

## Research Report

## 생초미생물혼합액비의 시용이 방울토마토의 생육반응과 토양화학성에 미치는 영향

박지숙<sup>1†</sup>, 이민진<sup>1†</sup>, 이서연<sup>1</sup>, 김종성<sup>1</sup>, 이태규<sup>1</sup>, 노희명<sup>\*</sup>, 김상준<sup>2</sup>, 전승우<sup>2</sup>, 서상국<sup>2</sup>, 김길용<sup>3</sup>, 이건형<sup>4</sup>, 정병곤<sup>5</sup><sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부<sup>2</sup>(주)자연과 사람<sup>3</sup>전남대학교 응용생물공학부<sup>4</sup>군산대학교 생물학부<sup>5</sup>군산대학교 환경공학부

## Effect of Mixed Liquid Fertilization on Growth Responses of Cherry Tomatoes and Soil Chemical Properties

Ji-Suk Park<sup>1†</sup>, Min-Jin Lee<sup>1†</sup>, Seo-Youn Lee<sup>1</sup>, Jong-Sung Kim<sup>1</sup>, Tae-Kyu Lee<sup>1</sup>, Hee-Myong Ro<sup>1\*</sup>, Sang-Jun Kim<sup>2</sup>, Seung-Woo Jeon<sup>2</sup>, Sang-Gug Seo<sup>2</sup>, Kil-Yong Kim<sup>3</sup>, Geon-Hyoung Lee<sup>4</sup>, and Byung-Gon Jeong<sup>5</sup><sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology and Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea<sup>2</sup>Nature and people Co. Ltd., Gunsan 573-952, Korea<sup>3</sup>Department of Applied Bioscience and Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea<sup>4</sup>Department of Biology, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea<sup>5</sup>Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

**Abstract:** We evaluated the effect of mixed liquid fertilizer (MLF) on growth responses of plants and soil chemical properties. To do so, a pot experiment with cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) using loam soil was conducted for 81 days in a temperature-controlled glasshouse, and four N fertilization treatments were laid out in a completely randomized design with three replicates: control (C), chemical fertilizer treatment (CF), and two rates (MLF-0.5 and MLF-1.0) of MLF treatment. Soils were periodically sampled and analyzed for pH, EC, total N, inorganic N and total C, and growth characteristics of cherry tomatoes were measured. During the experimental periods, the pH of MLF soils was higher than that of CF soils. Soil total-N content increased right after CF-application and ultimately decreased to the level of the control (C) soil, while MLF-application slightly increased the level of soil total-N and this level remained unchanged throughout the experiment. The levels of soil inorganic N content increased after application of CF or MLF, but the initial increase disappeared in 56 days after transplanting (DAT). The dry weight of shoots and roots increased in CF or MLF plants, while the number of fruit increased only in MLF plants. Whereas soluble solid contents were higher in MLF plants than in the other (C and CF) plants, the titratable acidity was not different among treatments. However, no consistent effect of N treatments on major elements of the organs of cherry tomatoes was found. The amounts of N taken up by plants were 0.91 g for CF, 0.61 g for MLF-1.0, 0.43 g for MLF-0.5, and 0.25 g for control treatments, resulting in greater N efficiency for CF than for MLF.

**Additional key words:** dry weight, efficiency, growth characteristics, nitrogen uptake

\*Corresponding author: hmro@snu.ac.kr

†These authors contributed equally to this work.

※ Received 19 August 2014; Revised 16 November 2014; Accepted 3 December 2014. 본 연구는 농림수산식품기술기획평가원 연구사업(과제번호 : 311017-03-2-HD120)과 한국연구재단의 BK21사업 지원에 의해 수행되었음.

© 2015 Korean Society for Horticultural Science

## 서 언

환경오염과 친환경농업에 대한 관심이 증가함에 따라, 농림축산 부산물을 친환경적인 유기자원으로 재활용하여 화학비료를 대체하고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 유기부산물은 탄소와 질소 및 인을 상당량 함유하고 있어, 작물 생육과 결실에 필요한 양분을 공급할 수 있기 때문이다(Garcia et al., 1992; Hernandez et al., 2002). 우리나라에서도 가축분뇨, SCB(Slurry Composting and Biofiltration) 액비 등 농축산 부산물을 비료자원으로 활용하고자 하는 연구가 진행되었으며(Lee, 2012; Ro et al., 2008a, 2008b), 유럽 및 미국 등지에서도 다양한 연구가 수행되고 있다(Diacono et al., 2010; Goeschl and Lee, 1998).

