

## Effect of Food Waste Compost on Crop Productivity and Soil Chemical Properties under Rice and Pepper Cultivation

Chang Hoon Lee, Byong-Gu Ko, Myung-Sook Kim, Seong-Jin Park, Sun-Gang Yun, and Taek-Keun Oh<sup>1\*</sup>

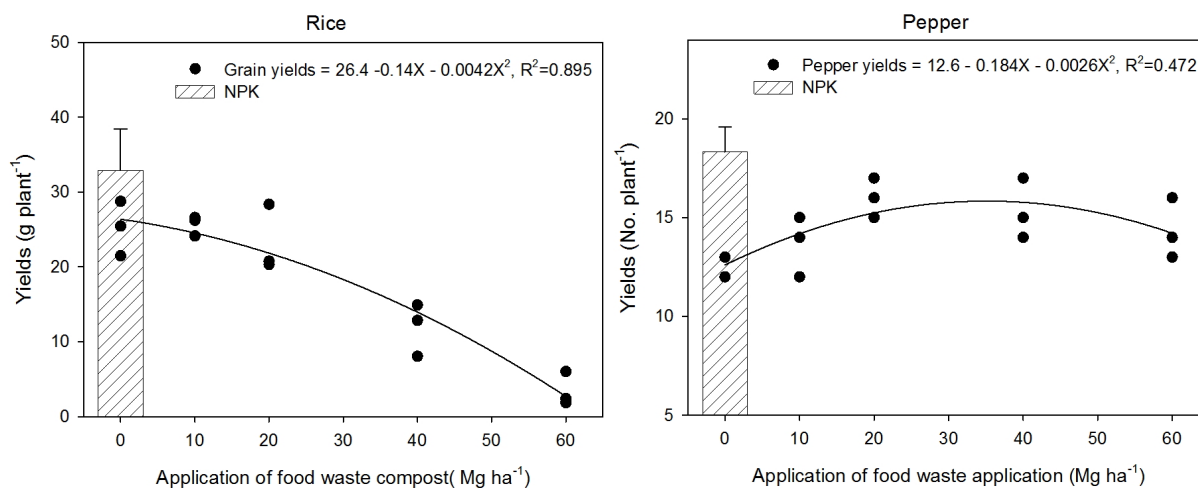
Soil and Fertilizer Management Division, NAAS, RDA, Wanju, 55365, Korea.

<sup>1</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

(Received: September 1 2016, Revised: November 10 2016, Accepted: November 11 2016)

Food waste has recognized one of useful sources for potentially agricultural application to supply organic matter and nutrients in arable soil. However, there was little information on application of food waste compost related to the maturity and NaCl content in arable soil. This study evaluated the effect of food waste compost application on yield and fertility in soil under flooding and upland condition. The yields in rice and pepper cultivation decreased with increasing the rate of food waste compost application in soil ( $p < 0.05$ ). Maximum yields of rice ( $49.0 \text{ g plant}^{-1}$ ) and pepper ( $204 \text{ g plant}^{-1}$ ) were shown at 10 and 30  $\text{Mg ha}^{-1}$  of food waste compost application, respectively. The N, P, and K contents in grain and plant residues increased by the application of food waste compost, there was no difference on Na/K ratio in plant tissue among the treatments. Application of food waste compost resulted in the increase of pH, EC, TC, available P contents in soil after crop harvest, especially, which was shown the increase of the CEC and exchangeable sodium percentage (ESP) contents in irrespective of water condition. In conclusion, application of food waste compost in soil was effective on the supply of the organic matter and nutrient. However, it might need caution to apply food waste compost for sustainable productivity in arable soil because of potential Na accumulation.

**Key words:** Food waste compost, Nutrient uptake, Na content, Rice, Pepper



**Yield response in paddy and upland soil applied with food waste compost.**

\*Corresponding author: Phone: +82428216735, Fax: +82428216731, E-mail: ok5382@cnu.ac.kr

§Acknowledgement: This study was supported by research project of National Academy of Agricultural Science (PJ010925012016), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

국내에서 발생하는 음식물쓰레기는 2003년 11,398 ton day<sup>-1</sup>에서 2011년 13,537 ton day<sup>-1</sup>으로 증가되고 있다 (NIER, 2012). 음식물쓰레기의 성분은 수분함량이 80% 이상이며, 2~3%의 염분을 함유하고 있다 (Lee and Chang, 1998), 현재는 음식물쓰레기를 퇴비로 자원화가 위해 가수 및 탈수공정을 거친 중간처리산물을 이용하여 퇴비로 자원화하고 있다 (Lee et al., 2015). 2012년 음식물쓰레기 총 발생량의 409 만톤의 43.8%인 179만톤이 음식물쓰레기 퇴비화 시설에서 퇴비로 생산되고 있는 실정이다 (Lee et al., 2015).

