

Effect of Mixed Liquid Fertilization on Growth Responses of Red peppers and Soil Chemical Properties

Ji-Suk Park, Min-Jin Lee, Seo-Youn Lee, Jong-Sung Kim, Tae-Kyu Lee, and Hee-Myong Ro*

Department of Agricultural Biotechnology and Research Institute of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

(Received: April 27 2015, Revised: June 26 2015, Accepted: June 26 2015)

We evaluated the effect of mixed liquid fertilizer (MLF) on growth responses of plants and soil chemical properties. A pot experiment with red pepper (*Capsicum annuum* L.) 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 (Electrical Conductivity), total N, inorganic N and total C, and some growth characteristics of red peppers were measured. During the experimental periods, the pH of MLF soils was higher than that of CF soils. Soil EC increased right after application of CF or MLF, and the initial increase persisted in CF and MLF soils at the end of experiment. Soil total-N increased right after application of CF or MLF, and this initial increase persisted only in MLF-1.0 soils. Soil inorganic N content initially increased in CF or MLF-1.0 soils, but the initial increase disappeared in 56 days after transplanting. Soil total-C was maintained higher in MLF-1.0 soils and lower in CF soils than in control soils, and the initial increase in MLF-1.0 soils finally disappeared to the level of control soils. Plant height, dry weight of plant organs (shoots, roots and fruit), and the number, diameter and length of red pepper fruits were greatest in CF plants. On the other hand, the effect of MLF-application was different depending on the rate of application. However, no consistent effect of N treatments on some major elements of the organs of red peppers was observed. The amounts of N taken up by plants were 1.3 g for CF, 0.8 g for MLF-1.0, 0.5 g for MLF-0.5 and 0.4 g for control treatments. The results of this study showed that mixed liquid fertilizer (MLF) could appropriately serve as an alternative to chemical N fertilizer in red pepper cultivation.

Key words: Dry weight, Efficiency, Freshly-cut grass, Growth characteristics, Nitrogen Uptake

Contents of some major elements at red peppers.

Plant parts	Treatment ^z	Major elements				
		C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
Shoots	C	441.8 a ^y	5.1 a	39.0 a	1.7 a	7.6 a
	CF	437.4 a	7.8 a	31.6 b	1.4 b	8.0 a
	MLF-0.5	423.9 a	8.1 a	37.0 ab	1.8 a	8.5 a
	MLF-1.0	433.2 a	7.0 a	35.5 ab	1.9 a	7.8 a
Roots	C	383.8 a	9.9 a	21.8 a	1.4 ab	22.1 a
	CF	353.2 a	11.7 a	11.1 b	1.6 ab	22.2 a
	MLF-0.5	410.9 a	10.5 a	15.9 ab	1.3 b	22.1 a
	MLF-1.0	346.0 a	10.3 a	14.3 ab	1.7 a	20.7 a
Fruit	C	467.7 a	17.7 a	32.2 a	1.4 a	1.4 ab
	CF	467.3 a	21.3 a	30.5 b	1.4 ab	2.0 a
	MLF-0.5	465.6 a	17.5 a	31.8 ab	1.3 b	1.1 b
	MLF-1.0	469.5 a	21.6 a	32.0 ab	1.3 ab	1.3 ab

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test (p<0.05).

*Corresponding author : Phone: +8228804655, Fax: +8228733112, E-mail: hmro@snu.ac.kr

§Acknowledgement: This research was funded not only by the Brain Korea 21 program of the Ministry of Education, Science and Technology in Korea but also by the support of Research Program for Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (Project No. 311017-03-2-HD120) in Korea.

Introduction

런던 의정서의 발효로 해양 투기가 금지되고, 세계적으로 폐기물 처리에 관한 규제가 강화되고 있다 (IMO, 1996; Westerman and Bicudo, 2005). 유기부산물은 상당량의 질소와 인, 그리고 유기탄소를 함유하고 있기 때문에 수생태계에 유출되었을 경우 부영양화와 같은 환경오염을 야기하지만, 토양에 재활용할 경우 지속적으로 양분을 공급할 수 있다는 이점을 갖고 있다 (Garcia et al., 1992). 이에 따라 유기부산물을 이용한 퇴비, 토양 개량제 등으로 만들어 활용하는 연구가 다방면으로 수행되고 있다 (Goeschl and Lee, 1998; Kwon et al., 2010; Seong et al., 1998).

최근 유럽, 미국 등지에서는 유기부산물의 처리 시 규제가 강화되어, 이에 대응하기 위한 다양한 처리 방법이 연구되고 있으며 (Aracon et al., 2005; Artiola and pepper, 1992; Casado-vela et al., 2007; Dauden and Quilez, 2004; Flores et al., 2009), 이러한 세계의 연구 동향에 발맞추어 우리나라에서도 양분을 다량 함유하고 있는 농축산 유기부산물을 비료로 활용하는 연구를 진행하고 있다. 그 중 유기자원으로서 활용가능성이 높은 가축분뇨의 재활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다 (Kang et al., 2004; Kwon et al., 2010; Ro et al., 2008).

