

# The Effect of Food Waste Compost on Chinese Cabbage (*Brassica rapa* var. *glabra*) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Growth

Jae Hong Yoo, Young Don Lee<sup>1</sup>, Khalid A. Hussein<sup>1</sup>, and Jin Ho Joo<sup>1\*</sup>

Agricultural Microbiology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

<sup>1</sup>Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

\*Corresponding author: [jhjoo@kangwon.ac.kr](mailto:jhjoo@kangwon.ac.kr)

## ABSTRACT

**Received:** October 17, 2018

**Revised:** November 8, 2018

**Accepted:** November 28, 2018

Composting of food waste might be effective way for food waste disposal which could be applied to improve soil properties in agricultural field. The purpose of this study is to evaluate the effect of food waste on two crops (Chinese cabbage, Tomato) compared to livestock manure. Seven different treatments (one livestock manure, two food wastes, one livestock manure + chemical fertilizer, two food waste + chemical fertilizer, and control) were applied to two crops. Treatment of livestock + chemical fertilizer and microorganism treated food waste + chemical fertilizer showed statistically significant differences on leaf width and root length of Chinese cabbage compared to other treatments. They showed highest values for these parameters. Value of four parameters (shoot length, total length, fresh weight and chlorophyll content) were highest with treatment of livestock + chemical fertilizer and microorganism treated food waste + chemical fertilizer for tomato growth.

**Keywords:** Food waste compost, Compost, Chinese cabbage, Tomato, Livestock manure

## Chinese cabbage growth and Tomato with different treatments of compost.

Chinese cabbage	Dry weight	Chlorophyll	Tomato	Dry weight	Chlorophyll
	g	O.D.(SPAD)		g	O.D.(SPAD)
Control	9.6±1.82 <sup>d†</sup>	22.0±0.82 <sup>c</sup>	Control	14.8±1.15 <sup>b</sup>	39.6±5.01 <sup>b</sup>
LC <sup>‡</sup>	13.4±1.19 <sup>c</sup>	31.0±0.31 <sup>d</sup>	LC	20.0±2.32 <sup>a</sup>	48.2±2.22 <sup>a</sup>
LC+NPK	15.0±0.88 <sup>bc</sup>	36.9±0.94 <sup>ab</sup>	LC+NPK	18.4±3.06 <sup>a</sup>	49.5±1.39 <sup>a</sup>
FWC	14.6±0.39 <sup>bc</sup>	33.5±0.66 <sup>ac</sup>	FWC	19.6±0.59 <sup>a</sup>	40.4±0.46 <sup>b</sup>
FWC+NPK	17.9±0.57 <sup>a</sup>	35.0±0.57 <sup>bc</sup>	FWC+NPK	18.6±0.34 <sup>a</sup>	48.4±0.40 <sup>a</sup>
MFWC	16.1±0.38 <sup>ab</sup>	36.5±2.13 <sup>ab</sup>	MFWC	19.9±0.58 <sup>a</sup>	45.5±0.45 <sup>a</sup>
MFWC+NPK	16.1±0.60 <sup>ab</sup>	38.1±0.24 <sup>a</sup>	MFWC+NPK	19.1±0.80 <sup>a</sup>	49.5±0.17 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>The different letters are significantly ( $P < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple test.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.



## Introduction

현재 우리나라는 국가 소득증대와 비례하여 음식물쓰레기 발생량 또한 점차 증가하고 있는 추세이다. 발생량의 경우 매년 꾸준히 증가하여 2016년 1인당  $0.27 \text{ kg day}^{-1}$ 에서 2017년  $0.38 \text{ kg day}^{-1}$ 로 약 40% 증가한 것으로 조사되었으며 이는 생활폐기물 전체 발생량의 39.5%를 차지하는 비율이다 (Ministry of Environment, 2017). 국내에서는 2013년부터 용량에 따른 종량제 정책을 도입하여 발생량을 줄이고자 노력 중에 있으며, 2005년부터 시행된 음식물쓰레기 직매립 금지법안에 따라 음식물쓰레기 자원화 시설을 확충하여 폐기되는 음식물을 대상으로 퇴비화 및 사료화를 진행하고 있다. 현재 음식물쓰레기 처리방안으로는 소각과 자원화 방법이 시도되고 있으나 음식물쓰레기에 함유된 80% 이상의 높은 수분함량으로 인해 발열량이 낮아 소각처리 보다 자원화 방법이 보편화 되었다 (Lee et al., 2015). 자원화 방법은 호기성 퇴비화, 혐기성 발효, 습식 사료화, 건식 사료화 등이 있으며, 그 중 경제적 효용성이 큰 호기성 퇴비화 방법이 주로 활용되고 있다 (Lee and Lim, 2003). 호기성 퇴비화는 호기성 조건에서 미생물을 통해 음식물쓰레기를 생물학적으로 분해하여 불안정한 유기물을 부식성 유기물로 변환하는 과정으로 음식물쓰레기를 자원으로 전환하기 용이한 방법이다 (Han et al., 2007). 반면 자원화시설에서 생산된 음식물쓰레기 퇴비는 미생물 활성이 불안정하여 미부숙 상태에서 출하되는 사례가 있어 퇴비 안정성이 우려되는 실정이다 (Phae, 2002). 퇴비가 미부숙 될 경우 높은 유기물 함량으로 인해 토양에 처리시 미생물의 유기물분해로 재발열되어 작물생육에 장애를 초래한다는 점에서 (Kim et al., 2005) 음식물쓰레기 퇴비화 시 미생물 활성을 안정화시키는 방안이 모색되어야 한다. 이에 음식물쓰레기 성상에 따라 원자재를 효과적으로 분해할 수 있는 미생물제제에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. Yoo et al. (2016)은 *protase*, *amylase* 등의 효소분비 미생물의 활성을 통해 분해시켜 악취저감 및 완전 부숙된 퇴비화가 가능할 것으로 보고하였다 (Yoo et al., 2016). 또한 Kang 등의 선행연구에 따르면 퇴비화 시 미생물 제제를 처리할 경우, 8일 이내에 신속한 퇴비화가 가능하며, 통기성을 높일 경우 다량의 원자재를 빠른시간 내 처리할 수 있다는 것을 규명하였고 (Kang et al., 2011), Lee et al. (2001)은 *Bacillus subtilis*의 경우 *xylanase*, *lactase*와 같은 체외분비효소를 이용하여 음식물쓰레기 내 탄수화물, 단백질, 지방 뿐만 아니라 식물체와 톱밥 내 *cellulose*, *hemicellulose*, *lignin* 분해가 가능하다는 연구결과를 보고하였다 (Lee and Park, 2001). 선행연구를 토대로 판단할 때 미생물을 활용하여 음식물쓰레기의 퇴비화 시 난분해성 물질의 분해 또한 가능할 것으로 예상된다. 그러나 음식물쓰레기 퇴비에 대한 부정적인 인식과 음식물쓰레기 내 높은 염분함량으로 인해 많은 사용자로부터 기피되고 있는 실정이다. 우리나라 대부분 농가들이 가축분 퇴비를 선호하는 경향을 보이고 있다 (Lee et al., 2015). 그러나 축분퇴비의 경우  $\text{CH}_4$  가스 배출에 의한 온난화로 퇴비화 과정에서 사회적 비용이 추가적으로 발생하는 문제가 있다 (Lee et al., 2005). 또한 가축분 퇴비 연용 시 발생하는 영양공급 불균형은 생육장애의 원인으로 지적되고 있다 (Kim et al., 2012). 선행 연구에 의하면 음식물쓰레기 퇴비 시용 시 수확량, 생육상태 등에서 가축분 퇴비에 비해 큰 차이를 보이지 않았으며, 작물의 종류에 따라 수확량과 과육상태에서 선택적으로 가축분 퇴비에 준하는 생육을 보이는 것으로 나타났다 (Kwon et al., 2009). 이에 본 연구는 음식물쓰레기에 미생물제제를 첨가하여 퇴비화 진행 및 퇴비로서의 가치를 규명하고, 작물생육조사를 통해 가축분 퇴비와 비교하여 음식물쓰레기 퇴비의 효능을 평가하고자 한다.