음식물쓰레기 퇴비화는 자원회수 기술의 하나로서 음식물쓰레기의 감량화 및 재활용 성격을 가지고 있지만, 농경지에 유기물 공급 및 작물생육을 위한 토양개량제 및 비료 대체 수단으로 활용이 가능하다. Lee et al. (2015)은 전국 음식물쓰레기 처리시설에서 생산한 퇴비의 성분을 조사한 결과, 유기물 함량의 범위는 43.3~80.7%이었고, 음식물쓰레기 퇴비에 포함된 질소는 1.32~4.59%으로 평균 2.80%, 인산과 칼륨은 각각 0.81~3.23%와 0.16~6.42%로 평균 2.09와 1.13%를 함유하고 있었다. 이외에도 칼슘 및 마그네슘은 각각 2.23~17.4%와 0.22~2.94%로 평균 8.73과 0.72%이었다. 이와 같이 음식물쓰레기 퇴비는 작물생육에 필요한 양분공급 뿐만 아니라 토양의 pH 조절, 보습 효과 등 토양개량제로 이용될 수 있다 (Giusquiani et al., 1995). 음식물쓰레기 퇴비의 사용에 따른 양이온 치환능력 향상, 완충능 증대, 중금속 유해작용 감소 등 토양의 화학성을 개선하는 등 다양한 연구결과들이 보고되고 있다 (Lee et al., 2000; So et al., 2007)

농경지에 음식물쓰레기 퇴비 사용에 따른 문제점 중에 하나가 염분 (NaCl)함량이 지적되고 있다. 토양 중 Na는 토양 삼투포텐셜을 높여 작물의 수분흡수를 저해하며 작물 생산성을 감소시킨다 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997). 또한 토양입단을 교란시켜 근권 생육저해, 배수불량 및 환원장애를 초래하기도 한다 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997). 그러나 논과 밭의 토양검정 퇴비사용으로 음식물쓰레기 퇴비를 사용한 결과, 관행구 (NPK) 대비하여 벼와 고추의 수량감소는 없었고, 토양의 용적밀도는 향상되는 결과를 나타내었다 (Kwon et al., 2009a,b). 그러나 토양 중 치환성 Na 함량이 높아지는 결과를 나타내었다. 최근 음식물쓰레기 퇴비의 품질 기준 중에 염분함량이 1.0%

에서 2.0%로 상향되었다 (RDA, 2015). 음식물쓰레기 퇴비는 농경지에 유기물 및 양분공급 등 장점을 가지고 있으나, 염분함량에 따른 안정생산에 대한 우려가 제기되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 논과 밭토양 조건에서 작물생산성과 토양화학성에 미치는 영향을 평가하여 지속적인 음식물쓰레기 퇴비의 적정 사용량을 제안하고자 하였다

## Materials and Methods

**포트시험** 본 시험에 사용된 음식물 퇴비는 자원화시설에서 생산된 안정화 과정을 거쳐 생산된 것이며, 시험 토양은 국립농업과학원내 시험포장에서 채취한 식양토였다 (Table 1). 와그너포트 (1/2000a) 바닥에서 15 cm까지는 용적밀도를 1.4 g cm<sup>-3</sup>, 표토는 10 cm 토양 깊이로 용적밀도를 1.2 g cm<sup>-3</sup>로 하여 음식물쓰레기 퇴비를 잘 혼합하여 와그너포트에 충전하였다. 처리구는 음식물쓰레기 퇴비를 0, 10, 20, 40, 60 Mg ha<sup>-1</sup> 난괴법 3반복으로 온실에 배치하였다. 이때 대조구인 NPK 처리구는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 성분량으로 벼는 110-45-57 kg ha<sup>-1</sup>, 고추는 192-112-149 kg ha<sup>-1</sup>을 사용하였다. 이때 벼와 고추재배를 위해 밑거름으로 N과 K<sub>2</sub>O는 각각 50%와 70%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 100% 시비하였다. 벼의 웃거름은 정식 25일에 질소 추천시비량의 20%, 60일에는 질소와 칼륨의 추천시비량을 각각 30%를 사용하였다. 고추의 웃거름은 정식 35일에 질소를 20%, 45일에는 N과 K<sub>2</sub>O를 각각 30%를 사용하였다. 2015년 5월부터 10월까지 물 관리는 벼 재배 기간 동안 5 cm 높이로 담수하였고, 고추는 중량수분 25% 범위로 관수하였다.

**작물 수량조사** 작물 생육조사는 농촌진흥청의 농사시험연구 조사기준에 준하여 초장, 경장을 측정하였다 (RDA, 1999). 고추수량은 5회에 걸쳐 수확하여 총 개수로 산정하였다. 벼 수량은 건조한 다음 정조수량을 잰 후에 수량특성을 조사하였다.