Kwon et al. (2010)에 따르면 가축분뇨 액비를 논에 사용하였을 때, 벼의 생육과 수량, 품질에 있어서 화학비료와 대등한 효과가 있었으며, Lim et al. (2010)은 고추에 관비 시비하였을 때에도 생육과 수량면에서 화학비료와 차이가 없어 가축분뇨 액비를 화학비료의 대체제로 평가하였다. 옥수수 재배지에서는 가축분뇨 퇴액비는 단기간에 토양화학성에 미치는 특이한 영향은 없으나, 장기간 사용할 경우 중금속 집적으로 인한 환경위해성을 검토할 필요가 있다고 하였다 (Kim et al., 2011).

우리나라에서는 가축분뇨에 의한 환경오염부하를 줄이고, 냄새와 사용상의 불편을 줄이는 하나의 방안으로 가축분뇨를 퇴비단여과 (SCB: Slurry Composting and Biofiltration) 액비로 만들어 비료로 활용하는 연구를 수행하고 있다 (Kim et al., 2012; Lee et al., 2012a; Ro et al., 2008). SCB액비는 배추, 고추, 토마토, 오이 재배에서 질소질 비료로서 활용가치가 높았을뿐만 아니라 (Park et al., 2012), 유기물질의 순환을 원활히 하는 측면에서도 매우 중요하였다 (Lee et al., 2003). 물론 장기간 사용하였을 때, 영양염류, 중금속 및 미량원소가 토양에 집적되는 문제가 발생할 가능성도 배제하지는 않았다 (Kang et al., 2011).

그러나 유기부산물은 농축산업 분야뿐만 아니라 골프장과 같은 스포츠 산업분야에서도 발생한다. 우리나라의 골프장면적은 2004년 199.4 km²에서 2010년 327 km²으로 증가하여 잔디 관리에 따른 잔디예초물 (생초: freshly-cut grass)

의 발생이 급증하였다 (MOE, 2010). 따라서 과거에는 사업장 폐기물로 분류되어 매립 또는 소각했던 잔디예초물을 최근에는 친환경적으로 재활용하려는 노력이 이뤄지고 있다 (MOE, 2010). 이러한 노력의 하나로 잔디예초물을 액비로 만들어 농업에 활용하는 방안이 제시되었다. 잔디예초물로 만든 액비는 토양의 입단화를 촉진시켜 통기성과 투수성을 좋게 할 뿐만 아니라 (Kim et al., 2013), 무기태 질소의 공급원으로서의 역할도 충분히 할 수 있다 (Lee et al., 2012b). 그러나 잔디예초물로 만든 액비는 그 자체로 생소할 뿐만 아니라, 이의 시용이 작물의 생육과 토양 이화학성에 미치는 영향에 대한 연구 역시 매우 미흡하다. 또한 액비 제조방법의 다양성으로 인하여 성분 함량의 조성 차이가 크므로, 적정시용량에 대한 기준 마련 또한 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 잔디 예초물 혼합액비가 질소질 비료 대체제로서의 가능성을 평가하기 위해, 잔디 예초물에 섬유소 (cellulose) 분해율이 높은 균주인 *Paenibacillus ehimensis* KWN 38을 접종하여 호기발효시켜 만든 생초미생물혼합액비 (Mixed Liquid Fertilizer, MLF)를 이용하여, 토양과 작물에 미치는 영향을 포트실험을 통해 평가하였다. 이를 위해, 고추 포트에 생초미생물혼합액비를 사용하여 토양 화학성의 경시적인 변화를 추적하고 고추의 생육반응을 분석하였다.

Materials and Methods

토양 및 생초미생물혼합액비 공시토양은 경기도 농업기술원 포장에서 채취한 것으로, 토성은 양토 (loam: 모래 49.7%, 미사 31.4%, 점토 18.9%)이고 pH와 전기전도도 (EC)가 각각 8.0과 0.11 dS m⁻¹였다. 총탄소, 총인 및 총질소는 각각 2.32 g kg⁻¹, 0.06 g kg⁻¹, 0.12 g kg⁻¹으로 우리나라 일반 경작지 토양의 성분 함량보다 낮았다 (NIAST, 2000). 무기태 질소의 경우 암모늄태 질소 (NH₄⁺-N)와 질산태 질소 (NO₃⁻-N)가 각각 0.8 mg kg⁻¹, 5.1 mg kg⁻¹로 총질소의 0.6%, 4.2%였다.

생초미생물혼합액비는 전남대학교에서 개발한 것으로, 섬유소 분해를 효율적으로 하는 균주 *Paenibacillus ehimensis* KWN38를 잔디예초물과 함께 배양하여 만들었다 (Cho et al., 2012). 생초미생물혼합액비의 pH는 8.5, EC는 2.08 dS m⁻¹, 총탄소 함량은 3.98 g L⁻¹였고, 총인의 함량은 0.24 g L⁻¹였다. 총질소는 2.51 g L⁻¹였고 무기태 질소로 암모늄태 질소는 1.00 g L⁻¹인 반면 질산태 질소는 검출한계 이하로 나타났다. 무기태 질소의 대부분이 암모늄태 질소 형태로 존재하였는데, 이는 생초미생물혼합액비 제조 과정 중, 유사 호기 발효 (quasi-aerobic fermentation)에서 유기태 질소가 암모니아화 (ammonification)를 통해 암모늄태 질소로 변환되었으나 혐기성인 액비 현탁액에서 질산화 작용이 저해

되어 질산태 질소가 거의 존재하지 않은 것으로 판단된다 (Antoniou et al., 1990; Kaplan et al., 2000).

