic matter application on soil microbial community in a newly reclaimed soil”, *Korean J. Org. Agric.*, 23, pp. 767~779. (2015).
  19. Kanchikerimath, M. and Singh, D., “Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambiso in semiarid region of India”, *Agric. Ecosystems Environ.*, 86, pp. 155~162. (2001).
  20. Liu, M., Klemens, E., Zhang, B., Stephanie, I. J. H., Li, Z. P., Zhang, T. L. and Sabine, R., “Effect of intensive inorganic fertilizer application on microbial properties in a paddy soil of subtropical China”, *Agr. Sci. China*, 10, pp. 1758~1764. (2011).
  21. Kim, B. Y., Ahn, J. H., Song, J. K., Kim, M. S. and Weon, H. Y., “Comparative analysis of endophytic bacterial communities in the roots of rice grown under

- long-term fertilization practice using pyrosequencing method”, Korean J. Soil Sci. Fert., 45, pp. 1100~1107. (2012).
22. Güler, S. and Büyük, G., “Relationships among chlorophyll-meter reading value, leaf N and yield of cucumber and tomatoes”, ActaHortic., 729, pp. 307~311. (2007).
23. Oh, S. J. and Koh, S. C., “Assessment of heavy metal effects on the freshwater microalga, *Chlorella vulgaris*, by chlorophyll fluorescence analysis”, J. Environ. Sci. Int., 24, pp. 1591~1600. (2015).
24. Park, S. O., Park, K. W., Lee, G. P., Kim, M. J. and Lee, J. H., “Effects of soil conditioners on the growth of cucumber and tomato”, J. Bio-Environment Control, 13, pp. 194~199. (2004).