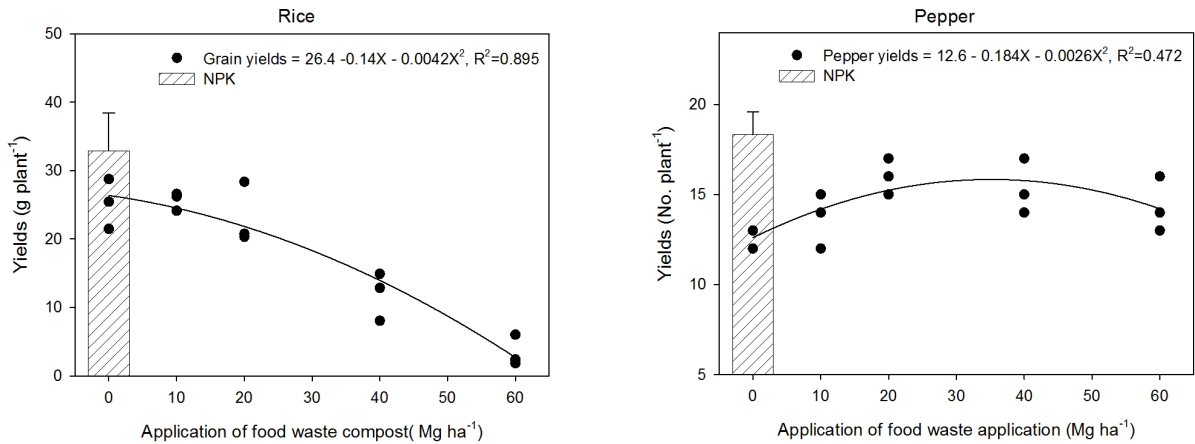
**토양 및 식물체 분석** 토양 pH와 EC는 1:5법으로 측정하였고, total C (TC)와 total N (TN) 함량은 시료를 곱게 분쇄한 후에 원소분석기로 측정하였다. 유효인산은 Lancaster 법, CEC (cation exchange capacity)와 치환성 양이온함량은 1N-NH<sub>4</sub>OAc법을 이용하였다. 치환성나트륨비율(ESP)는 치환성 Na/CEC × 100으로 산정하였다. 식물체의 총질소는

**Table 1. Chemical properties of soil used pot experiment.**

Soil texture	pH	EC	OM	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cations				CEC
					K	Ca	Mg	Na	
	1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol kg <sup>-1</sup>				
Clay Laom	7.28	0.73	17.3	289	0.89	9.11	2.06	0.11	9.1

**Table 2. Chemical composition of food waste compost (FWC) used the this test.**

Moisture	OM	OM/N	TN	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	NaCl
%	%					%		
51.2	71.3	24.0	3.00	3.29	1.20	7.72	0.24	2.07



**Fig. 1. Yield response of rice grain and pepper in paddy and upland soil applied with food waste compost.**

**Table 3. Yield composition of rice and pepper at harvesting stage.**

Treatments	Rice					Pepper			
	Tiller No No plant <sup>-1</sup>	Ear No No ear <sup>-1</sup>	Wt. of 1000 g	Ripening %	Straw No plant <sup>-1</sup>	Length cm	Thickness fruit <sup>-1</sup>	Weight g	Plant No plant <sup>-1</sup>
FWC 0	15.0 <sup>ab</sup>	108.3 <sup>a</sup>	16.4 <sup>ab</sup>	61.7 <sup>a</sup>	50.2 <sup>a</sup>	10.9 <sup>b</sup>	16.5 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	38.6 <sup>a</sup>
FWC 10	16.3 <sup>a</sup>	103.1 <sup>a</sup>	16.5 <sup>ab</sup>	58.3 <sup>a</sup>	49.0 <sup>ab</sup>	12.3 <sup>ab</sup>	17.2 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	38.7 <sup>a</sup>
FWC 20	14.3 <sup>ab</sup>	117.3 <sup>a</sup>	16.0 <sup>ab</sup>	59.2 <sup>a</sup>	40.4 <sup>b</sup>	13.0 <sup>ab</sup>	17.9 <sup>a</sup>	12.8 <sup>a</sup>	38.6 <sup>a</sup>
FWC 40	12.0 <sup>b</sup>	98.0 <sup>a</sup>	11.4 <sup>b</sup>	21.1 <sup>b</sup>	30.7 <sup>c</sup>	14.3 <sup>a</sup>	18.2 <sup>a</sup>	12.4 <sup>a</sup>	39.0 <sup>a</sup>
FWC 60	6.7 <sup>c</sup>	71.4 <sup>b</sup>	5.8 <sup>c</sup>	4.3 <sup>b</sup>	19.3 <sup>d</sup>	13.0 <sup>ab</sup>	16.8 <sup>a</sup>	11.8 <sup>a</sup>	38.6 <sup>a</sup>
NPK	17.0 <sup>a</sup>	118.7 <sup>a</sup>	18.7 <sup>a</sup>	67.6 <sup>a</sup>	51.8 <sup>a</sup>	12.9 <sup>ab</sup>	17.5 <sup>a</sup>	12.2 <sup>a</sup>	39.7 <sup>a</sup>

Note) Symbols means significance by DMRT (p<0.05)

원소분석기 (Vario-Max)로 측정하였고, P, K, Ca, Mg, Na 함량은 ternary solution (HClO<sub>4</sub>: HNO<sub>3</sub>: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=10:1:4)으로 완전 분해 한 후에 Whatman No 2 여지에 여과한 여액을 이용하였다. 총 인산 (TP) 함량은 ammonium vanadate법, K, Na 함량은 유도결합플라즈마 (Induced coupling plasma spectroscopy, GBC)로 측정하였다 (NAS, 2000). 벼와 고추의 Na/K비는 당량비로 산정하였다.