또한 골프장과 같은 스포츠 산업분야에서 발생하는 유기성 부산물의 재활용에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다. 예를 들어, 잔디 예초물(생초: freshly-cut grass)은 건물중 기준으로 N, P 및 K 등 주요 영양분이 각각 3-5%, 0.5%, 2.0% 정도 포함되어 있기 때문에, 이러한 폐기물을 친환경적인 유기자원으로 재활용하려는 연구가 이루어지고 있다. 선행 연구에 따르면, 생초 퇴비는 자원의 효율적 이용과 더불어 친환경 농자재로서 적합(Ha et al., 2005)하다 하였으며, 생초와 유용미생물(EM)으로 제조한 액비를 사용하였을 때 토양탄소 개량효과와 식물의 생육이 좋아진다는 결과가 많은 연구에서 보고되고 있다(Cho et al., 2010; Kim et al., 2008; Verkleij, 1992; Yamada and Xu, 2001). 한편, Lee et al.(2012)은 잔디 예초물 혼합액비가 질소 공급원으로 질소질 비료 대체제로서의 가능성을 보고하였다.

지금까지 진행된 연구는 주로 미생물혼합액비의 비료화에 관한 연구에만 초점을 두었던 반면, 실제 토양에 사용하였을 때 작물이 이용하는 양분의 흡수양상에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 그러나 이러한 연구가 종합적으로 검토될 때에야 비로소 잔디 예초물을 재활용한 미생물혼합액비가 비료로서의 적합성을 입증할 수 있으리라 생각한다. 따라서 본 연구는 생초미생물혼합액비의 비료로서의 가치를 평가하고자, 생초미생물혼합액비 사용에 따른 토양의 화학성과 작물의 양분 흡수량, 수량 및 생육변화에 미치는 영향을 평가하고자 방울토마토를 재식한 포트실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 토양 및 생초미생물혼합액비

토양은 경기도 농업기술원 포장에서 채취한 양토(loam:

sand 49.7%, silt 31.4%, clay 18.9%)를 사용하였으며, 토양의 pH는 8.0, 전기전도도(EC)는  $0.11\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 총 탄소 함량은  $2.99\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 였으며, 총 인의 함량은  $0.14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 였다. 토양의 총 질소함량은  $0.17\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  정도로 낮았으며, 그 중 암모늄태 질소와 질산태 질소의 함량은 각각  $1.79\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  및  $2.60\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  정도였다.

본 연구에서는 전남대학교에서 개발한 생초미생물혼합액비(mixed liquid fertilizer, MLF)를 사용하였다. 이는 생초의 섬유소(cellulose)를 가장 효율적으로 분해하는 균주인 *Paenibacillus ehimensis* KWN38와 생초(freshly-cut grass)를 함께 배양하여 만든 것으로(Cho et al., 2012; Naing et al., 2014), 생초미생물혼합액비의 pH는 8.5, 전기전도도(EC)는  $2.08\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , 총 탄소 함량은  $3.98\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 였으며, 총 인의 함량은  $0.24\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 였다. 액비의 총 질소 함량은  $2.51\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 이며, 무기태 질소는 암모늄태 질소가  $1.00\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , 질산태 질소는 검출한계 이하였다. 무기태 질소의 대부분은 암모늄태 질소로 존재하고 있었는데, 이는 생초미생물혼합액비 제조 시 발효과정 중 유사호기발효(quasi-aerobic fermentation) 상태가 진행됨에 따라 유기태 질소의 대부분이 암모늄태 질소로 변환되었으나, 생초미생물혼합액비의 염기성이 높아(pH 8.5) 질산화 작용이 거의 일어나지 않았기 때문이라 판단하였다(Antoniou et al., 1990; Kaplan et al., 2000).

### 포트실험

포트실험은 경기도 수원시에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장의 유리온실에서 이루어졌다. 실험에 사용한 방울토마토(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) 모종은 아시아 종묘의 '베리킹'으로, 본엽이 9-11매 전개되고, 제 1화방의 꽃이 약 10% 정도 개화된 모종을 2012년 4월에 구입하여, 내경 31cm, 높이 30cm의 포트에 모종 2주씩을 이식하였으며, 유리온실에서 낮에는 25-27°C, 밤에는 15-18°C의 기온으로 81일동안 재배하였다. 시험 처리는 무처리를 포함하여, 화학비료 처리, 2수준의 생초미생물혼합액비 처리를 두었으며, 이를 3반복 완전임의 배치하였다. 화학비료는 ha당 질소(N)는 240kg, 인산( $\text{P}_2\text{O}_5$ )은 160kg, 칼리( $\text{K}_2\text{O}$ )는 240kg을 사용하였다. 생초미생물혼합액비 처리구는 토마토 권장 질소시비 수준(1배)과 그의 반량 수준(0.5배)으로 하였으며, 재배기간 동안 생초미생물혼합액비의 영양성분 변화를 추적하면서, 처리 수준에 맞추어 1주 분량의 액비 각각 약 66mL 및 33mL씩을 물 600mL에 희석하여 2-3일 간격으로 분주하여 관비하였다. 같은 시기에 무처리구와 화