## Materials and Methods

**공시시료 (음식물퇴비) 제조** 음식물 퇴비 배합은 환경부고시 (ME, No. 2012-203. 2012) 기준에 준하여 음식

물찌꺼기 2.0 kg을 제조하였으며 (Table 2), 제조된 퇴비의 C/N율과 함수율을 조절하기 위해 음식물찌꺼기에 톱밥과 어분을 각각 857, 100 g을 첨가 후 제조하였다. 음식물쓰레기 퇴비의 경우 음식물쓰레기 분해 우수 균주 미생물 제제 처리구 (Microorganism Treated Food waste compost, MFWC)와 미생물제제가 처리되지 않은 대조구 (Food Waste Compost, FWC)를 제조하였고, 미생물 제제의 경우 미색의 분말형태인 대두박과 미강분말에 음식물쓰레기 우수 분해균주 6종 (Table 3)을 고상 발효한 후 질량 대비 2%인 40 g을 처리하였다. 가축분 (Livestock Compost)은 주성분이 계분 15%, 우분 20%, 돈분 10%의 가축분 혼합퇴비를 사용하였다 (Table 4). 음식물 퇴비제조를 위한 퇴비화 공정의

**Table 1.** Physico-chemical properties of the soil used.

	pH	EC	O.M	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CEC	Exch. cation (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	(1:5 H <sub>2</sub> O)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup>	Ca	K	Mg	Na
	5.69	0.2	40.99	283.44	14.50	3.64	0.72	0.91	0.12
Optimum range	6.0-7.0	≤2.00	25-35	350-500	-	5.0-6.0	0.70-0.80	1.5-2.0	-

**Table 2.** Composition of food waste suggested by Ministry of Environment.

Composition	Total Weight (g)	Materials	Weight (g)
Crops	320	Rice	320
		Cabbage	160
Vegetables	1,000	Potato	400
		Onion	400
		Radish	40
		Apple	140
Fruits	280	Orange	140
		Pork	100
Meats	400	Fish	300

**Table 3.** 6 strains of bacteria used for food waste composting.

No.	Bacteria species	Colony forming unit (CFU)
1	<i>Klebsiella quasipneumoniae</i> subsp.	7.2E+ 05
2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	6.2E+ 05
3	<i>Lysinibacillus macroides</i>	7.2E+ 05
4	<i>Acientobacrer lwoffii</i>	5.5E+ 05
5	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	4.3E+ 05
6	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	7.2E+ 05

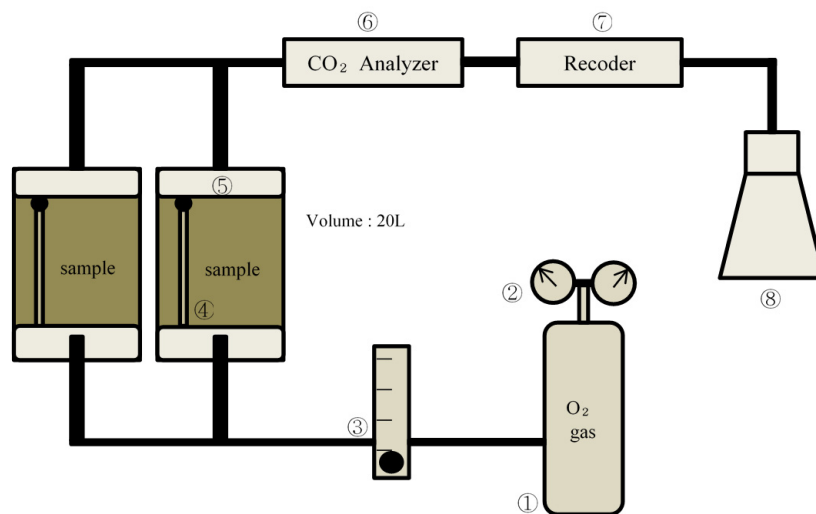
**Table 4.** Composition of livestock compost.

Composition	Fowl	Pig	Cow	Sawdust	Mushroom medium	Coffee bean	Castor	Distillers dried grains	Bone meal	Limestone	EM
	%										
Livestock Compost	15	20	15	10	14	10	5	5	2	3	1

경우 간이 소형 퇴비화 장치를 제조하여 사용하였다 (Fig. 1). 용기는 보온성이 뛰어난 단열구조로 내부용적이 20.0L 인 사각형태를 사용하였으며, 용기의 밀폐를 위해 덮개를 설치하였다. 퇴비화 과정 중 발생하는 가스를 포집하기 위해 상단부에 배출구를 설치 후 CO<sub>2</sub> Analyzer (LI-6252, USA)를 연결하여 발생하는 CO<sub>2</sub> 량을 측정하였고 recorder에 기록하였다. 온도의 경우 용기 내부에 온도센서를 설치하여 1일 6회 2시간 간격으로 측정하였으며, 온도변화 확인은 온도 감소 추세가 보이는 13일차까지 진행하였다. 또한 호기성 퇴비화 환경 조성을 위해 용기 하부에 튜브를 설치하여 산소를 0.4 L min<sup>-1</sup>으로 주입하였으며, 뒤집기의 경우 3일간격으로 3, 6, 9, 12일 순으로 실시하였다.