포트실험 경기도 수원시에 위치한 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장의 유리온실에서 포트실험을 수행하였다. 실험에 사용한 고추 (*Capsicum annuum* L.) 모종은 현대 종묘의 '암행어사'로, 본엽이 10~11매 전개된 모종을 2012년 4월에 구입하여, 배수 구멍이 있는 포트 (내경 31 cm, 높이 30 cm) 당 2주씩 이식하였다. 이를 낮에는 25~27°C, 밤에는 15~18°C의 기온이 유지되는 유리온실에서 81 일동안 재배하였다. 시험 처리는 무처리 (C, 무시비 처리)를 포함하여 화학비료 처리 (CF), 2수준의 생초미생물혼합액비 처리 (MLF-0.5 및 MLF-1.0)로 하였으며, 이를 3반복 완전 임의 배치하였다. 화학비료 처리구는 ha당 질소 (N) 190 kg, 인산 (P_2O_5) 112 kg, 칼리 (K_2O) 149 kg를 포트의 면적 (754.4 cm^2)으로 환산하여, 요소, 용성인비, 염화加里로 사용하였다. 생초미생물혼합액비 처리구는 화학비료 처리구의 질소를 기준으로 동일한 질소시비 수준 (1배)과 그의 반량 수준 (0.5배)으로 두었다. 시험기간 동안 생초미생물혼합액비의 영양성분 변화를 추적하면서, 처리 수준에 맞추어 1주 분량의 액비를 각각 약 52 mL, 26 mL씩 물 600 mL에 희석하여 2~3일 간격으로 분주하여 관비하였다. 같은 시기에 무처리구와 화학비료 처리구에도 동일한 양의 물을 처리하였다. 시험기간 동안 관비액은 토양수분조절구역 (양토: 10~30 cm) 내에서 조절되어, 포트 바닥으로 배수되지 않았으며 모든 처리구의 용적토양수분함량 (θ_v)은 평균적으로 토양수분장력 50 kPa에 해당하는 약 $0.20 \pm 0.02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 를 유지하였다. 시험 종료 시기 (고추 최종 수확) 일주일 전까지 관비 및 물 조절을 하였다. 시험기간 동안 토양의 EC는 0.30 dS m^{-1} 을 넘지 않았다. 고추는 총 81일간 재배하였고 시험기간 동안 토양을 주기적으로 채취하여 화학성을 분석하였으며, 시험 종료 후 고추를 최종 수확하여 기관 별 건물중 및 구성성분 함량을 분석하였다.

토양 및 식물체 분석 시험 기간 동안 주기적으로 채취한 토양의 무기태질소 (NH_4^+-N , $NO_3^- -N$), pH, EC, 총탄소, 총질소, 총인을 분석하였다. 채취한 습윤 시료는 2 M KCl로 침출하여 질소자동분석기 (Kjeltec Auto 1035/1038 System, Tecator AB, Sweden)로 무기태질소를 분석하였다. 나머지 분석 항목은 토양 시료를 상온에서 풍건한 후, 2 mm 체를 통과시킨 것을 사용하였다. pH는 풍건토와 증류수를 1:5 비율로 희석하여 pH meter (Orion 3 star, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하였으며, EC는 pH를 측정할 현탁액을 Whatman No. 42 여과지에 거른 후, EC meter (PET-2000 Kombi, stelzner GMBH, Germany)로 측정하였다. 풍건토의 일부를 0.05 mm 이하로 곱게 갈아 총탄소, 총

질소 및 총인을 분석하였다. 총탄소와 총질소 함량은 간 토양 일부를 주석캡슐에 취해 원소분석기 (FlashEA 2000, Thermo Scientific, Cambridge, UK)로 분석하였고, 간 토양을 질산과 과염소산으로 분해 후, ammonium molybdate-ammonium metavanadate 용액으로 발색시켜 자외-가시광선 분광광도계 (UV-1601, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 470 nm에서 흡광도를 측정하여 총인을 분석하였다 (Lindner and Harley, 1942).

고추를 최종 수확하여 기관 (경엽, 뿌리, 과실) 별로 분리하였다. 경엽의 길이로 수고를 측정하였고, 수체의 각 부위를 물로 세척한 후 70°C 건조기에서 항중이 될 때까지 건조 후 건물중을 측정하였다. 과실은 고추가 익을 때 마다 수확하여 개수한 후 합산하였고, 개개의 길이와 직경을 측정하였다. 건조된 고추의 각 기관은 믹서기를 이용하여 5 mm 이하로 간 후에 일부를 취해 분쇄기 (MM301, Reisch GmbH & Co., Haan, Germany)에 곱게 갈아 구성성분 함량을 분석하였다. 원소분석기 (FlashEA2000, Thermo Scientific, Cambridge, UK)로 총탄소와 총질소를 분석하였고, 간 시료의 일부를 Kjeldahl 분해관에서 $H_2SO_4-HNO_3-HClO_4$ (1:8:1)로 습식 분해하여 여과한 뒤, ICP-ES 730ES (Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer, Varian, Australia)를 사용하여 칼륨, 마그네슘, 칼슘의 함량을 측정하였다. 고추 기관 별 건물중 및 질소함량으로 처리별 질소 이용률은 Park et al. (2010)의 식을 이용하여 다음과 같이 계산하였으며, 양분유실 및 휘산 등에 의한 손실은 고려하지 않았다. Park et al. (2010) 식은 다음과 같다.