학비료 처리구에도 동일한 양의 물을 처리하였다. 재배기간 동안 관비액은 토양수분조절구역(양토: 10-30cm) 내에서 조절되어, 포트 바닥으로 배수되지 않았으며, 모든 처리구의 용적토양수분함량( $\theta_v$ )은 평균적으로 토양수분장력 50kPa에 해당하는 약  $0.20 \pm 0.02 \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 를 유지하였다. 시험기간 동안 토양의 EC는  $0.28 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 을 넘지 않았다. 방울토마토는 총 81일간 재배하였으며, 생육기간 동안 토양 시료를 주기적으로 채취하여 화학성을 분석하였다.

### 생육 및 과일특성 조사 및 질소 이용률

방울토마토를 수확할 때, 수체의 초장과 과실의 수량은 현장에서 정하여 평균하였고, 과실의 건물중은 생체중을 측정한 후 건조기에 건조 후 측정하였다. 과실의 수량은 방울 토마토가 익을 때 마다 수확하여 누적 계산하였다. 과실의 가용성 고형분 함량은 굴절당도계(PR-32, Atago Corp., Japan)로 측정하였고, 산도는 과즙 5mL에 증류수 20mL를 혼합하고, pH 측정기(Orion 3 star, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 pH 8.2가 될 때까지 0.1N NaOH 수용액을 첨가한 뒤 얻은 수치를 citric acid로 환산하여 백분율로 나타내었다. 식물체 분석을 위한 시료는 수확 후 각 처리마다 줄기, 과실 및 뿌리로 분리하여 물로 세척한 후 70°C에서 건조하여 분석하였다. 이로부터 처리 별 질소 이용률은 Park et al.(2010)의 식을 이용하여 다음과 같이 계산하였으며, 양분유실 및 휘산 등에 의한 손실은 고려하지 않았다.

$$\text{질소 이용률(\%)} = (\text{처리 별 질소흡수량} - \text{무처리 질소흡수량}) / \text{처리별 질소시비량} \times 100$$

### 토양 및 식물체 분석

토양 및 식물체 분석은 토양화학분석법(NIAST, 2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하였다. 토양시료 채취(15-30cm) 때마다 무기태 질소, pH, EC, 총인, 총질소 및 총탄소의 함량을 분석하였다. 습윤 토양 시료 약 15g을 2M KCl 60mL로 침출한 후, 침출액을 Kjeldahl Protein/Nitrogen Analyzer (Kjltec Auto 1035/1038 System, Tecator AB, Sweden)를 이용하여 무기태 질소( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  및  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ) 농도를 분석하였다. 나머지 토양 시료를 상온에서 풍건시킨 후 2-mm 체를 통과한 토양을 화학분석에 사용하였다. 토양 pH는 풍건토 5g에 증류수 25mL를 가해서 1시간 진탕한 현탁액을 pH 측정기(Orion 3 star, Thermo Scientific, USA)로 측정하였다. 전기 전도도(EC) 측정을 위하여, pH 측정 후의 현탁액을 Whatman

No. 42 여과지로 거른 후 여액을 EC meter(PET-2000 Kombi, Stelzner GMBH, Germany)로 측정하였다.

토양과 식물체의 총질소와 총탄소 함량은 토양을 0.05mm 이하로 곱게 갈아 일부를 주석캡슐에 취한 뒤, Elemental Analyzer(Flash EA 2000, Thermo Scientific, Cambridge, UK)로 분석하였다. 총인은 0.05mm 이하로 곱게 간 토양 0.5g을 취해 Kjeldahl 분해관에 담고,  $\text{HNO}_3$  2.4mL와  $\text{HClO}_4$  2mL을 순차적으로 가하여 분해시킨 후, Whatman No.42 여과지로 거른 여액 5mL를 ammonium molybdate-ammonium metavanadate 용액 10mL를 넣고 30분간 발색 후 470nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다. 식물체의 칼륨(K), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca) 농도는 건조한 식물체를 분쇄기(MM400, Retsch GmbH & Co., Haan, Germany)로 곱게 갈아 균질화시킨 후, 각 부위별로 일부를 취해 Kjeldahl 분해관에서  $\text{H}_2\text{SO}_4$ - $\text{HNO}_3$ - $\text{HClO}_4$ (1:8:1)로 습식 분해하여 여과한 뒤, ICP-ES 730ES(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer, Varian, Australia)를 사용하여 분석하였다.