**퇴비 이화학 분석** 부숙 과정 중 이화학 변화 분석의 경우 온도감소 추세를 보이는 구간에서 3회 분취하여 실시하였으며, 퇴비의 이화학 변화를 확인하기 위해 EC, C/N비, 유기물 함량, T-C, T-N을 측정하였다. EC의 경우 1:5법을 사용하였고, T-C와 T-N의 경우 원소분석기 (EA 3000, Italy)를 사용하였다. 최종적으로 제조된 음식물퇴비 2종 (MFWC, FWC)과 가축분퇴비 (LC) 1종을 대상으로 농촌진흥청 비료품질검사방법 및 시료채취기준 (RDA, 2016)에 준하여 유기물대 질소비, 염분, 수분함량, 부숙도, 염산불용해물, 유해중금속 8 종 (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn)을 측정하여 비료공정규격 적합도를 측정하였다.

**공시토양 및 작물** 공시토양은 강원도 춘천시 신북읍에 위치한 강원대학교 부속농장 밭 토양을 채취하여 체거름 (< 2 mm)한 후 사용하였다. 수확 후 토양의 화학적 변화를 평가하기 위해 공시토양을 토양 및 식물체 분석법 (Korea Forest Research Institute, 2014)에 준하여 분석하였다. 공시토양 화학성은 pH 5.69, EC 0.2 dS m<sup>-1</sup>, 유기물 40.99 g kg<sup>-1</sup>, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 283.44 mg kg<sup>-1</sup>으로 일반 밭토양에 준하는 수치를 보였다 (Table 1). 공시작물은 배추 (Chinese cabbage, *Brassica rapa* var. *glabra*)와 토마토 (Tomato, *Solanum lycopersicum* L.)이며, 서로 다른 종에 대한 생육의 영향과 토양 화학성 변화를 확인하고자 하였다.



① O<sub>2</sub> gas. ② pressure gauge. ③ flow meter. ④ temp sensor.  
⑤ reactor cap. ⑥ CO<sub>2</sub> Analyzer. ⑦ Recorder. ⑧ drain water reservoir.

Fig. 1. Schematic diagram of food waste composting reactor.

**포트시험** 작물의 경우 본 엽이 3-5매정도 되는 배추와 토마토 모종을 1/5000 a 사이즈의 와그너포트에 정식하였으며, 반복수는 3반복으로 진행하였다. 각 처리구는 퇴비 표준시비량 기준으로 처리하였으며 LC, LC+NPK, FWC, FWC+NPK 순으로 토마토의 경우 20,000 kg ha<sup>-1</sup>, 배추 15,000 kg ha<sup>-1</sup>로 처리해 공시토양과 퇴비를 적절히 혼합하였다. NPK 처리구의 처리함량은 표준시비량 시비하였으며, 토마토의 경우 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 성분량으로 190-80-160 kg ha<sup>-1</sup>, 배추의 경우 320-70-190 kg ha<sup>-1</sup> 처리하였다 (NIAS, 2017).

**작물생육 조사** 생육조사의 경우 농촌진흥청의 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 준하여 재배 중 주차 별 엽장, 엽폭, 엽색도를 측정하였으며, 4 주 재배 후 배추와 토마토의 엽장 및 엽폭의 길이, 엽색도를 측정하였다. 최종 수확 후 조사항목은 생중량 및 건중량, 뿌리길이, 줄기길이 등을 측정하였다. 엽색도의 경우 엽색도 측정기 (SPAD-502, Korea)로 엽색도를 측정하여 작물생육조사를 실시하였다.

**처리구별 토양 화학 분석** 정식 전 토양과 최종 수확 후의 토양의 화학적 특성 변화를 확인하였으며, 분석법의 경우 경기도농업기술원 토양 및 퇴비분석법 (Agricultural Technology Institute, 2015)에 준하여 pH 와 EC는 1:5법으로 토양용액을 추출하여 측정하였다. 유기물은 Walkley-Black method를 사용하여 610 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 유효인산은 몰리브덴 청법을 사용하여 660 nm에서 비색 정량하였다. 유기물 및 유효인산 측정은 UV-vis spectrometer (UV-2401PC, Japan)을 사용하였고, 치환성 양이온의 경우 1N NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)의 용액으로 추출하여 AAS (PinAAcle 900T, USA) 및 ICP (ICP series-6000, USA)를 이용하여 분석하였다.

**통계검정** 통계처리 시 모든 처리구는 3반복으로 진행하였고, 반복간 평균값과 표준편차 값을 SAS 9.5 프로그램을 통해 분산분석 (ANOVA)을 실시하였으며, Duncan 검정을 통해 유의수준 P< 0.05 수준에서 통계적 검정을 수행하였다.

## Results and Discussion

**공시시료 (음식물퇴비) 퇴비화 온도 및 CO<sub>2</sub> 발생량변화** 퇴비의 온도와 CO<sub>2</sub> 발생량의 변화는 퇴비화 과정을 확인할 수 있는 중요한 지표 중 하나이다 (Bae et al., 2000). 2일차부터 MFWC는 미처리구 (FWC)에 비해 평균 2°C 높게 차이 나면서 58°C 이상의 고온을 유지하였다 (Fig. 2). MFWC가 더 높은 온도와 장시간 고온을 유지한 점은 미생물 제제 처리로 인한 미생물 증식이 촉진됨에 따라 미생물의 유기물 분해가 활발해져 발생한 산화열이 고온을 유지시킨 것으로 사료된다 (Phae et al., 1999). 또한 두 처리구 모두 2 일차에서 최고 온도를 보였으며, MFWC의 경우 최고 온도 60°C, FWC의 경우 최고 온도 57°C를 기록하여 FWC 보다 높은 수치를 보였다. 두 처리구의 온도변화는 30 - 60°C 사이에서 퇴비화가 이루어졌으며, 일반 퇴비화 온도인 30 - 60°C 범위에서 이루어져 분해 미생물이 생존하는데 적정 온도를 유지한 것으로 판단된다 (Park et al., 2017). 이산화탄소 발생량의 경우 온도가 상승과 함께 증가하였으며, 2일차에서 MFWC 23%, FWC 21%의 수치를 보였다 (Fig. 3). 전반적으로 MFWC가 FWC보다 이산화탄소 발생량이 다소 높았는데 이는 미생물 처리로 인해 호흡이 활발하게 이루어진 것에 기인한 것으로 사료된다. 이산화탄소 발생량 최대치 이후 발생량의 수치는 점차 감소하였으며 이는 유기물이 소모되어 미생물이 이용 가능한 기질이 부족해진 것으로 판단된다 (Kim et al., 2000). 또한 5일차에서 온도와 이산화탄소 발생량이 동시에 증가하는 경향을 확

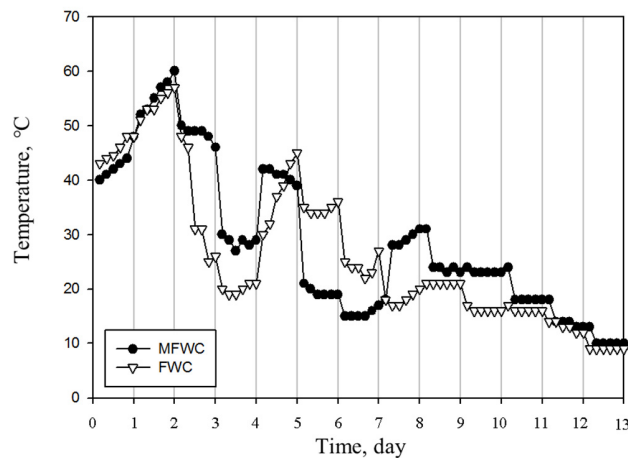


Fig. 2. Temperature change during composting.