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

통계분석 SAS 9.3 Software (SAS Institute, Cary, USA)를 이용하여 5% 유의수준에서 일원배치 분산분석 (One-way ANOVA)을 실시하였고, Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 평균간의 유의적인 차이를 분석하였다.

Results and Discussion

생초미생물혼합액비 처리 후 토양 pH는 처리 수준에 관계없이 7.8~8.1이었다 (Table 1). 시험 초기 화학비료 처리로 토양 pH는 감소하였는데, 이는 화학비료 내 암모늄태 질소의 질산화작용에 의한 것으로 판단하였으며 (Bolan et al., 1991), 이는 시기에 따라 암모늄태 질소의 함량이 감소하고 질산태 함량이 증가한 결과와 일치한다 (Table 2). 81일의 화학비료 처리구 (CF)의 pH는 다소 증가하였으며, 생초미생물혼합액비 1배 처리구 (MLF-1.0)와 같은 수준의 pH가 되었다. 토양의 EC는 시험 초기에 화학비료와 MLF-1.0처

Table 1. Temporal variations in pH and EC of the soil after cultivation of red peppers.

Treatment ^z	pH (1:5)			EC (dS m ⁻¹)		
	14 DAT ^y	56 DAT	81 DAT	14 DAT	56 DAT	81 DAT
C	7.9 a ^x	8.2 a	8.1 a	0.11 c	0.08 b	0.08 b
CF	7.7 b	7.6 c	7.9 b	0.30 a	0.09 ab	0.10 ab
MLF-0.5	7.9 a	7.9 b	8.1 a	0.13 c	0.11 ab	0.11 ab
MLF-1.0	7.8 ab	7.9 b	7.9 b	0.20 b	0.12 a	0.13 a

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yDays after transplanting.

^xMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

리구에 의해 증가하였으나, 각각 0.20 dS m⁻¹와 0.30 dS m⁻¹으로 작물의 생육에 영향을 미치는 정도는 아니었다 (Table 1) (Bernstein, 1975). 비료 처리에 의해 증가한 토양 EC는 시간이 지남에 따라 감소하여 무처리와 유의적인 차이는 없었으나, MLF-1.0처리구에서는 무처리 (C)보다 여전히 높았다 (Table 1). 생초미생물혼합액비의 EC가 2.08 dS m⁻¹로 높았으나 관비로 시비하였기 때문에 생초미생물혼합액비 처리구에서 EC가 크게 증가하지 않은 것으로 판단할 수 있었다.

화확비료와 생초미생물혼합액비 처리에 의해 토양 내 총 질소 함량은 시험 초기에 증가하였다가, 처리 56일 CF처리구와 MLF-0.5처리구에서 대조구 수준으로 감소하였으나 MLF-1.0처리구에서는 거의 변하지 않았다 (Table 2). 14일의 토양 내 총질소 함량은 전량 기비로 시비한 CF처리구와 관비형태로 나눠 주는 MLF-1.0처리구가 같은 수준을 보였으나, 81일에는 두 처리구 모두 감소하였으며 CF처리구의 감소 폭이 높았다. 이는 생초미생물혼합액비 처리구는 질소가 관비에 의해 지속적으로 토양에 공급되었기 때문이며, 생초미생물혼합액비 내에 존재하는 유기질소와 총탄소 함량 변화에 의한 영향 때문이라 판단된다. 그러나 MLF-0.5처리구에서는 공급된 총질소량이 상대적으로 적었으므로, 토양 총질소함량이 CF처리구 수준으로 떨어졌다고 판단하였다.

무기태질소 함량의 경우 CF처리와 MLF-0.5처리에 의해 시험 초기에 유의적으로 증가하였다 (Table 2). 작물이 생장함에 따라 무기태질소 함량이 크게 낮아졌는데, 특히 작물이 선호하는 질산태 질소 함량의 감소가 더 컸다 (Table 2) (Heckman, 2002). 생초미생물혼합액비의 무기태질소는 대부분이 암모늄태 질소로 있었지만, 생초미생물혼합액비 처리구 토양의 초기 무기태질소는 대부분 질산태 질소 형태로 존재하였다 (Table 2). 이 결과는, 생초의 발효로 만들어진 액비 내 암모늄태 질소는 양토에서 빠른 시간 내에 대부분이 질산태 질소로 전환된다는 선행 연구 결과와 일치하였다 (Lee et al., 2012b). 시험 종료 시에 생초미생물혼합액비 처리구의 암모늄태질소 함량이 다소 증가하였는데 (Table 2), 이는 시험기간동안 일정한 양의 질소가 관비에 의해 시험종료 일주일 전까지 공급되었던 결과라 생각하였다. 그러나 시험 종료 시기는 생식생장기로, 영양생장기보다 식물체의 질소요구량이 낮아져 나타날 수 있는 가능성도 있다고 판단할 수 있었다 (Novoa and Loomis, 1981).