### 통계분석

SAS 9.3 software(SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 5% 유의수준에서 포트실험 기간 동안 화학성 변수에 대한 ANOVA를 실시하였고, Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 평균 간의 유의성을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

재배기간 동안 토양의 pH는 6.9-8.1의 범위였으며, 화학비료 처리구에서 가장 낮았던 반면 무처리구에서 가장 높았다(Table 1). 생초미생물혼합액비의 처리수준이 높을수록 토양의 pH는 더 낮았다. 토양에 시용한 암모늄태 질소는 질산화 작용에 의해 수소분자를 생성하기 때문에 토양의 pH가 낮아진 것이라 판단하였다(Havlin et al., 2005; Kang et al., 2011). 한편 토양의 EC는 무처리에 비해 생육초기에 화학비료와 생초미생물혼합액비의 처리에 의해 높아졌는데, 상승효과는 화학비료 처리에서 컸다(Table 1). 토양 EC 상승효과는 생초미생물혼합액비 1.0배처리구(MLF-1.0)를 제외한 다른 처리에서는 사라졌다. 이는 EC가  $2.1 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  정도로 높은 액비를 2주간격으로 시비하여 토양에 염류가 누적된 결과라 생각하였다.

토양의 총질소 함량은 화학비료 처리구에서는 초기에 다른 처리에 비해 높았으나 시간이 지남에 따라 감소하여 81

일째에는 무처리 수준으로 감소하였다(Table 2). 반면, 생초미생물혼합액비 처리에서는 처리 수준에 관계없이 재배기간 동안 거의 일정하게 토양의 총질소 농도가 유지되었으나, 81일째에 다른 처리에 비해 높았다. 이러한 현상은 액비 관비에 의해 무기태 질소가 주기적으로 토양에 공급되어, 작물의 흡수에도 불구하고 일정 수준으로 유지되었기 때문이라 생각하였다. 반면, 화학비료 처리구의 경우 시간이 지남에 따라 총 질소 함량이 감소하였는데, 이는 시간이 지남에 따라 급격히 감소하였던 토양 무기태질소 함량의 변화(Table 2)로 설명할 수 있었다.

생초미생물혼합액비 처리구의 경우, 제조 당시에 분석 시 식물이 이용 가능한 무기태 질소의 형태가 암모늄태 질소였던 것과는 달리, 시비 후 토양에서 질산태 질소가 증가한 것을 확인할 수 있었다. Lee et al.(2012)에 따르면 항온호기 배양 조건에서의 잔디예초물액비의 질소 무기화는 유기태 질소의 무기화보다, 기존 암모늄태 질소 농도의 감소와 함께 질산태 질소의 농도가 증가하는 패턴을 보였는데, 이는 본 연구결과와 유사하였다. 전반적으로 토양 중 무기태 질

소의 농도는 모든 처리구에서 유의적으로 감소하였고, 재배 81일째에는 모든 처리구에서 무처리의 수준까지 떨어져 차이가 없었다(Table 2).

한편, 총 탄소 함량은 무처리구와 화학비료 처리구에서 시간이 지남에 따라 별 다른 변화가 없었다(Table 3). 반면, 생초미생물혼합액비 처리의 경우 1.0배 처리구에서는 증가하였으나 0.5배 처리구에서는 변화가 없었다. 이 역시 생초미생물혼합액비의 높은 총 탄소 함량( $3.98\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )의 사용 결과라 생각하였다. 본 연구결과는 돈분액비를 토양에 사용하면 총탄소 함량이 증가한다는 다른 연구의 결과와도 일치하였다(Lee et al., 2011; Yadav et al., 2000).

생초미생물혼합액비 및 화학비료에 따른 방울토마토의 줄기, 과실의 생육은 유의적으로 차이가 있었다(Table 4). 방울토마토의 초장은 화학비료와 생초미생물혼합액비 처리간의 유의성은 없으며, 무처리구가 가장 낮았다. 줄기 및 가지의 건중량은 화학비료 처리에서 가장 높았고, 생초미생물혼합액비 처리 간에 유의적인 차이는 없었다. 뿌리의 건중량은 생초미생물혼합액비 처리 간에는 차이가 없었고, 화학

**Table 1.** Temporal variations in pH and EC of the soil after cultivation of cherry tomatoes.

Treatment <sup>z</sup>	pH (1:5)			EC (dS·m <sup>-1</sup> )		
	14 DAT <sup>y</sup>	56 DAT	81 DAT	14 DAT	56 DAT	81 DAT
C	8.0 a <sup>x</sup>	8.1 a	8.1 a	0.10 b	0.07 b	0.08 b
CF	7.7 b	6.9 b	7.3 c	0.23 a	0.08 b	0.07 b
MLF-0.5	7.8 a	7.8 a	8.0 ab	0.15 ab	0.06 b	0.12 b
MLF-1.0	7.8 a	7.5 ab	7.8 b	0.15 ab	0.12 a	0.28 a

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application of chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Days after transplanting.