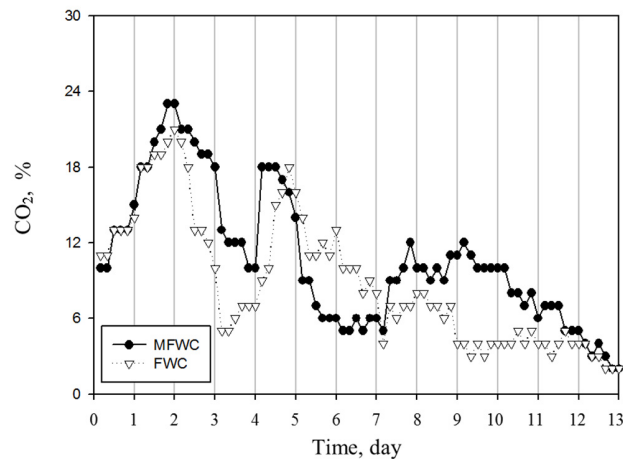


Fig. 3. CO<sub>2</sub> change during composting.

인할 수 있었으며, 이는 3일차에 첫 번째 뒤집기를 통해 퇴비화 과정 중 미처 분해되지 않았던 탄소원들이 분해되어 이산화탄소 발생량 및 온도가 증가한 것으로 사료된다 (Seo et al., 1999).

**공시시료 (음식물퇴비) 부숙 시 이화학 변화** 음식물쓰레기의 경우 환경부 고시에 준하여 제조함에 따라 민간에서 배출되는 음식물쓰레기에 비하여 유기물 함량이 12.4%로 매우 낮았으며, 이를 조절하기 위해 톱밥과 어분을 혼합하였다 (Table 5). 이를 통해 퇴비화 초기 유기물 함량을 FWC 36.00%, MFWC 35.71%로 조절하였다. 음식물퇴비화 3일차에서 유기물 함량은 FWC 44.81%, MFWC 41.75%로 0일차 대비 상승하였고, 7일차의 경우 FWC 34.08%, MFWC 36.77%로 나타나 비료공정규격에 준하는 함량을 보였다. C/N비의 경우 초기 FWC 29.82, MFWC 26.89를 보였고, 3일차에서는 FWC 34.29, MFWC 20.28로 FWC가 기준치 이상을 보였다. 7일차에서 FWC 15.57, MFWC 14.61로 기준치 30 이하의 값을 나타냈다 (Table 6). 일반적으로 퇴비화 과정 중에 탄소의 경우 미생물의 활동으로 인해 CO<sub>2</sub>와 CH<sub>4</sub>의 형태로 발생되어 탄소비율이 낮아지며 (Hwang et al., 1999), 질소는 부식물질로 재합성되거나 미생물의 영양원으로 고정되어 증가한 것으로 확인된다 (Ryu et al., 2010).

공시시료 (음식물퇴비) 및 가축분 퇴비 비교 및 이화학분석 부속이 종료된 음식물 퇴비와 가축분 퇴비 (LC)의 이화학분석 결과, 3 종의 퇴비 모두 기준치에 적합하였고, 유기물 함량의 경우 LC 43.51%, FWC 46.85%, MFWC 53.63%로 미생물 제제 + 음식물쓰레기 퇴비(MFWC)가 가축분에 비하여 유기물 함량이 높게 나타났다 (Table 7). 이는 미생물 제제 처리로 퇴비 원료 내의 유기물이 부식성 유기물로 전환된 것으로 판단되며, 미생물 제제의 분해 효능에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 유해 중금속 8종의 경우 기준치에 비해 모두 낮은 수치를 보였다

**Table 5.** Physicochemical properties of food waste, sawdust, and fish cake used in this experiment.

Materials	EC	C/N ratio	Organic matters	Moisture
	dS m <sup>-1</sup>		%	
Food waste	2.23	10.95	12.4	84.2
Sawdust	0.92	568.49	80.8	12.8
Fish cake	47.67	11.78	80.2	6.4

**Table 6.** Chemical properties of food wastes for 7 days (0-7day).

	Day 0					Day 3					Day 7				
	EC	C/N ratio	Organic matters	T-C	T-N	EC	C/N ratio	Organic matters	T-C	T-N	EC	C/N ratio	Organic matters	T-C	T-N
	ds m <sup>-1</sup>		%			ds m <sup>-1</sup>		%			ds m <sup>-1</sup>		%		
Foodwaste	3.86	29.82	36.00	20.88	0.70	3.56	34.29	44.81	26.00	0.76	3.12	15.57	34.08	19.77	1.27
Microorganism Treated Foodwaste	3.60	26.89	35.71	20.71	0.77	3.23	20.28	41.75	24.22	1.2	2.91	14.61	36.77	21.33	1.46

**Table 7.** Chemical properties of composts used.

Composts	OM	Water	OM/N ratio	NaCl	HIS <sup>†</sup>
	%	%	%	%	%
Standard	30<	55>	45>	2.0>	26>
LC <sup>‡</sup>	43.51	40.46	31.08	0.79	5.18
FWC	46.85	35.5	38.08	0.31	7.75
MFWC	53.63	36.10	38.86	0.22	7.50

<sup>†</sup>HIS: HCl Insoluble Substance.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

**Table 8.** Concentration of heavy metals in various composts.

Composts	AS	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
Standard	< 45	< 5	< 2	< 130	< 200	< 360	< 45	< 900
LC <sup>‡</sup>	ND <sup>†</sup>	ND	ND	ND	29.71	94.92	12.53	272.52
FWC	ND	0.10	ND	0.76	0.43	3.71	0.22	24.99
MFWC	ND	0.09	ND	0.71	0.37	2.39	0.26	25.45

<sup>†</sup>ND: Not Detected.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

나 LC의 경우 Cr, Cu, Ni, Zn 등이 다소 높게 검출되었다(Table 8). 이는 동물사육 시 사료효율 촉진, 질병예방을 통해 Cu, Zn 등의 중금속이 함유된 영양제가 필수적으로 사용되기 때문에 나타난 결과로 보여진다 (Kang et al., 2010).