CF처리에 의해 토양 내 총탄소 함량은 낮아졌다 (Table 3). 그러나 생초미생물혼합액비 처리구의 경우 총탄소함량의 변화 양상은 처리수준에 따라 달랐다. MLF-0.5처리구에서는 초기에 C처리구보다 증가하였으나 시험 종료 시점인 81일에는 감소하였던 반면, MLF-1.0처리구는 시험기간동

Table 2. Temporal variations in concentrations of total N and inorganic N after cultivation of red peppers.

Treatment ^z	Total N (g kg ⁻¹)			Inorganic N (mg kg ⁻¹)							
	14 DAT ^y	56 DAT	81 DAT	NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N		NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ ⁻ -N	
				14 DAT		56 DAT		81 DAT			
C	0.11 c ^x	0.09 b	0.08 c	0.16 c	7.70 c	0.61 c	0.07 b	0.14 c	0.15 c		
CF	0.20 a	0.14 b	0.13 b	45.16 a	21.68 a	2.83 a	1.74 a	0.14 c	0.13 c		
MLF-0.5	0.16 b	0.13 b	0.14 ab	0.17 c	7.55 c	0.94 b	0.37 b	3.03 b	0.84 a		
MLF-1.0	0.20 a	0.19 a	0.18 a	6.80 b	16.30 b	1.67 b	1.74 a	5.46 a	0.49 b		

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yDays after transplanting.

^xMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

안 지속적으로 높게 유지되었으나 실험 종료 시점에는 C처리구와 비슷한 수준이었다. 이러한 생초미생물혼합액비의 처리수준 별 총탄소함량 변화의 차이는 관비에 의한 탄소공급 양의 차이와 탄소의 분해에 따라 결정된다 생각할 수 있으나, 이 연구 결과는 이러한 차이를 설명하기에는 부족하였다 (Table 3). 질소, 인 등의 무기태 형태만 존재하는 화학비료의 사용은 토양의 유기탄소 함량을 감소시키나, 일반적으로 유기질이 함께 있는 퇴비의 사용은 오히려 토양의 유기탄소함량을 증진시키고, 탄소격리에 유리한 토양 입단화를 촉진한다고 알려져 있다 (Larney and Angers, 2012; Su et al., 2006). 또한 가축분뇨로 만든 액비 역시 유기성분의 투입으로 토양탄소 함량을 증가시킨다 (Yadav et al., 2000). 본 연구에서 생초미생물혼합액비가 비록 토양탄소 함량을 유의적으로 증가시키진 않았으나, 토양탄소 함량을 일정 수준으로 유지하는 효과가 있었다. 따라서 생초미생물혼합액비 사용은 토양 비옥도 및 탄소 관리 측면에서 화학비료 보다 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단하였다.

화학비료는 고추의 생육을 유의적으로 증진시켰는데, 측정된 모든 생육 변수의 값이 가장 높았다 (Table 4). 고추의 수고는 CF처리구에서 144.7 cm, MLF-1.0처리구에서 134.3

cm, MLF-0.5처리구에서 121.8 cm로 CF처리구에서 가장 컸고, 기관 별 건물중도 CF처리구에서 유의적으로 가장 컸다. 과실의 수량 역시 CF처리구가 55개로 가장 많았고 MLF-1.0처리구 33개, MLF-0.5처리구와 C처리구는 18개였으며, 과실의 직경과 길이 역시 같은 양상을 보였다. MLF-1.0처리구는 CF처리구와 동일한 질소량이 투입되었음에도 고추의 생육 반응이 저조하였는데, 이는 화학비료와 생초미생물혼합액비 내의 무기태 질소 함량의 차이로 생각된다. 수고 및 경엽과 뿌리의 건물중과는 달리 과실의 특성은 생초미생물혼합액비의 처리 수준에 따라 유의적인 차이를 보였다 (Table 4). 과실의 건물중, 수량, 직경, 길이에서 MLF-1.0처리구가 MLF-0.5처리구보다 유의적으로 높게 나타났으며, MLF-0.5처리구의 과실 생장은 C처리구와 비슷한 수준이었다. 따라서 MLF-0.5처리구의 시비 수준이 매우 낮아 C처리구와 차이를 보이지 않았던 것으로 판단할 수 있었다.

기관 별 양분 (탄소, 질소, 칼륨, 마그네슘, 칼슘)의 함량은 처리 별로 어떤 일정한 경향이 없었다 (Table 5). 이는 본 연구에서 사용된 비료의 종류 및 사용량은 고추의 주요 양분 조성에 영향을 미치지 않았고, 재배 기간동안 특정 성분의 과다 혹은 결핍에 의한 장해/스트레스가 일어나지 않았음을 간접적으로 뒷받침하였다. 하지만 비료의 종류와 사용량이 수체의 구성성분에 미치는 영향은 연구마다 상이하다. 화학비료에 비해 돈분뇨 액비처리가 생육 후반기에 칼륨의 함량을 증가시키나 칼슘과 마그네슘의 함량은 오히려 감소시켰다는 연구 (Hwang et al., 2004)가 있는 반면, 화학비료와 돈분뇨 액비의 사용량에 따라 토마토와 오이의 구성성분에 영향을 주지 않았다는 연구 (Park et al., 2010, 2011)결과도 있다.