<sup>x</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

**Table 2.** Temporal variations in concentrations of total N and inorganic N after cultivation of cherry tomatoes.

Treatment <sup>z</sup>	Total N (g·kg <sup>-1</sup> )			Inorganic Nitrogen (mg·kg <sup>-1</sup> )							
	14 DAT <sup>y</sup>	56 DAT	81 DAT	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	
				14 DAT	56 DAT	14 DAT	56 DAT	81 DAT	81 DAT		
C	0.13 b <sup>x</sup>	0.12 b	0.13 c	0.19 b	3.97 b	1.79 a	0.00 a	2.06 a	0.35 a		
CF	0.28 a	0.18 ab	0.16 bc	25.41 a	39.43 a	0.93 a	0.21 a	2.24 a	0.16 a		
MLF-0.5	0.15 ab	0.15 ab	0.17 b	0.39 b	13.65 b	3.80 a	0.36 a	3.31 a	0.36 a		
MLF-1.0	0.20 ab	0.20 a	0.20 a	0.90 b	13.28 b	1.36 a	0.53 a	0.56 a	0.11 a		

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application of chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Days after transplanting.

<sup>x</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

비료 처리에서 가장 높았다. 과실의 건중량은 화학비료와 생초미생물혼합액비 처리에 의해 유의적으로 증가하였으나, 비료 처리 간에 차이는 없었다. 반면, 과실의 수는 생초미생물혼합액비 1.0배처리구(MLF-1.0)에서 가장 많았으며, 화학비료처리와 생초미생물혼합액비 0.5배처리구(MLF-0.5)에서는 그 다음이었고, 무처리에서 가장 적었다. 이는 돈분뇨 액비를 화학비료의 시비 질소량과 같이 처리하였을 경우, 토마토의 수량과 생육량이 같았다고 보고한 연구결과와는 달랐다(Park et al., 2010).

과실의 당도는 무처리와 화학비료 처리구보다 생초미생물혼합액비 처리구에서 높았다. Park et al.(2012)은 배나무 재배 시 SCB액비를 사용하였을 때 당도 상승에 효과가 있다고 했다. 특히 Kim et al.(2013)은 방울 토마토 과실의 당도와 산도는 토양의 질소농도가 높아질수록 증가한다고 하였는데, 이는 토양의 높은 염류농도(EC)가 과실 비대기에 과실로의 수분이동을 제한하여 과실의 당도가 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 유사하게 생초미생물혼합액비 처리

구와 화학비료, 무처리구 간의 토양 EC 차이가 과실의 당도 차이를 유발했다고 판단하였다. 산도의 경우 모든 처리간에 차이를 보이지 않았는데(Table 4), 이는 SCB액비와 화학비료 처리 간 산도의 차이는 없다고 한 Kang et al.(2004) 연구와 유사한 경향이였다.

방울토마토 줄기, 과실, 뿌리의 총 탄소, 총 질소, 마그네슘, 칼슘 함량은 처리 별 차이가 없었다(Table 5). 이는 토마토와 오이의 성분 함량은 비료의 종류(화학비료와 돈분뇨액비) 및 양에 따라 차이가 없었다고 한 선행연구의 결과와 일치하였다(Choi 2008; Park et al., 2010, 2011). 반면, 칼륨 함량은 기관 별로 차이가 있었다. 줄기의 칼륨 함량은 생초미생물혼합액비 처리구가 무처리구, 화학비료 처리구보다 높았으나, 과실의 경우 질소처리에 의해 칼륨 함량이 낮아졌고, 뿌리는 처리 별 차이가 없었다. Papadopoulos(1986)은 식물의 양분흡수에서 경쟁구도를 가진 질소와 칼륨은 토양 내에 질소 농도가 증가할 때, 식물 내의 질소 함량은 증가하나 칼륨의 함량은 감소한다고 하여 본 연구결과를 뒷받침하고 있다.