**퇴비 시용에 따른 작물생육 평가** 공시 작물인 토마토와 배추의 생육조사는 수확 전 4 주간의 생육측정 및 최종 수확 후의 엽장, 엽폭, 생중량, 건중량, 줄기길이, 뿌리길이, 엽색도 등을 측정하였다. 배추의 경우, 생육 단계에서 2 주차까지 무처리구와 비교 시 큰 차이를 보이지 않았으나, 3 주차부터 차이를 보이기 시작하면서 최종적으로 4 주차에서 Control < FWC < LC 순으로 차이를 보였다 (Table 9). LC + NPK 처리구와 MFWC + NPK 처리구가 수확 후 가장 높은 엽폭 수치 (17.6, 16.5 cm)를 나타냈었고, 이어 FWC + NPK의 엽폭 (15.0 cm)이 다음순으로 높은 수치를 보였으며, 다른 처리구에 비해 통계적으로 매우 유의하게 높은 값을 나타냈다. 또한 LC + NPK (12.5 cm) 와 MFWC + NPK (12.4 cm)가 최종 수확 후 뿌리길이에 있어서도 가장 높은 수치를 나타내었고, 다른 처리구에 비해 높은 값을 보였다 (Table 11). 최종수확 후 토마토의 경우도 비슷한 경향을 나타냈는데 엽장, 줄기길이, 총길이, 생중량, 엽록소 함량이 LC + NPK (14.5, 94.9, 112.6 cm, 139.3 g, 48.2 O.D)와 MFWC + NPK 처리구 (14.3, 93.8, 111.7 cm, 143.2 g,

**Table 9.** Chinese cabbage growth with different compost treatments for 4 weeks.

Treatments	1 Weeks			2 Weeks			3 Weeks			4 Weeks		
	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll
	Cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)	
Control	9.4	5.0	28.2	19.5	10.2	31.4	21.3	11.8	28.2	24.4	11.7	22.0
LC <sup>†</sup>	8.3	5.1	31.0	20.5	11.1	33.3	26.8	13.8	31.2	27.7	14.7	31.0
LC+NPK	9.1	4.7	31.0	19.1	10.9	33.6	29.3	16.7	34.1	30.8	17.6	36.9
FWC	10.0	6.5	33.0	19.2	10.8	32.9	24.1	12.4	32.4	26.4	13.6	35.4
FWC + NPK	8.2	5.6	39.3	19.9	10.4	35.6	26.7	14.5	33.2	28.6	15.2	34.4
MFWC	11.7	7.5	33.9	20.7	11.0	34.8	25.3	12.8	33.8	27.2	13.6	34.6
MFWC + NPK	9.2	6.1	38.3	21.1	11.2	34.4	27.6	15.1	33.6	29.3	16.3	37.4

<sup>†</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

**Table 10.** Tomato growth with different compost treatments for 4 weeks.

Treatments	1 Weeks			2 Weeks			3 Weeks			4 Weeks		
	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll	Leaf length	Leaf width	Chlorophyll
	cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)		cm	O.D(SPAD)	
Control	6.8	4.1	44.9	9.6	5.9	41.9	11.5	6.0	38.6	11.9	5.9	39.6
LC <sup>†</sup>	6.8	4.0	48.2	10.3	5.4	43.9	13.5	6.5	48.8	13.7	6.9	48.2
LC+NPK	6.8	4.1	46.3	10.3	5.7	44.1	13.9	6.7	47.8	14.5	7.7	49.5
FWC	6.5	3.4	40.7	9.3	5.5	43.7	12.9	6.4	45.1	13.6	6.3	45.6
FWC + NPK	6.1	3.6	38.1	10.2	5.8	43.6	13.2	6.7	46.7	14.1	6.9	47.3
MFWC	6.4	3.6	37.8	10.2	5.2	42.6	12.6	6.2	47.5	13.5	6.3	46.1
MFWC + NPK	6.2	3.1	39.2	11.2	5.6	45.9	13.6	6.4	46.9	14.2	7.1	44.2

<sup>†</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.



49.5 O.D)에서 각각 가장 높은 값을 보였으며, 이어서 FWC + NPK (13.7, 92.3, 108.9 cm, 129.0 g, 48.4 O.D)순인 것으로 나타났으며, 통계적으로 다른 처리구에 비해 유의한 차이를 보였다 (Table 10, 12). Yoon et al. (2007)에 의하면 부산물 퇴비가 보유하고 있는 높은 유기물 함량은 토양 내 양이온 치환용량 증대, 양분공급, 미생물 활성화 촉진 등 토양개량 효과를 증진한다는 연구결과가 있으며 (Yoon et al., 2007), 본 연구에서도 같은 경향을 확인할 수 있었다.

**토양의 이화학적 변화** 서로 다른 종류의 퇴비의 사용에 따른 수확 후 토양의 이화학적 변화를 확인하기 위해 토양화학분석법을 통하여 수확 후 pH, EC, OM, Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 양이온 (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>)의 이화학적 특성변화를 확인하였다. 배추와 토마토 재배토양의 pH는 LC의 처리구가 각각 7.00, 7.27로 가장 높은 수치를 보였으며, 무처리구 대비 다소 높은 pH값을 보였다. Kim et al. (1999)의 연구에서는 가축분(우분)이 가지고 있는 높은 질소함량으로 인해 pH가 증가되는 경향을 본 연구에서 확인하였으며 (Kim et al., 1999), 특히 토마토의 경우 뿌리에서 수소이온과 동시에 흡수되는 질산태 질소를 선호하는 경향이 있어 pH가 증가된 것으로 사료된다 (Kang et al., 2010). EC의 경우 정식 전 토양에 비해 전체적으로 상승하였으며, Hwang 등에 의하면 돈분, 우분, 계분 부숙퇴비를 처리 시 토양 내의 EC함