**통계처리** 모든 데이터는 SAS 9.2 프로그램으로 분산분석을 실시하였고, 유의수준 5%에서 던컨검정으로 처리간 평균을 비교하였다.

**Results**

**작물수량 특성** 작물별 토양조건 (담수 및 비담수)에서 음식물쓰레기 퇴비사용이 벼와 고추수량에 미치는 영향은

Fig. 1과 같다. 벼와 고추의 최고수량은 음식물쓰레기 퇴비를 각각 10 Mg ha<sup>-1</sup>와 30 Mg ha<sup>-1</sup> 시용한 처리에서 나타났다. 대조구인 NPK 처리구의 벼 정조와 고추 개수는 각각 51.8 g 주<sup>-1</sup>과 18.3개 주<sup>-1</sup>이었고, 음식물쓰레기 퇴비사용구의 최고수량의 지수는 NPK에 대비 각각 94.6과 87.2이었다. Table 3과 같이, 논에 음식물쓰레기 퇴비의 시용으로 이삭수와 등숙율이 급격하게 감소되었다 (p<0.05). 그러나 음식물쓰레기 퇴비의 시용량이 증가하더라도 고추 생육 및 품질은 처리간 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 논과 밭토양 조건에 음식물쓰레기 퇴비의 시용은 벼와 고추수량을 각각 15.5% 높이는 것으로 보고되었다 (Kwon et al., 2009a,b). 그러나 본 연구결과는 논과 밭토양 조건에서 음식물쓰레기 퇴비사용은 10과 30 Mg ha<sup>-1</sup>가 한계 시용량으로 평가되었다. 이러한 차이는 논과 밭 토양에서 음식물쓰레기에 포함된 이분해성 유기물분해가 작물 근권의 환원발달에 영향을 미쳤던 결과로 해석된다.

**Table 4. Nutrient contents of rice and pepper in soil applied with different rates of food waste compost.**

Crops	Treatments	Grain or Fruits				Plant			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na/K	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na/K
		g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>			
Rice	FWC 0	7.9 <sup>d</sup>	0.68 <sup>a</sup>	0.46 <sup>b</sup>	0.022 <sup>b</sup>	6.0 <sup>c</sup>	0.53 <sup>b</sup>	2.24 <sup>c</sup>	0.025 <sup>ab</sup>
	FWC 10	8.2 <sup>cd</sup>	0.65 <sup>a</sup>	0.49 <sup>b</sup>	0.029 <sup>b</sup>	6.4 <sup>c</sup>	0.43 <sup>b</sup>	2.39 <sup>c</sup>	0.023 <sup>b</sup>
	FWC 20	9.1 <sup>bc</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.52 <sup>b</sup>	0.025 <sup>b</sup>	8.6 <sup>b</sup>	0.51 <sup>b</sup>	3.06 <sup>b</sup>	0.027 <sup>ab</sup>
	FWC 40	10.5 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.048 <sup>a</sup>	15.3 <sup>a</sup>	0.71 <sup>a</sup>	3.84 <sup>a</sup>	0.023 <sup>ab</sup>
	FWC 60	10.0 <sup>ab</sup>	0.63 <sup>a</sup>	0.65 <sup>b</sup>	0.027 <sup>b</sup>	16.6 <sup>a</sup>	0.73 <sup>a</sup>	3.54 <sup>a</sup>	0.029 <sup>a</sup>
	NPK	8.2 <sup>cd</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0.50 <sup>ab</sup>	0.035 <sup>ab</sup>	6.2 <sup>c</sup>	0.48 <sup>b</sup>	2.56 <sup>c</sup>	0.025 <sup>ab</sup>
Pepper	FWC 0	20.1 <sup>ab</sup>	1.08 <sup>a</sup>	3.98 <sup>a</sup>	0.022 <sup>b</sup>	11.0 <sup>a</sup>	1.82 <sup>a</sup>	5.99 <sup>a</sup>	0.025 <sup>ab</sup>
	FWC 10	18.9 <sup>ab</sup>	0.91 <sup>a</sup>	3.80 <sup>ab</sup>	0.029 <sup>b</sup>	10.2 <sup>a</sup>	1.85 <sup>a</sup>	5.93 <sup>a</sup>	0.023 <sup>b</sup>
	FWC 20	22.6 <sup>ab</sup>	0.99 <sup>a</sup>	4.09 <sup>a</sup>	0.025 <sup>b</sup>	10.7 <sup>a</sup>	1.78 <sup>ab</sup>	5.92 <sup>a</sup>	0.027 <sup>ab</sup>
	FWC 40	27.5 <sup>ab</sup>	1.00 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	0.048 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>	1.52 <sup>b</sup>	5.80 <sup>a</sup>	0.023 <sup>ab</sup>
	FWC 60	29.5 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	3.64 <sup>ab</sup>	0.027 <sup>b</sup>	10.9 <sup>a</sup>	1.16 <sup>c</sup>	5.98 <sup>a</sup>	0.029 <sup>a</sup>
	NPK	17.1 <sup>b</sup>	0.89 <sup>a</sup>	3.49 <sup>b</sup>	0.035 <sup>ab</sup>	9.4 <sup>a</sup>	0.80 <sup>d</sup>	5.40 <sup>a</sup>	0.025 <sup>ab</sup>

Note) Symbols means significance by DMRT ( $p < 0.05$ )