방울토마토의 질소 흡수량과 이용률은 Table 6과 같다. 작물의 질소 흡수량은 화학비료처리가 가장 높았다. 이는 작물의 생육결과를 반영하는 건중량에 따라 질소의 흡수량이 결정되었다고 볼 수 있으며, 돈분뇨 액비를 처리하여 배추의 생육을 본 Ro et al.(2008a)의 연구결과와 비슷하였다. 한편, 생초미생물혼합액비를 처리한 수체의 질소 흡수량 역시 증가하였는데, 그 효과는 화학비료 처리보다 낮았다. 한편, 무처리구의 질소 흡수량을 기준으로 계산한 질소이용률 역시 생초미생물혼합액비 처리보다 화학비료 처리에서 높았다. Lee et al.(2006)은 화학비료와 돈분액비를 시비하여 재배한 양파에서 질소이용률은 4.2-13.0% 정도라 보고하였고, Park et al.(2010, 2011)은 토마토는 16.0-36.7%, 오이는 4.2-13.0% 정도였다고 보고하였다. 본 실험의 결과로부터 계

**Table 3.** Temporal variations in concentrations of soil total C after cultivation of cherry tomatoes.

Treatment <sup>z</sup>	Total C (g·kg <sup>-1</sup> )		
	14 DAT <sup>y</sup>	56 DAT	81 DAT
C	2.49 a <sup>x</sup>	2.03 b	2.21 b
CF	2.87 a	2.66 ab	2.43 b
MLF-0.5	2.49 a	2.25 ab	2.47 b
MLF-1.0	2.53 a	3.08 a	3.00 a

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Days after transplanting.

<sup>x</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

**Table 4.** Growth characteristics and fruit quality of cherry tomatoes.

Treatment <sup>z</sup>	Plant height (cm)	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)	Fruit dry weight (g)	No. of fruit (ea)	Soluble solid content (°Brix)	Titrateable acidity (%)
C	118.1 b <sup>y</sup>	24.1 c	1.9 c	42.1 b	30 c	6.0 b	1.1 a
CF	165.2 a	91.0 a	4.6 a	58.5 a	41 b	6.1 b	1.2 a
MLF-0.5	185.3 a	45.9 b	3.1 b	57.9 a	38 b	6.4 a	1.1 a
MLF-1.0	176.9 a	56.1 b	3.4 b	65.6 a	50 a	6.6 a	1.1 a

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application of chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

**Table 5.** Contents of major elements in cherry tomatoes.

Plant parts	Treatment <sup>z</sup>	Major elements				
		C (g·kg <sup>-1</sup> )	N (g·kg <sup>-1</sup> )	K (g·kg <sup>-1</sup> )	Mg (g·kg <sup>-1</sup> )	Ca (g·kg <sup>-1</sup> )
Shoot	C	384.3 a <sup>y</sup>	6.7 b	22.9 b	1.9 a	8.3 a
	CF	388.1 a	8.2 ab	20.4 b	1.4 a	7.7 a
	MLF-0.5	379.1 a	6.9 ab	28.6 a	2.1 a	8.9 a
	MLF-1.0	378.9 a	8.6 a	29.0 a	1.6 a	7.6 a
Root	C	335.9 a	8.1 b	16.4 a	3.1 b	14.4 a
	CF	337.8 a	12.3 a	17.8 a	2.5 b	9.5 b
	MLF-0.5	330.4 a	7.8 b	15.0 a	3.4 a	12.9 a
	MLF-1.0	357.0 a	8.8 b	12.8 a	3.6 a	14.4 a
Fruit	C	429.5 b	10.8 b	32.6 a	1.5 a	1.6 a
	CF	445.5 a	15.5 a	29.8 b	1.4 ab	1.6 a
	MLF-0.5	432.3 ab	11.2 b	30.4 b	1.3 bc	1.2 a
	MLF-1.0	436.7 ab	12.7 ab	29.8 b	1.2 c	1.3 a

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application of chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

**Table 6.** N uptake and N efficiency in cherry tomatoes.

Treatment <sup>z</sup>	N uptake (g/plant)	N efficiency (%)
C	0.25 d <sup>y</sup>	N.A. <sup>x</sup>
CF	0.91 a	18 a
MLF-0.5	0.43 c	10 b
MLF-1.0	0.61 b	10 b

<sup>z</sup>C: no fertilizer as control, CF: application of chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application of mixed liquid fertilizer at 0.9 and 1.8 g N/pot, respectively.

<sup>y</sup>Means in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

<sup>x</sup>Not available.

산한 화학비료 처리구와 생초미생물혼합액비 처리구의 질소이용률은 각각 18% 및 10%로 선행 연구의 결과와 비슷하였다(Table 6).