**Table 11.** Chinese cabbage growth with different treatments of compost.

Treatments	Leaf length	Leaf width	Fruit length	Root length	Total length	Fresh weight	Dry weight	Chlorophyll
	cm					g		O.D(SPAD)
Control	24.4±0.78 <sup>f†</sup>	11.7±0.67 <sup>d</sup>	27.9±1.13 <sup>c</sup>	11.1±1.73 <sup>b</sup>	39.0±1.56 <sup>d</sup>	104.5±10.76 <sup>f</sup>	9.6±1.82 <sup>d</sup>	22.0±0.82 <sup>e</sup>
LC <sup>‡</sup>	27.7±0.56 <sup>cd</sup>	14.7±0.54 <sup>bc</sup>	29.10±0.70 <sup>c</sup>	12.10±2.12 <sup>ab</sup>	41.2±2.33 <sup>bcd</sup>	150.1±12.58 <sup>cd</sup>	13.4±1.19 <sup>e</sup>	31.0±0.31 <sup>d</sup>
LC+NPK	30.8±0.21 <sup>a</sup>	17.6±0.43 <sup>a</sup>	33.8±1.60 <sup>a</sup>	12.5±2.04 <sup>a</sup>	46.3±3.43 <sup>a</sup>	217.5±11.63 <sup>a</sup>	15.0±0.88 <sup>bc</sup>	36.9±0.94 <sup>ab</sup>
FWC	26.4±0.48 <sup>e</sup>	13.6±0.52 <sup>c</sup>	28.7±0.12 <sup>c</sup>	11.2±0.29 <sup>ab</sup>	39.9±0.16 <sup>cd</sup>	158.5±4.24 <sup>e</sup>	14.6±0.39 <sup>bc</sup>	33.5±0.66 <sup>c</sup>
FWC + NPK	28.6±0.36 <sup>bc</sup>	15.0±0.62 <sup>b</sup>	31.0±0.48 <sup>b</sup>	12.3±0.41 <sup>ab</sup>	43.3±0.68 <sup>abc</sup>	211.5±2.02 <sup>bc</sup>	17.9±0.57 <sup>a</sup>	35.0±0.57 <sup>bc</sup>
MFWC	27.2±0.57 <sup>de</sup>	14.4±0.59 <sup>bc</sup>	28.9±0.51 <sup>c</sup>	11.3±0.16 <sup>ab</sup>	40.8±0.57 <sup>bcd</sup>	178.1±12.10 <sup>de</sup>	16.1±0.38 <sup>ab</sup>	36.5±2.13 <sup>ab</sup>
MFWC + NPK	29.3±0.66 <sup>b</sup>	16.5±0.49 <sup>a</sup>	32.3±0.39 <sup>ab</sup>	12.4±0.16 <sup>a</sup>	44.7±0.57 <sup>ab</sup>	212.7±11.14 <sup>ab</sup>	16.1±0.60 <sup>ab</sup>	38.1±0.24 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>The different letters are significantly ( $P < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple test.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

**Table 12.** Tomato growth with different treatments of compost.

Treatments	Leaf length	Leaf width	Shoot length	Root length	Total length	Fresh weight	Dry weight	Chlorophyll
	Cm					g		O.D(SPAD)
Control	11.5±0.59 <sup>c†</sup>	5.9±0.17 <sup>d</sup>	75.8±4.69 <sup>e</sup>	16.3±2.19 <sup>f</sup>	92.0±2.90 <sup>c</sup>	83.9±14.71 <sup>c</sup>	14.8±1.15 <sup>b</sup>	39.6±5.01 <sup>b</sup>
LC <sup>‡</sup>	13.7±0.41 <sup>a</sup>	6.9±0.91 <sup>abc</sup>	90.1±4.00 <sup>ab</sup>	18.2±2.75 <sup>d</sup>	108.3±2.21 <sup>a</sup>	121.4±9.89 <sup>ab</sup>	20.0±2.32 <sup>a</sup>	48.2±2.22 <sup>a</sup>
LC+NPK	14.5±0.41 <sup>a</sup>	7.7±0.59 <sup>a</sup>	94.9±1.92 <sup>a</sup>	17.7±1.96 <sup>a</sup>	112.6±2.71 <sup>a</sup>	139.3±21.60 <sup>a</sup>	18.4±3.06 <sup>a</sup>	49.5±1.39 <sup>a</sup>
FWC	11.9±0.21 <sup>ab</sup>	6.3±0.22 <sup>cd</sup>	75.8±1.01 <sup>c</sup>	16.4±0.34 <sup>ef</sup>	92.2±0.99 <sup>c</sup>	109.9±2.63 <sup>b</sup>	19.6±0.59 <sup>a</sup>	40.4±0.46 <sup>b</sup>
FWC + NPK	13.7±0.12 <sup>a</sup>	6.8±0.12 <sup>abcd</sup>	92.3±1.20 <sup>a</sup>	16.6±0.41 <sup>c</sup>	108.9±1.19 <sup>a</sup>	129.0±0.99 <sup>ab</sup>	18.6±0.34 <sup>a</sup>	48.4±0.40 <sup>a</sup>
MFWC	12.7±0.16 <sup>b</sup>	6.5±0.28 <sup>bcd</sup>	84.8±1.87 <sup>b</sup>	15.1±0.61 <sup>e</sup>	99.9±2.36 <sup>b</sup>	115.9±3.37 <sup>ab</sup>	19.9±0.58 <sup>a</sup>	45.5±0.45 <sup>a</sup>
MFWC + NPK	14.3±0.41 <sup>a</sup>	7.5±0.29 <sup>ab</sup>	93.8±0.43 <sup>a</sup>	17.9±0.86 <sup>b</sup>	111.7±0.75 <sup>a</sup>	143.2±12.88 <sup>a</sup>	19.1±0.80 <sup>a</sup>	49.5±0.17 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>The different letters are significantly ( $P < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple test.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

**Table 13.** Chemical properties of Chinese cabbage soil after harvesting.

Treatments	pH	EC	O.M	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cation (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	(1:5 H <sub>2</sub> O)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	Ca	K	Mg	Na
Control	5.8±0.19 <sup>f†</sup>	0.3±0.06 <sup>b</sup>	47.9±1.59 <sup>c</sup>	280.2±4.54	3.8±0.08 <sup>f</sup>	0.8±0.01 <sup>d</sup>	0.5±0.04 <sup>e</sup>	0.1±0.01 <sup>e</sup>
LC <sup>‡</sup>	7.0±0.01 <sup>a</sup>	0.4±0.06 <sup>a</sup>	60.2±0.94 <sup>b</sup>	284.8±13.55 <sup>b</sup>	3.7±0.16 <sup>c</sup>	0.8±0.02 <sup>b</sup>	0.6±0.01 <sup>b</sup>	0.2±0.01 <sup>b</sup>
LC+NPK	6.8±0.01 <sup>ab</sup>	0.4±0.04 <sup>ab</sup>	63.0±3.07 <sup>a</sup>	304.3±5.88 <sup>a</sup>	3.8±0.12 <sup>a</sup>	0.9±0.02 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>a</sup>	0.2±0.01 <sup>a</sup>
FWC	6.2±0.02 <sup>e</sup>	0.3±0.02 <sup>b</sup>	54.1±0.44 <sup>d</sup>	281.1±0.24 <sup>d</sup>	3.6±0.17 <sup>e</sup>	0.8±0.01 <sup>cd</sup>	0.5±0.02 <sup>cd</sup>	0.1±0.01 <sup>d</sup>
FWC+NPK	6.6±0.03 <sup>c</sup>	0.3±0.01 <sup>b</sup>	60.8±0.74 <sup>b</sup>	288.9±0.45 <sup>b</sup>	3.2±0.24 <sup>c</sup>	0.8±0.02 <sup>b</sup>	0.6±0.01 <sup>b</sup>	0.1±0.01 <sup>c</sup>
MFWC	6.3±0.02 <sup>d</sup>	0.4±0.05 <sup>ab</sup>	54.8±1.66 <sup>c</sup>	281.3±1.58 <sup>c</sup>	3.7±0.08 <sup>d</sup>	0.8±0.01 <sup>bc</sup>	0.6±0.01 <sup>bc</sup>	0.1±0.01 <sup>c</sup>
MFWC + NPK	6.7±0.02 <sup>b</sup>	0.4±0.01 <sup>ab</sup>	62.9±0.35 <sup>a</sup>	298.0±8.00 <sup>a</sup>	3.3±0.21 <sup>b</sup>	0.9±0.01 <sup>a</sup>	0.7±0.03 <sup>a</sup>	0.2±0.01 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>The different letters are significantly ( $P < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple test.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