**양분흡수특성** 논과 밭토양 조건에서 음식물쓰레기 퇴비사용에 따른 작물의 흡수특성을 평가하였다. 음식물쓰레기 퇴비의 사용은 벼와 고추 중 질소함량을 증가시켰다 (Table 4). 논토양 조건에서 최고의 정조 수량을 나타낸 10 Mg ha<sup>-1</sup>의 음식물쓰레기 퇴비사용구에서 정조와 벚짚의 질소함량은 각각 8.2와 6.4 g kg<sup>-1</sup>으로 NPK 처리구의 질소함량과 차이가 없었다 ( $p < 0.05$ ). 밭토양 조건에서 30 Mg ha<sup>-1</sup>의 음식물쓰레기 퇴비를 사용에 의해 고추의 최고수량을 얻을 수 있는 것으로 평가되었다 (Fig. 1). 이때, 음식물쓰레기 퇴비를 20 Mg ha<sup>-1</sup>와 40 Mg ha<sup>-1</sup> 사용한 처리구의 고추와 식물체의 질소함량은 각각 22.6–27.5 g kg<sup>-1</sup>와 10.5–10.7 g kg<sup>-1</sup> 범위에 있었고, Table 4와 같이 NPK 처리구의 고추와 식물체의 질소함량인 17.1와 9.4 g kg<sup>-1</sup>와 비교한 결과가 나타내듯이 고추 및 식물체 질소함량 간에는 통계적인 유의차가 없었다 ( $p < 0.05$ ).

음식물쓰레기 퇴비사용은 벼의 정조와 벚짚의 P와 K 함량에도 영향을 미쳤다 (Table 4). 음식물쓰레기 퇴비는 정조 중 P 함량에는 영향을 미치지 않았다 ( $p < 0.05$ ). 벚짚 중 P 함량은 음식물쓰레기 퇴비 사용량이 증가함에 따라 증가하였다 ( $p < 0.05$ ). 또한 정조와 벚짚 중 K 함량은 음식물쓰레기 퇴비사용량이 높아짐에 따라 증가되었다 ( $p < 0.05$ ). 그러나 밭토양 조건에서 고추 중 P 함량은 음식물쓰레기 퇴비 사용량이 높아지더라도 처리 간에 뚜렷한 P 함량의 차이는 없었고 ( $p < 0.05$ ), 고추 식물체 중 P 함량은 감소되었다 ( $p < 0.05$ ). 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 높아짐에 따라 고추 중 K 함량은 NPK의 K 함량에 비해 다소 높았으나, 고추 식물체 중 K 함량은 처리가 차이가 없었다 ( $p < 0.05$ ). 특히 음식물쓰레기 퇴비의 사용에 의해 벼와 고추의 최고수량을

보인 10과 30 Mg ha<sup>-1</sup> 사용한 처리구의 벼와 고추 중의 Na/K 당량비는 NPK와는 차이를 나타내지 않았다 ( $p < 0.05$ ). 논과 밭토양 조건에서 음식물쓰레기 퇴비를 10과 30 Mg ha<sup>-1</sup> 사용은 벼와 고추 생육을 위한 양분공급효과가 있었고, Na 함량에 의한 작물 장애는 나타나지 않았다. 그러나 논과 밭토양에서 음식물쓰레기 퇴비의 과량사용은 작물생산성의 감소가 우려되기 때문에 농경지에 음식물쓰레기 퇴비를 효과적으로 활용하기 위해서는 작물의 안정생산을 고려한 적정 시비체계를 구축이 필요할 것으로 판단된다.

**토양특성** 음식물쓰레기 사용에 따른 작물 수확기 토양 특성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 논과 밭토양 조건에서 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 높아짐에 따라 토양 pH와 EC를 증가시켰다 ( $p < 0.05$ ). 또한 TC 함량과 치환성 K, Ca, Mg, Na 함량도 증가되었다 ( $P < 0.05$ ). 그러나 음식물쓰레기 퇴비를 10와 30 Mg ha<sup>-1</sup> 사용하더라도 토양 유효인산 (Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 함량은 증가되지 않았다. 음식물쓰레기 퇴비는 수확기 토양의 CEC를 높일 수 있었다 (Table 5). 논 토양에서 40 Mg ha<sup>-1</sup> 이상, 밭 토양에서 20 Mg ha<sup>-1</sup> 이상의 음식물쓰레기 퇴비의 사용으로 수확기 토양의 CEC를 향상시킬 수 있었다. 비록 음식물쓰레기 퇴비의 사용으로 CEC를 높일 수 있으나, 음식물쓰레기 사용량이 높아짐에 따라 수확기 토양 중 치환성 Na 함량의 증가로 인해 토양의 ESP가 증가되었다 ( $p < 0.05$ ). 음식물쓰레기 퇴비의 사용함에 따라 수확기 토양의 EC는 논 토양에 비해 밭 토양이 약 25.6~42.6% 더 높아지기 때문에 (Table 5), 음식물쓰레기 퇴비의 연용은 밭 토양에 잠재적인 염류장애 유발 가능성이 높아질 것으로 예측된다.