결론으로, 생초미생물혼합액비를 시비하였을 때 작물의 생육과 과실의 수량, 당도 및 산도가 증가하였다. 생초미생물혼합액비 처리 수준간 토양 화학성과 작물수량에 미치는 효과에는 차이가 있었으나, 질소이용률에서는 차이가 없었다. 이와 같은 결과를 종합하여 볼 때, 생초미생물혼합액비는 토양비옥도를 고려하여 적정량을 시비한다면 방울토마

토 재배 시 화학비료를 충분히 대체할 수 있는 비료자원으로 사용이 가능하다고 판단하였다.

## 초 록

방울토마토(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)의 생육반응과 토양화학성에 미치는 생초미생물혼합액비(MLF)의 효과를 평가하기 위하여, 유리온실에서 포트실험을 81일 동안 수행하였다. 시비효과를 비교하기 위하여 3반복의 4처리[무처리(C), 화학비료처리(CF) 및 2수준의 생초미생물혼합액비처리(MLF-0.5 및 MLF-1.0)]를 완전임의 배치하였다. 토양시료는 주기적으로 채취하여 pH, EC, 총질소, 무기태질소, 총탄소를 분석하였고, 방울토마토의 생육특성을 조사하였다. 토양 pH는 무처리에서 가장 높았고, 화학비료처리에서 가장 낮았다. 생초미생물혼합액비처리한 토양의 pH는 중간이었으나, 시비수준이 높은 경우 pH는 더 높았다. 토양 염류도(EC)는 질소처리(CF 및 MLF)에 의해 증가하였는데, 이러한 증가효과는 MLF-1.0 처리를 제외한 모든 처리에서 사라졌다. 토양의 총질소함량은 화학비료처리의 경우 즉시 증가하였다가 81일째에는 무처리수준까지 떨어졌으나, 생초미생물혼합액비처리의 경우 약간 높아져 재배기간 동안

거의 일정한 수준으로 유지되었다. 또한 무기태 질소의 농도는 질소처리에 의해 증가하였으나, 초기 증가효과는 56일째에 사라졌다. 토양의 총 탄소 함량은 초기(14일)에는 처리별 차이가 없었으나, 시험종료시점에 MLF-1.0 처리에서 다른 처리에 비해 더 높았다. 질소처리는 줄기 및 뿌리의 건중량, 초장, 과실의 수를 증가시켰으나, 과실의 건중량은 단지 생초미생물혼합액비처리에 의해서만 증가하였으며, 과실의 당도 또한 생초미생물혼합액비 처리구가 화학비료에서 높았다. 그러나, 방울토마토의 기관별 주요 양분 함량에 미치는 처리효과에는 어떤 특별한 경향이 없었다. 작물이 흡수한 주당 질소의 양은 각각 화학비료처리에서 0.91g, MLF-1.0 처리에서 0.61g, MLF-0.5처리에서 0.43g이었으며, 질소이용률은 화학비료처리에서 18%, 생초미생물혼합액비처리에서 10%이었다.