처리구별 고추의 질소 흡수량 및 이용률 모두 CF처리구에서 가장 높았다 (Table 6). 비료 처리에 대한 질소 흡수량은 CF처리구, MLF-1.0처리구 및 MLF-0.5처리구에서 각각 1.3 g plant⁻¹, 0.8 g plant⁻¹, 0.5 g plant⁻¹로 차이가 났다. 질소 흡수량은 고추의 생장과 직결되므로 건물중의 순위가

Table 3. Temporal variations in concentrations of soil total C after cultivation of red peppers.

Treatment ^z	Total C (g kg ⁻¹)		
	14 DAT ^y	56 DAT	81 DAT
C	2.83 ab ^x	2.38 ab	2.69 a
CF	2.38 b	2.03 b	2.08 b
MLF-0.5	2.48 ab	2.63 ab	2.33 ab
MLF-1.0	2.99 a	3.08 a	2.59 a

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yDays after transplanting.

^xMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test (p<0.05).

Table 4. Growth characteristics of red peppers.

Treatment ^z	Plant height (cm)	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)	Fruit			
				Dry weight (g)	Number (ea)	Diameter (mm)	Length (mm)
C	112.4 b ^y	23.4 b	7.1 b	20.8 c	18 c	14.8 c	94.8 c
CF	144.7 a	52.5 a	11.0 a	45.1 a	55 a	16.0 a	126.3 a
MLF-0.5	121.8 ab	24.8 b	6.8 b	16.4 c	18 c	14.9 c	95.3 c
MLF-1.0	134.3 ab	32.9 b	7.8 ab	27.8 b	33 b	15.3 b	112.0 b

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test (p<0.05).

Table 5. Contents of some major elements at red peppers.

Plant parts	Treatment ^z	Major elements				
		C (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
Shoots	C	441.8 a ^y	5.1 a	39.0 a	1.7 a	7.6 a
	CF	437.4 a	7.8 a	31.6 b	1.4 b	8.0 a
	MLF-0.5	423.9 a	8.1 a	37.0 ab	1.8 a	8.5 a
	MLF-1.0	433.2 a	7.0 a	35.5 ab	1.9 a	7.8 a
Roots	C	383.8 a	9.9 a	21.8 a	1.4 ab	22.1 a
	CF	353.2 a	11.7 a	11.1 b	1.6 ab	22.2 a
	MLF-0.5	410.9 a	10.5 a	15.9 ab	1.3 b	22.1 a
	MLF-1.0	346.0 a	10.3 a	14.3 ab	1.7 a	20.7 a
Fruit	C	467.7 a	17.7 a	32.2 a	1.4 a	1.4 ab
	CF	467.3 a	21.3 a	30.5 b	1.4 ab	2.0 a
	MLF-0.5	465.6 a	17.5 a	31.8 ab	1.3 b	1.1 b
	MLF-1.0	469.5 a	21.6 a	32.0 ab	1.3 ab	1.3 ab

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

Table 6. The amount of N uptake and N efficiency for red peppers after experiment.

Treatment ^z	N uptake (g plant ⁻¹)	N efficiency (%)
C	0.4 c ^y	N.A. ^x
CF	1.3 a	62.9 a
MLF-0.5	0.5 c	14.1 c
MLF-1.0	0.8 b	28.0 b

^zC: no fertilizer as control, CF: application with chemical fertilizer, MLF-0.5 and -1.0: application with mixed liquid fertilizer at 0.71 and 1.43 g N pot⁻¹, respectively.

^yMeans in the same column with different letters differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ($p < 0.05$).

^xNot available.

그대로 각 처리구의 질소 흡수량 순위로 이어진 것으로 판단하였다. C처리구의 질소 흡수량과 처리한 질소량으로부터 구한 질소 이용률 역시, 질소 흡수량과 마찬가지로 CF처리구, MLF-1.0처리구 및 MLF-0.5처리구 순으로 감소하였으며 각각 62.9%, 28.0%, 14.1%이었다. 따라서 화학비료 대비 생초미생물혼합액비의 고추에 대한 질소 이용률은 22.4-44.5%로, 이는 생육반응에도 그대로 반영되어 생초미생물혼합액비 처리구에서 화학비료 대비 경엽 건중량은 47.2-62.6%, 과실 건중량은 36.1-61.6%로 나타났다. 화학비료는 전량 무기태 질소로 공급이 되지만 생초미생물혼합액비는 약 40% 만이 무기태 질소이고, 나머지 유기태 질소의 무기화가 더디므로 (Lee et al., 2012b) 생초미생물혼합

액비의 질소 이용률이 낮게 된 것으로 판단된다. 일반적으로 질소 이용률은 50%를 넘지 않고 옥수수, 밀과 같은 곡류 작물은 약 33%의 질소 이용률을 보인다 (Hirel et al., 2007; Raun and Johnson, 1999). 돈분뇨 액비를 처리하였을 때 질소이용률이 양파에서는 14.7-26.8%, 토마토에서는 16.0-36.7%이었고 (Park et al., 2010; Shin et al, 1998) 생초미생물혼합액비의 방울토마토에 대한 질소이용률은 10%이었다 (Park et al., 2015). 따라서 고추는 방울토마토보다 생초미생물혼합액비에 대해 질소 이용률이 높았으나, 다른 채소의 액비에 대한 질소 이용률보다는 다소 낮았다.