**Table 5. Chemical properties in soil applied with different rates of food waste compost at harvesting stage.**

Crops	Treatments	pH	EC	TC	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cations				CEC	ESP
						K	Ca	Mg	Na		
		1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmo kg <sup>-1</sup>				%	
Rice	FWD 0	7.16 <sup>b</sup>	0.32 <sup>c</sup>	9.0 <sup>c</sup>	176 <sup>b</sup>	0.68 <sup>b</sup>	8.8 <sup>d</sup>	2.02 <sup>ab</sup>	0.24 <sup>ab</sup>	13.4 <sup>ab</sup>	1.76 <sup>ab</sup>
	FWD 10	7.31 <sup>b</sup>	0.35 <sup>c</sup>	11.1 <sup>c</sup>	182 <sup>b</sup>	0.72 <sup>b</sup>	10.1 <sup>c</sup>	1.86 <sup>b</sup>	0.24 <sup>ab</sup>	12.6 <sup>b</sup>	1.91 <sup>ab</sup>
	FWD 20	7.38 <sup>b</sup>	0.35 <sup>c</sup>	13.3 <sup>b</sup>	186 <sup>b</sup>	0.63 <sup>b</sup>	9.8 <sup>c</sup>	1.75 <sup>b</sup>	0.25 <sup>ab</sup>	13.3 <sup>b</sup>	1.86 <sup>ab</sup>
	FWD 40	7.77 <sup>a</sup>	0.43 <sup>b</sup>	17.7 <sup>a</sup>	180 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>	11.8 <sup>b</sup>	1.84 <sup>b</sup>	0.25 <sup>ab</sup>	15.1 <sup>a</sup>	1.65 <sup>ab</sup>
	FWD 60	7.81 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>	18.7 <sup>a</sup>	214 <sup>a</sup>	1.14 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	2.22 <sup>b</sup>	0.29 <sup>a</sup>	14.1 <sup>ab</sup>	2.06 <sup>a</sup>
	NPK	7.14 <sup>b</sup>	0.34 <sup>c</sup>	9.3 <sup>c</sup>	175 <sup>b</sup>	0.71 <sup>b</sup>	8.7 <sup>d</sup>	1.94 <sup>a</sup>	0.23 <sup>b</sup>	13.2 <sup>b</sup>	1.77 <sup>ab</sup>
Pepper	FWD 0	7.46 <sup>c</sup>	0.43 <sup>b</sup>	9.8 <sup>c</sup>	248 <sup>c</sup>	0.87 <sup>c</sup>	9.8 <sup>d</sup>	2.45 <sup>bc</sup>	0.20 <sup>b</sup>	8.9 <sup>b</sup>	2.28 <sup>b</sup>
	FWD 10	7.66 <sup>b</sup>	0.53 <sup>b</sup>	11.2 <sup>bc</sup>	291 <sup>bc</sup>	0.92 <sup>bc</sup>	11.6 <sup>cd</sup>	2.42 <sup>bc</sup>	0.31 <sup>b</sup>	9.0 <sup>b</sup>	3.45 <sup>ab</sup>
	FWD 20	7.75 <sup>b</sup>	0.61 <sup>b</sup>	11.1 <sup>bc</sup>	281 <sup>c</sup>	1.01 <sup>bc</sup>	12.5 <sup>c</sup>	2.23 <sup>bc</sup>	0.36 <sup>ab</sup>	11.1 <sup>ab</sup>	3.23 <sup>ab</sup>
	FWD 40	7.95 <sup>a</sup>	0.69 <sup>ab</sup>	12.8 <sup>b</sup>	334 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	16.0 <sup>b</sup>	2.21 <sup>c</sup>	0.36 <sup>ab</sup>	12.6 <sup>a</sup>	3.17 <sup>ab</sup>
	FWD 60	7.98 <sup>a</sup>	0.98 <sup>a</sup>	16.9 <sup>a</sup>	412 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	18.5 <sup>a</sup>	2.58 <sup>d</sup>	0.64 <sup>a</sup>	12.2 <sup>ab</sup>	5.55 <sup>a</sup>
	NPK	7.49 <sup>c</sup>	0.70 <sup>ab</sup>	10.0 <sup>c</sup>	282 <sup>c</sup>	1.36 <sup>a</sup>	10.2 <sup>d</sup>	3.23 <sup>a</sup>	0.18 <sup>b</sup>	9.3 <sup>b</sup>	2.00 <sup>b</sup>

## Discussion

농경지에 잘 부속된 퇴비사용은 토양을 개선할 뿐만 아니라 유기물과 양분 공급효과를 가진다. 특히 퇴비로 공급된 유기물은 입단안정성, 용적밀도, 양분의 유효도를 향상시키고 (Edwards and Lofty, 1982; Schjonning and Christensen, 1994), 작물의 근권 발달 및 양분흡수력이 높아져 작물의 지속성을 도모할 수 있다 (Tisdall and Oades, 1982; Senesi and Loffredo, 1999; Lee et al., 2013). 그러나 미부속된 퇴비와 같이, 이분해성 물질을 다량 함유한 퇴비의 사용은 토양수분 및 미생물활성에 따라 토양 중 환원장애, 유기산 생성에 의한 수소이온 독성으로 작물 생육에 영향을 미친다 (Gambrell and Patrick, 1978; DeLaune et al., 1990; Brix and Sorrell, 1996). Kwon et al. (2009)은 음식물쓰레기 퇴비에 포함된 질소함량을 기준으로 토양검정시비량을 산정하여 음식물쓰레기 퇴비를 100%와 200%를 논 토양에 사용한 결과, 벼 정조수량은 NPK에 비해 감소되지 않았다고 보고하였다. Table 3과 같이, 음식물쓰레기 퇴비를 10, 20, 40, 60 Mg ha<sup>-1</sup>을 사용함에 따라 분얼수, 이삭수, 등숙율이 급격히 낮아졌고, NPK (51.8 g 주<sup>-1</sup>)의 정조 수량에 비해 5.4, 22.1, 40.8, 62.6% 감소되었다 (Fig. 1). 비록 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 높아짐에 따라 염분 투입량도 함께 증가되었지만, 정조와 벧짚의 Na/K비는 NPK와 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다 (Table 4). 특히 담수조건에 이분해성 유기물을 포함한 퇴비 사용은 토양의 환원상태를 가속화시킬 수 있다. 토양의 환원상태에서 이분해성 유기물의 분해는 황화수소 (H<sub>2</sub>S) 및 유기산에 의한 수소이온 (H<sup>+</sup>) 등으로 벼 뿌리신장 저해 및 뿌리세포 파괴를 일으킨다 (Gambrell and Patrick, 1978; DeLaune et al., 1990; Brix and Sorrell,