**Table 14.** Chemical properties of Tomato soil after harvesting.

Treatments	pH	EC	O.M	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cation (cmol <sub>+</sub> kg <sup>-1</sup> )			
	(1:5 H <sub>2</sub> O)	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	Ca	K	Mg	Na
Control	6.3±0.02 <sup>e†</sup>	0.3±0.05 <sup>b</sup>	51.0±0.23 <sup>d</sup>	284.3±14.19 <sup>a</sup>	3.3±0.17 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>e</sup>	0.6±0.01 <sup>f</sup>	0.1±0.01 <sup>d</sup>
LC <sup>‡</sup>	7.3±0.03 <sup>a</sup>	0.4±0.01 <sup>ab</sup>	68.5±2.30 <sup>a</sup>	294.2±18.70 <sup>a</sup>	3.3±0.09 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>c</sup>	0.7±0.01 <sup>e</sup>	0.1±0.01 <sup>b</sup>
LC+NPK	7.2±0.01 <sup>ab</sup>	0.5±0.07 <sup>a</sup>	72.9±3.05 <sup>ab</sup>	304.3±12.63 <sup>a</sup>	3.4±0.17 <sup>a</sup>	0.9±0.01 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>a</sup>	0.2±0.01 <sup>a</sup>
FWC	7.1±0.01 <sup>d</sup>	0.3±0.02 <sup>b</sup>	55.2±0.28 <sup>c</sup>	284.6±0.62 <sup>a</sup>	3.6±0.19 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>d</sup>	0.6±0.01 <sup>e</sup>	0.1±0.01 <sup>c</sup>
FWC+NPK	7.2±0.02 <sup>bc</sup>	0.4±0.02 <sup>ab</sup>	67.8±1.22 <sup>bc</sup>	298.2±1.94 <sup>a</sup>	3.4±0.09 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>bc</sup>	0.7±0.01 <sup>c</sup>	0.1±0.01 <sup>b</sup>
Microorganism FWC	7.1±0.02 <sup>cd</sup>	0.3±0.05 <sup>b</sup>	56.3±0.64 <sup>bc</sup>	286.1±1.28 <sup>a</sup>	3.4±0.22 <sup>a</sup>	0.8±0.02 <sup>d</sup>	0.7±0.01 <sup>d</sup>	0.1±0.01 <sup>bc</sup>
Microorganism FWC + NPK	7.2±0.01 <sup>b</sup>	0.4±0.05 <sup>a</sup>	70.2±0.40 <sup>ab</sup>	303.8±3.23 <sup>a</sup>	3.7±0.21 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>b</sup>	0.8±0.01 <sup>b</sup>	0.2±0.01 <sup>a</sup>

<sup>†</sup>The different letters are significantly ( $P < 0.05$ ) different according to Duncan's multiple test.

<sup>‡</sup>LC, Livestock compost; FWC, Food waste compost; MFWC; Microorganisms food waste compost.

량이 증가된다는 연구결과가 보고되었다 (Hwang et al., 2002). 또한 음식물퇴비 처리 시 퇴비가 보유하고 있는 염류 함량으로 인해 무처리구 대비 조금 더 높은 EC 값을 보인 것으로 판단된다. 유기물의 경우 대조구에 비해 전체적으로 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 퇴비사용 시 각각의 퇴비의 함유된 유기물의 증가로 보여진다 (Suh and Yeon, 1998). 유효인산의 경우 무처리구에 비해 소량 증가하는 경향을 보였고, 화학비료 처리구의 경우 퇴비 처리구와 비슷한 수준의 값을 보였다. 양이온은 Ca를 제외한 나머지 이온들 (K, Mg, Na)에서 증가하는 경향을 보였다 (Table 13, 14).

## Conclusions

미생물제제가 처리된 음식물 쓰레기 퇴비의 퇴비로써 가치를 평가하고 작물생육조사를 통해 가축분 퇴비와 작물 생육과 토양의 화학적 특성의 변화를 비교 분석하고자 본 연구를 수행하였다. 배추의 경우 가축분 + 화학비료 (N, P, K) 처리구와 미생물제제 처리 음식물 퇴비 + 화학비료 처리구가 가장 높은 엽폭 수치를 나타내었고, 이어 음식물 퇴비 + 화학비료 처리구의 엽폭이 다음순으로 높은 수치를 나타냈으며, 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나

타냈다. 또한 가축분 + 화학비료를 처리한 처리구와 미생물제제 처리 음식물 퇴비 + 화학비료 처리구가 최종수확 후 뿌리길이에 있어서도 가장 높은 수치를 나타내었고, 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 최종수확 후 토마토의 경우도 비슷한 경향을 나타냈는데 엽장, 줄기길이, 총길이, 엽록소함량이 가축분 + 화학비료를 처리한 처리구와 미생물제제처리 음식물 퇴비 + 화학비료 처리구에서 각각 가장 높은 값을 보였으며, 이어서 음식물 퇴비 + 화학비료 순인 것으로 나타났으며, 통계적으로 다른 처리구에 비해 유의한 차이를 보였다. 음식물 퇴비의 경우 높은 염류함량으로 문제가 되고 있지만 본 실험에서는 2.0% 보다 낮은 수치로 작물에 영향을 미치지 않았다. 유해중금속 8종 또한 기준치 미만의 값을 보여주었고, 음식물 퇴비 처리시 무처리구에 비해 pH, 유기물함량, 유효인산, 치환성양이온 모두 유의하게 증가하는 경향을 확인하였다. 위 결과를 토대로 추후 퇴비의 시비 처리량 및 혼합비에 대한 연구를 지속적으로 진행할 필요가 있는 것으로 사료된다.

## Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ010848)” Rural Development Administration, Republic of Korea and This study was supported by 2016 research grant from KNU (N0. 520160266).

## References

- Agricultural technology institute. 2015. Soil and compost analysis. 23-97
- Bae, I.S., K. Jung, and D.H. Lee. 2000. Food Waste Composting by Soil Microbial Inoculators. Korea Organic Resource Recycling Association. 8(4):160-167.
- Han, S.C., U.J. Park, H.S. Lee, J.H. Ahn, and C.K. Lee. 2007. Aerobic composting with foodwastes depending on sodium chloride concentration and types of bulking agent. The 2007 environmental societies joint conference. 941-944.
- Hwang, K.S., Q.S. Ho, H.D. Kim, and J.H. Kim. 2002. Changes of Electrical Conductivity and Nitrate Nitrogen in Soil Applied with Livestock Manure. Korean J. Environ Agric. 21(3):197-201.
- Hwang, S.H., C.H. Shin, B.Y. Shin, and M.H. Cho. 1999. A Study on Aerobic Composting of Food Waste with Controlling Temperature by Air Flow Rate. Korea journal of biotechnology and bioengineering. 14(6):621-627.
- Kang, B.M., H.U. Hwang, J.H. Kim, Y.W. Yang, and Y.J. Kim. 2011. Study on reutilization with aerobic microbes of organic food waste leachates. J. Korea. soc. envir. engi. pp. 54-59.
- Kang, C.S., A.S. Roh, S.K. Kim, and K.Y. Park. 2011. Effects of the Application of Livestock Manure Compost on Reducing the Chemical Fertilizer Use for the Lettuce Cultivation in Green House. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(3):457-464.
- Kang, J.M., S.B. Cho, S.K. Kim, S.S. Lee, and S.K. Lee. 2010. Contamination Analysis of Heavy Metals in Commercoal Feed for the Production of Safe-Animal Products. Journal of Life Science. 20(5):717-722.
- Kang, Y.I., J.K. Kwon, K.S. Park, I.H. Yu, S.Y. Lee, M.W. Cho, I.B. Lee, and N.J. Kang. 2010. Changes of Tomato Growth and Soil Chemical Properties as Affected by Soil pH and Nitrogen Fertilizers. Korea Journal of Environmental Agriculture. 29(4):328-335.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 1999. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 32(3): 239-253.

- Kim, N.C. and D.H. Kim. 2000. Effect of Salinity Concentration on Aerobic Composting of Food Waste. *Jornal of Korea Organic Resource Recycling Association*. 8(2):124-129.
- Kim, Y.K., C.G. Phae, H.K. Choi, S.M. Kim, and E.Y. Hwang. 2005. Physical and chemical analysis of organic wastes for the establishment of total management system. *J. Korea Org. Resour. Recycl.Assoc.* pp. 128-142.
- Kim, Y.S., S.K. Ham, and H.J. Lim. 2012. Monitoring of soil chemical properties and pond water quality on golf courses after application of SCB liquid fertilizer. *Asian J. Turfgrass Sci.* 26(1):44-53.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, K.S. Seong, W.K. Park, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009. The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants. *Korea Organic Resource Recycling Association*. 17(3):71-81.
- Lee, C.H., S.J. Park, M.S. Kim, M.S. Kim, S.G. Yun, B.G. Ko, D.B. Lee, S.C. Kim, and T.K. Oh. 2015. Characteristics of compost produced in food waste processing facility. *Journal of Agricultural Science*. 42(3):177-181.
- Lee, J.I. and D.S. Lim. 2003. Economical Analysis of Food Waste Resources. *J. Korea Soc.Waste Manage.* 11(2): 46-52.
- Lee, K.B., J.G. Kim, Y.K. Shin, D.B. Lee, S.B. Lee, and J.D. Kim. 2005. Effect of livestock compost and soil condition application on greenhouse gases emission in paddy soil. *Korean J. Environ Agric.* 24(2):117-122.
- Lee, Y.H. and S.R. Park. 2001. Isolation and characteristics of composting promoting bacteria. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(4):394-400.
- Ministry of Environment. 2017. 5th National Waste Statistics Survey. 11-1480000-001528-13.
- Ministry of Environment. No. 2012-203. 2012.
- National institute of agricultural science. 2017. Criteria for the use of fertilizers by crops. 11-1390802-001174-01.
- Park, P.S., D.Y. Oh, C.J. Cheong, E.S. Jang, and H.W. Song. 2017. Estimation of Characteristics Treatment for Food Waste using Ultra Thermophilic Aerobic Composting Process. *J. of Korea Society of Waste Management*. 34(2):140-147.
- Phae, C.G. 2002. Problems and solutions for the operation of food waste composting facilities. *J. Korea Org. Resour. Recycl.Assoc.* 10(2):25-37.
- Phae, C.G., H.S. Sim, J.H. Hwang, and K.W. Baek. 1999. Change of Microorganism and Effect of temperature control on Gabage composting. *Korea Organic Resource Recycling Association*. pp. 64-72.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Standard methods for agri-cultural experiment. RDA. Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2016. Establishment and designation of official standard of fertilizers. Notification No. 2016-27 of RDA.
- Ryu, J.H., J.J. Lee, J.H. Hong, K.W. Chang, and G.S. Lee. 2010. The Study on the Composting by Using Dam Suspended Particle Sawdust and Sewage Sludge. *Korea Organic Resource Recycling Association*. 18(1):98-103.
- Seo, M.S., K.H. So, and W.M. Park. 1999. Assays of Maturity and Antifungal Activity against Plant Pathogen during the Animal Manure Composting Process. *Korea Journal of Soil Science and Fertilizer*. 32(3):285-294.
- Soil Test and Plant Analysis II. 2014. Korea Forest Research Institute. 11-1400377-000749-01.
- Suh, J.S. and B.Y. Yeon. 1998. Thermophilic bacillus species as a microbial indicator of the history of compost application. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(3):285-290.
- Yoo, J.H., J.H. Joo, S.G. Kim, and I.H. Jang. 2016. Isolation and characterization of protease producing *B. amyloliquefaciens* JH-35 from Food Waste. *Korean J. Environ Agric.* 35(4):294-301.
- Yun, H.B., Y. Lee, C.Y. Yu, J.E. Yang, Y.B. Lee, and K.S. Lee. 2007. Soil Organic Matter Fractions in Upland Soil under Successive Application of Animal Manure Composts. *Korea Journal of Soil Science and Fertilizer*. 40(5):400-404.