요약하면, 생초미생물혼합액비를 화학비료와 동일한 수준으로 사용하였을 경우, 고추의 생장은 약 2/3 수준 (화학비료 대비 경엽 건중량 62.6%, 과실 건중량 61.6%, 과실 수 60.0%)이었고, 질소 이용률 역시 화학비료 대비 44.5% 수준이었다. 생초미생물혼합액비를 기준량 보다 적게 사용했을 경우 (MLF-0.5)에는 질소 이용률 및 고추의 생육 반응이 현저하게 감소하였다. 그러나 생초미생물혼합액비는 질소 질 비료의 공급만이 아니라 유기성 물질의 투입으로 토양탄소 보존 효과가 있었다. 따라서 고추에 생초미생물혼합액비를 사용할 경우 화학비료보다 다소 높게 사용해야 하며 질소 이용률이 상대적으로 낮으므로 관비 시비하여 질소 손실분을 최소화할 필요가 있다.

Conclusion

잔디예초물을 발효하여 만든 생초미생물혼합액비 (MLF)

의 효과를 평가하기 위하여, 양토 (loam)로 충진한 포트에 고추 (*Capsicum annuum* L.) 모종을 재식한 후 유리온실에서 81일동안 고추의 생육반응과 토양화학성에 미치는 영향을 평가하였다. 포트실험은 무처리 (C), 화학비료처리 (CF) 및 2수준의 생초미생물혼합액비처리 (MLF-0.5 및 MLF-1.0)를 3반복으로 완전임의 배치하였다. 시험기간 동안, 토양을 주기적으로 채취하여 화학성 (pH, EC, 총질소, 무기태질소, 총탄소)을 분석하였고, 고추는 시험 종료 후 최종 수확하여 생육특성을 조사하였다. 토양 pH는 MLF처리구에서 CF처리구보다 높았다. 토양 EC는 시험초기에 CF처리구와 MLF처리구에서 증가하였으나, 증가효과는 시험종료시 CF처리구에서는 사라진 반면 MLF처리구에서는 지속되었다. 토양 총질소는 CF처리구와 MLF처리구에서 시험초기에 증가하였으나, 시험종료시 MLF-1.0처리구를 제외하고 증가효과가 사라졌다. 토양무기태질소는 시험초기에 CF처리와 MLF-1.0처리에 의해 증가하였으나, 처리 후 56일 째에 증가효과는 사라졌다. 토양 총탄소는 C처리구 토양보다 MLF-1.0처리에서는 높았으나 CF처리에서는 낮았다. 그러나 MLF-1.0처리에 의해 조기에 증가한 함량은 실험 종료 시 C처리구 수준까지 떨어졌다. 고추의 수고, 기관 별 건물중, 과실의 수, 직경 및 길이는 CF처리구에서 가장 높았으나, MLF처리구에서의 효과는 시비수준에 따라 달랐다. 그러나 고추의 기관 별 주요 양분함량에 미치는 처리효과는 어떠한 특별한 경향이 없었다. 고추가 흡수한 주당 질소의 양은 CF처리에서 1.3 g, MLF-1.0처리에서 0.8 g, MLF-0.5처리에서 0.5 g이었으며, 질소 이용률은 각각 62.9%, 28.0% 및 14.1%이었다. 이와 같은 결과를 종합하여 볼 때, 생초혼합액비 (MLF)는 토양비옥도를 고려하여 적정량 시비한다면 고추 재배 시 화학비료를 대체할 수 있는 비료자원으로 사용할 수 있을 것이라 판단할 수 있었다.