1996). 본 연구에 사용된 음식물쓰레기 퇴비는 유기물 30% 이상, 유기물/질소 30이하, 염분 (NaCl) 2.0% 이하의 비료 공정규격의 기준에 적합하였으나 (Table 2), 음식물쓰레기 퇴비에 포함된 이분해성 유기물은 작물생육에 영향을 미칠 수 있다. Table 3에서 나타냈듯이, 벼의 초장, 분얼수, 그리고 등숙율이 급격히 감소되었는데, 이는 음식물쓰레기 퇴비의 이분해성 유기물의 분해에 의한 환원장애가 작물 수량요소에 영향을 미친것으로 여겨진다. 따라서 농경지 이용형태에 따른 음식물쓰레기 퇴비를 안전하게 사용할 수 있는 음식물쓰레기 퇴비의 품질기준에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

음식물쓰레기 퇴비를 농경지에 활용하는데 있어서 우려되는 점 중에 하나가 퇴비에 함유된 염분 (NaCl)함량이다 (Lee, 2000; Lee et al., 2000; Phae et al., 2002; So et al., 2007). 토양 Na는 입단을 교란하여 용적밀도를 높이고, 토양 삼투포텐셜을 높여 작물의 수분흡수를 저해할 수 있다 (Hayward and Wadleigh, 1949; Shannon, 1997). 그러나 토양에서 작물로 이행된 Na는 세포의 삼투압을 조절하는 역할을 하지만, 작물에 과량 흡수된 Na는 K의 생리적 역할을 저해하고, 세포압을 높여 작물생육을 저해하는 역할을 한다 (Bernstein, 1975; Bernstein and Hayward, 1958; Greenway and Munns, 1980). 본 시험에 사용된 음식물쓰레기 퇴비의 염분함량은 2.07%로 비료공정규격의 기준의 최대허용량과 거의 차이가 없었다 (Table 2). 비록 벼와 고추는 염 저항성이 높은 작물이긴 하나, 음식물쓰레기 퇴비의 사용이 증가함에 따라 벼와 고추의 종실 및 식물체 중 Na/K비는 뚜렷한 증가가 나타나지 않았다 (Table 4). 그러므로 음식물쓰레기 퇴비에 염분이 2.0% 이하로 함유되면, 음식물쓰레기 퇴비의 사용에 따른 염분에 의한 작물생산성 감소는 낮을 것

로 판단된다.

음식물쓰레기 퇴비에 포함된 N, P, K 함량은 각각 1.32~4.59%, 0.81~3.23%, 0.16~6.42%으로 (Lee et al., 2015), 적절한 음식물쓰레기 퇴비의 사용은 작물생산을 위한 비료 절감효과를 가질 수 있다. 예를 들어, 논과 밭 조건에서 음식물쓰레기 퇴비의 10 Mg ha<sup>-1</sup>와 30 Mg ha<sup>-1</sup> 사용은 벼와 고추의 최고수량을 나타내었는데, 이는 NPK 수량지수의 약 90 정도였다. 이는 음식물쓰레기 퇴비를 화학비료와 적절히 혼용해서 사용한다면 작물생산성과 비료절감 효과를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5와 같이, 음식물쓰레기 퇴비의 사용이 증가함에 따라 토양 pH가 높아졌다. 이는 음식물쓰레기에 포함된 칼슘에 의한 토양 pH가 개선될 수 있으며, 이러한 토양 pH의 증가는 음식물쓰레기 퇴비의 분해를 촉진시켜 작물에 양분 공급이 향상될 수 있다. 예를 들어, 밭 토양 조건에서 고추의 초기생육은 NPK에 비해 부진하였으나, 생육 중기에 급속하게 생육 촉진되었다. 이는 온실의 대기온도 상승 및 토양 pH 증가에 따른 토양유기물 분해 및 무기화가 촉진된 결과로 사료되며, 이러한 작용으로 토양 EC 및 CEC도 함께 증가될 수 있다. 그러나 Na을 2.07% 함유한 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 증가함에 따라 토양의 치환성나트륨비율 (ESP)이 증가되는 결과를 보였다 (Table 5). 이러한 결과는 밭토양에 음식물쓰레기 퇴비의 과다 및 장기사용은 잠재적인 염류장애를 유발할 수 있으므로 (Yang et al., 1998; Yu et al., 2003), 음식물쓰레기 퇴비를 농경지에 활용하기 위해서는 토양 EC 또는 ESP 등을 고려한 음식물쓰레기 퇴비의 적정 사용량 및 사용주기 등에 대한 추가적인 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