**추가 주요어 :** 건중량, 이용률, 생육특성, 질소흡수

## 인용문헌

- Antoniou, P., J. Hamilton, B. Koopman, R. Jain, B. Holloway, G. Lyberatos, and S.A. Svoronos. 1990. Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. *Water Res.* 24:97-101.
- Cho, J.K., S.W. Ann, Y.C. Kim, I.S. Hwang, M.S. Kim, J.K. Lee, and H.Y. No. 2010. Effect of seafood amino acid fertilizer and korean effective microorganisms on the leaf quality of *Perilla frutescens* var. *japonica*. *J. Environ. Sci.* 19:1301-1305.
- Cho, S.J., Y.S. Lee, S.J. Kim, K.Y. Kim, B.K. Jeong, H.M. Ro, and G.H. Lee. 2012. Identification of cellulolytic bacteria from the grasses by 16S rDNA analysis. *Kor. J. of Nature Conservation.* 6:49-53.
- Choi, J.K. 2008. Effect of liquid pig manure on horticultural crop and soil environment. Annual Rpt. on Natural Cycle Agr. Res. (RDA). Natural Recycle Agr. Res. Project Team. 95-103.
- Diacono, M. and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *A Rev. Agron. for Sustainable Dev.* 30:401-422.
- Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1992. Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste. *Environ. Mgt.* 16:763-768.
- Goeschl, R. and H.K. Lee. 1998. Recent tendency to organic waste treatment in Europe. *J. Korea Organ. Resour. Recycl. Assoc.* 6:4-14.
- Ha, S.M., K.W. Chang, K.P. Han, J.H. Hong, and J.J. Lee. 2005. Changes of physico-chemical properties and maturity assessment during composting of turfgrass clipping types from the golf courses. *J. Korea Organ. Resour. Recycl. Assoc.* 13:89-99.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers.* 7<sup>th</sup> ed. Pearson Educ. NJ. USA. 124.
- Hernandez, T., R. Moral, A. Perez-Espinosa, J. Moreno-Caselles, M.D. Perez-Murcia, and C. Garcia. 2002. Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 83:213-219.
- Kang, B.G., H.J. Kim, G.J. Lee, and S.G. Park. 2004. Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 37:388-395.
- Kang, H.J., S.H. Yang, and S.C. Lee. 2011. Effects of liquid pig manure on growth of potato, soil chemical properties and infiltration water quality. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 44:1130-1136.
- Kaplan, D., R. Wilhelm, and A. Abeliovich. 2000. Interdependent environmental factors controlling nitrification in waters. *Water Sci. Technol.* 42:167-172.
- Kim, E.Y., B.J. Park, and M.M. Oh. 2013. Availability of Slurry Composting and Biofiltration for Cultivation of Cherry Tomato. *Protected Hort. and Plant Factory.* 22:385-391.
- Kim, Y.S., S.K. Ham, T.S. Kim, and H.S. Jeong. 2008. Effect of liquid fertilizer containing medium of *Lactobacillus confuse* and *Pichia anomala* on growth in creeping Bentgrass. *Kor. Turfgrass Sci.* 22:185-196.
- Lee, J.T., I.J. Ha, H.D. Kim, J.S. Moon, W.I. Kim, and W.D. Song. 2006. Effect of liquid pig manure on growth, nutrient uptake of onion, and chemical properties in soil. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 24:148-156.
- Lee, S.B., K.M. Cho, C.H. Yang, Y.J. Oh, T.I. Park, and K.J. Kim. 2011. Effects of split application of SCB liquid fertilizer on rice yield and soil chemical property in honam plain field. *Kor. J. Crop Sci.* 56:140-145.
- Lee, S.K. 2012. Effects of liquid fertilizer produced from fermented clippings for Kentucky bluegrass. *Asian J. Turfgrass Sci.* 26:67-71.
- Lee, T.K., J.S. Park, M.J. Lee, J.S. Kim, H.M. Ro, S.J. Kim, S.W. Jeon, S.G. Seo, K.Y. Kim, G.H. Lee, and B.G. Jeong. 2012. Variation Patterns in Concentration of Inorganic Nitrogen from Liquid Grass Fertilizer during Aerobic Incubation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45:1120-1125.
- Naing, K.W., M. Anees, X.H. Nguyen, Y.S. Lee, S.W. Jeon,

- S.J. Kim, M.H. Kim, and K.Y. Kim. 2014. Biocontrol of Late Blight Disease (*Phytophthora capsici*) of Pepper and the Plant Growth Promotion by *Paenibacillus ehimensis* KWN38. *J. of Phytopathol.* 162:367-376.
- NIAS (National Institute Agricultural Science & Technology). 2000. The methods of soil and plant analysis. *Natl. Inst. Agr. Sci. and Technol.* Suwon, Korea. 103-146.
- Papadopoulos, I. 1986. Nitrogen fertigation of greenhouse-grown cucumber. *Plant and Soil.* 93:87-93.
- Park, J.M., T.J. Lim, S.B. Kang, I.B. Lee, and Y.I. Kang. 2010. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 43:610-615.
- Park, J.M., T.J. Lim, S.E. Lee, and I.B. Lee. 2011. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and growth and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 44:194-199.
- Park, J.M., T.J. Lim, and S.E. Lee. 2012. Effect of Pig Slurry Application on the Mineral Content of Leaf, Fruit Quality and Soil Chemical Properties in Pear Orchard. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45:209-214.
- Ro, H.M., H.J. Choi, S.I. Yun, M.J. Lee, J.M. Kim, H.L. Choi, and K. Zhu. 2008a. Growth of Chinese cabbage and losses of non-point sources from runoff and leaching in soils as affected by anaerobically digested liquid pig slurry. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 41:112-117.
- Ro, H.M., L.S. Kim, M.J. Lee, H.J. Choi, and C.H. Park. 2008b. Soil moisture regime affects variation patterns in concentration of inorganic nitrogen from liquid swine manure during aerobic incubation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 41:34-37.
- Verkleij, F.N. 1992. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a Review. *Biol. Agr. Hortic.* 8:309-324.
- Yadav, R.L., B.S. Dwivedi, and P.S. Pandey. 2000. Yield trend and changes in soil organic-C and available NPK in a longterm rice-wheat system under integrated use of manure and fertilizer. *Field Crops. Res.* 68:219-246.
- Yamada, K. and H.L. Xu. 2001. Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganisms. *J. Crop Prod.* 3(1):255-268.