References

- Antoniou, P., J. Hamilton, B. Koopman, R. Jain, and 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(1):97-101.
- Aracon, N.Q., C.A. Edward, P. Bierman, J.D. Metzger, and C. Lucht. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia* 49(4): 297-306.
- Artiola, J.F. and I.L. Pepper. 1992. Longterm influence of liquid sewage sludge on the organic carbon and nitrogen content of a furrow-irrigated desert soil. *Biol. Fert. Soils* 14:30-36.
- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annu. Rev. Phytopathol.* 13(1):295-312.
- Bolan, N.S., M.J. Hedley, and R.E. White. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant Soil* 134(1):53-63.
- Casado-vela, J., S. Selles, C. Diaz-Crespo, J. Navarro-Pedreno, J. Mataix-Beneyto, and I. Gomez. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. *annuum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Manage.* 27(11):1509-1518.
- 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. Nature Conserv.* 6(1):49-53.
- Dauden, A. and D. Quilez. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *Euro J. Agron.* 21(1): 7-19
- Flores, P., P. Hellin, and J. Fenoll. 2009. Effect of manure and mineral fertilization on pepper nutritional quality. *J. Sci. Food Agric.* 89(9):1518-1586.
- 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. Manage.* 16(6):763-768.
- Goeschl, R. and H.K. Lee. 1998. Recent tendency to organic waste treatment in Europe. *J. Kor. Organ. Resour. Recycl. Assoc.* 6:4-14.
- Heckman, J.R. 2002. In-season soil nitrate testing as a guide to nitrogen management for annual crops. *Horttechnology* 12(4):706-710.
- Hirel, B., J. Le Gouis, B. Ney, and A. Gallais. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *J. Exp. Bot.* 58(9):2369-2387.
- Hwang, S.W., J.K. Sung, B.K. Kang, C.S. Lee, S.G. Yun, T.W. Kim, and K.C. Eom. 2004. Polyamine biosynthesis in red pepper and Chinese cabbage by the application of liquid pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(3):171-176.
- IMO (International Maritime Organization). 1996. The London convention and protocol: their role and contribution to protection of the marine environment.
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(6): 388-395.
- Kang, S.S., M.K. Kim, S.I. Kwon, M.S. Kim, S.W. Yoon, S.G. Ha, and Y.H. Kim. 2011. The effect of application levels of slurry composting and bio-filtration liquid fertilizer on soil chemical properties and growth of radfish and corn. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(6):1306-1313.
- Kaplan, D., R. Wilhelm, and A. Abeliovich. 2000. Interdependent environmental factors controlling nitrification in

- waters. *Water Sci. Technol.* 42(1-2):167-172.
- Kim, J.D., B.H. Kwon, H.M. Ro, S.J. Kim, S.W. Jeon, S.G. Seo, K.Y. Kim, G.H. Lee, and B.G. Jeong. 2013. Manufacturing liquid fertilizer using turfgrass clippings from the golf courses. *J. Kor. Soc. Waste Manage.* 30(8):804-812.
- Kim, M.K., S.I. Kwon, S.S. Kang, G.B. Jung, and K.K. Kang. 2011. Changes of soil properties in corn (*Zea mays* L.) fields treated with compost and liquid fertilizer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):473-478.
- Kim, M.K., S.I. Kwon, S.S. Kang, G.B. Jung, S.C. Hong, M.J. Chae, and K.H. So. 2012. Minimizing nutrient loading from SCB treated paddy rice fields through water management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):671-675.
- Kwon, Y.R., J. Kim, B.K. Ahn, and S.B. Lee. 2010. Effect of liquid pig manure and synthetic fertilizer on rice growth, yield, and quality. *Kor. J. Environ. Agr.* 29(1):54-60.
- Larney, F.J., D.A. Angers. 2012. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. *Can. J. Soil Sci.* 92(1):19-38.
- Lee, C.S., K.Y. Lee, J.T. Lee, G.J. Lee, and J.H. An. 2003. Determination of nitrogen application level for chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5):280-289.
- Lee, S.E, J.M. Park, and D.G. Choi. 2012a. Effect of SCB liquid manure application in pear orchard managed by cover crop system on tree growth, potential nutrient recovery and soil physicochemical properties. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(5):779-786.
- 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. 2012b. Variation patterns in concentration of inorganic nitrogen from liquid grass fertilizer during aerobic incubation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1120-1125.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2010. Effects of fertigation with pig slurry on growth and yield of red pepper. *Kor. J. Environ. Agr.* 29(3):227-331.
- Lindner, R.C. and C.P. Harley. 1942. A rapid method for the determination of nitrogen in plant tissue. *Science* 96(2503): 565-566.
- MOE (Ministry of environment). 2010. Environmental review. Gwacheon, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. The method of soil and plant analysis. Natl. Inst. Agr. Sci. Technol. Suwon, Korea.
- Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil.* 58(1-3):177-204.
- 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). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):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.). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2):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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):209-214.
- Park, J.S., M.J. Lee, S.Y. Lee, J.S. Kim, T.K. Lee, H.M. Ro, S.J. Kim, S.W. Jeon, S.G. Seo, K.Y. Kim, G.H. Lee, and B.G. Jeong. 2015. Effect of mixed liquid fertilization on growth responses of cherry tomatoes and soil chemical properties. *Kor. J.Hort. Sci. Technol.* 33(2):268-275.
- Raun, W.R. and V.J. Gordon. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91(3):357-363.
- Ro, H.M., L.S. Kim, M.J. Lee, H.J. Choi. and C.H. Park. 2008. Soil moisture regime affects variation patterns in concentration of inorganic nitrogen from liquid swine manure during aerobic incubation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(1): 34-37.
- Seong, K.S., B.J. Kim, O.K. Kwon, K.R. Cho. and C.K. Park. 1998. Effect of Ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) leaf waste from pharmaceutical process on red pepper growth. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(1):46-50.
- Shin, B.W., C.H. Yoo, S.B. Lee, J.H. Jeong, and S.S. Han. 1998. Effect of nitrogen and potassium fertilizer types on growth response of onions under continuous cropping. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31(3):271-276.
- Su, Y., F. Wang, D. Suo, Z. Zhang, and M. Du. 2006. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat-wheat-maize cropping system in northwest China. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 75(1-3):285-295.
- Westerman, P.W. and J.R. Bicudo. 2005. Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technol.* 96(2):215-221.
- 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(3):219-246.