## Conclusion

논과 밭토양 조건에서 작물생산성과 토양화학적 특성에 대한 음식물쓰레기 퇴비사용의 영향을 평가하였다. 벼와 고추의 최고 수량 대비한 결과, 논과 밭 토양에 음식물쓰레기 퇴비는 최대 10, 30 Mg ha<sup>-1</sup> 사용이 가능하였고, 작물의 질소와 인, 가리 함량의 대체 효과와 더불어 작물생육에 대한 Na 저해효과는 나타나지 않았다. 수확기 토양의 pH, EC, 전탄소, 유효인산, 그리고 CEC는 음식물쓰레기 퇴비의 사용량이 높아짐에 따라 증가하였다. 그러나 음식물쓰레기 퇴비 사용으로 토양 CEC가 증가되나, 치환성나트륨비율 (ESP)도 동반 높아졌다. 농경지에 음식물쓰레기 퇴비의 사용은 잠재적인 환원 및 염류장애 가능성이 높아질 수 있으므로, 안정적으로 작물생산을 위한 음식물쓰레기 퇴비의 사용체계에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth, *Ann. Phytopathol.* 13:295-312.
- Bernstein, L. and H.E. Hayward, 1958. Physiology of salt tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 9:25-46.
- Brix, H. and B.K. Sorrell. 1996. Oxygen stress in wetland plants: comparison of de-oxygenated and reducing root environments. *Funct. Ecol.* 10:521-526.
- DeLaune, R.D., S.R. Pezeshki, and J.H. Pardue. 1990. An oxidation-reduction buffer for evaluating physiological response of plants to root oxygen stress. *Environ. Exp. Bot.*, 30: 243-247
- Edwards, C.A. and J.R. Lofty, 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworms *populations* in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 147:515-521.
- Gambrell, R.P., R.D., and W.H. Patrick. 1978. Chemical and biological properties of anaerobic soils and sediments. *Plant life in anaerobic environments.* D.D. Hook and R.M.M. Crawford(Eds.), Ann Arbor Science. pp. 375-423.
- Giusquiani, P.L., M. Pagliai, G. Gigliotti, D. Businelli, and A. Benetti. 1995. Urban waste compost: effects on physical, chemical and biochemical soil properties, *J. Environ. Qual.* 24:175-182.
- Greenway, H. and R. Munns. 1980. Mechanisms of Salt Tolerance in Nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Phys.* 31:149-190.
- Hayward, H.E. and C.H. Wadleigh. 1949. Plant Growth on Saline and Alkali Soils. *Adv. Agron.* 1:1-38.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, J.T. Lee, K.S. Seong, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009a. The effect of continuous application of the food waste composts on the paddy field environment. *J. Korea Org. Resour. Recyc. Associ.* 17(3): 55-70.
- Kwon, S.I., K.H. So, S.G. Hong, G.Y. Kim, J.T. Lee, K.S. Seong, K.R. Kim, D.B. Lee, and K.Y. Jung. 2009b. The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants. *J. Korea Org. Resour. Recyc. Associ.* 17(3):71-81.
- Lee, C.H., C.Y. Park, K.Y. Jung, and S.S. Kang, 2013. Long-term effects of inorganic fertilizer and compost application on rice sustainability in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(3):223-229.
- Lee, C.H., S.J. Park, 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. *CNU J. Agri. Sci.* 42(3):177-181.
- Lee, S.E. 2000. Sodidity difference between paddy and upland soil as affected by food waste compost application, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(2):92-99.
- Lee, S.E., H.J. Ahn, S.K. Youn, S.M. Kim, and K.Y. Jung. 2000. Application effect of food waste compost abundant in NaCl on the growth and cationic balance of rice plant on paddy soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33(2):100-108.
- Lee, S.S. and K.W. Chang. 1998. Effect of Application of food

- waste compost on the uptake of salts in the plants and changes of soil chemical properties. *J. Korean Org. Resour. Recycle. Associ.* 6(2):61-75.
- NAS. 2000. Soil tests and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIER, 2012. Study on Integrated Management of Organic Waste. National Institute of Environmental Research report. Incheon, Korea.
- Phae, C.G., Y.S. Chu, and J.S. Park. 2002. Investigation of affect on composting process and plant growth of salt concentration in food waste. *J. Korean Org. Resour. Recycle. Associ.* 10(4):103-111.
- RDA. 1999. Manufacture and utilization of compost and liquid manure for environmental friendly agriculture. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2015. Fertilizer regulations. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Schjonning, P. and B.T. Christensen, 1994. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *Eur. J. Soil Sci.* 45:257-268.
- Senesi, N. and E. Loffredo, 1999. The chemistry of soil organic matter. In: Spark, D.L. (Ed.), *Soil Physical Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 239-370.
- Shannon, M.C. 1997. Adaption of plants to salinity. *Adv. Agron.* 60:75-120.
- So, K.H., K.S. Seong, M.C. Seo, and S.G. Hong. 2007. Environmental impacts of food waste compost application on paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(1):85-94.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades, 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J Soil Sci.* 33:141-163.
- Yang, J.S., I.B. Lee, K.D. Kim, K.R. Cho, and S.E. Lee. 1998. Effect of Sodium chloride containing-composts on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and chemical properties of salt accumulated plastic film house soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(3): 277-284.
- Yu, Y.S., K.W. Chang, and J.W. Lee. 2003. Influence of Continuous application with food waste compost on hot pepper (*Capsicum annuum* L.) yield and growth. *J. Korea Org. Resour. Recyc. Associ.* 11(1):81-88.