



## 밭에서 음식물류폐기물 활용 퇴비의 연용이 토양 및 작물에 미치는 영향

권순익<sup>†</sup>, 소규호, 홍승길, 김건엽, 성기석, 박우균, 김권래, 이덕배, 정광용  
국립농업과학원 농업환경부

(2009년 9월 1일 접수일, 2009년 9월 24일 수정일, 2009년 9월 28일 채택일)

## The continuous application effect of the food waste composts on the cultivated upland soils and plants

Soon-Ik Kwon<sup>†</sup>, Kyu-Ho So, Seung-Gil Hong, Gun-Yeob Kim, Ki-Seog Seong, Woo-Kyun Park, Kwon-Rae Kim, Deog-Bae Lee, and Kwang-Yong Jung

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science

### ABSTRACT

Food waste has been actively used as a composting material in order to reduce the environmental pollution load and to enhance the recycling of resources. In this study, the long-term effects of continuous application of food waste compost to soils on both the crop production and the soil properties were examined to ensure the safety of food waste compost in agricultural use. In addition, we collected the preliminary data for establishing standard application rate of food waste compost for agricultural utilization. Based on conventional nitrogen application rate of chemical fertilizer for crop cultivation, pig manure compost (24g N kg<sup>-1</sup>, 8g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>, and 10.4g K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup>) and food waste compost (20g N kg<sup>-1</sup>, 20.1g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg<sup>-1</sup>, and 6.5g K<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup>) were applied to the upland soil in 2 × 2 × 2 m lysimeter in which lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*), Chinese cabbage (*Brassica campestris* subsp. *napus* var. *pekinensis*), red pepper (*Capsicum annuum*), and potato (*Solanum tuberosum*) were grown continuously. The crops grown in soils to which food waste compost applied showed better growth responses than the control, whereas some variations were observed in the crops grown in chemical fertilizer treated soils. Continuous application of food waste compost increased the contents of organic matter, nitrogen, and phosphorus, which resulted in improving soil aeration.

Keywords : compost, food waste, pig manure, resource recycling

<sup>†</sup>Corresponding Author : sikwon@korea.kr

## 초록

음식물류폐기물의 재활용은 환경오염 예방과 자원 순환이라는 목적을 가지고 활발하게 시도되고 있다. 본 연구는 음식물류폐기물을 활용한 퇴비의 안전한 농업적 활용 방안을 모색하고, 음식물류폐기물의 농업적 활용기준 설정을 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다. 이를 위해서 음식물류폐기물 활용 퇴비의 장기간 연용이 작물 생육과 토양환경에 미치는 영향을 조사하였다. 시험에 사용된 재료는 질소, 인산, 칼리의 함량이 각각  $24\text{g kg}^{-1}$ ,  $8\text{g kg}^{-1}$ ,  $10.4\text{g kg}^{-1}$ 인 돈분퇴비와 질소, 인산, 칼리의 함량이 각각  $20\text{g kg}^{-1}$ ,  $20.1\text{g kg}^{-1}$ ,  $6.5\text{g kg}^{-1}$ 인 음식물류폐기물 활용 퇴비로써  $2 \times 2 \times 2\text{ m}$  크기의 라이시미터에 화학비료의 질소 사용량과 동일하게 사용한 후 상추, 배추, 고추 및 감자를 연속하여 재배 실험하였다. 음식물류폐기물 활용 퇴비를 사용한 시험구의 작물 생육은 무비구 보다는 양호하였으나 화학비료구와 비교했을 때 작물에 따라 반응이 달랐다. 음식물류폐기물을 활용한 퇴비의 연속적인 사용은 토양의 이화학성에 대해서는 유기물, 질소 및 인산의 함량을 증가시켰고, 토양 물리성에 대해서는 통기성을 증가시켰다.

핵심용어 : 퇴비, 음식물류폐기물, 돈분, 자원 재활용

## 1. 서론

음식물류폐기물은 수분함량이 80% 이상으로 높아서 혐기상태의 부패과정에서 생기는 악취와 폐수로 인해 취급하기를 꺼리며 이로 인해 수집에 어려움이 많다. 음식물류폐기물의 처리 방법은 매립, 소각, 해양투기, 자원화 등 여러 가지가 있으나 2005년 1월부터 음식물류폐기물을 비롯한 모든 유기성폐기물의 직매립이 금지되었고, 불완전 연소로 각종 유해물질의 배출이 우려되어 공기오염에 대한 주민들의 염려로 소각로 건설이 쉽지 않으며, 해양투기 또한 국제협약 준수를 위해 많은 제약이 따를 것으로 예상된다. 이에 반해 폐기물의 자원화는 친환경적 처리 방법으로 많은 분야에서 주목을 받고 있다. 자원화에는 사료화, 퇴비화, 에너지화, 공산품 생산화 등이 있는데 사료화는 가축 질병의 발생으로 인해 활용에 많은 제약이 따르고, 연소에 의한 열에너지 및 연료가스의 이용을 위해서는 건설비와 운영비의 절감과 활용 가능성에 대해 좀 더 많은 연구가 수행되어야 한다.

음식물류폐기물을 활용한 퇴비화는 자원회수 기술의 하나로써 폐기물의 감량화 및 재활용 성격을 가지고 있으며, 유기물질로서 작물 생산의 영양원으로서 뿐만 아니라 토양의 pH 조절, 보습효과 등 토양개량제로

이용될 수 있다. 또한 토양양분의 공급원이자 저장고의 역할, 양이온 치환능력 향상, 토양 완충능 증대, 중금속 유해작용 감소 등 토양의 이화학성을 개선하는 등의 다양한 긍정적 연구 결과들이 발표되고 있다<sup>1-3)</sup>. 그러나 음식물류폐기물을 활용한 퇴비의 안전한 사용과 사용자의 신뢰를 얻기 위해서는 선행되어야 할 검증연구들이 있다. 여기에는 장기연용으로 인한 유해 성분의 집적 여부와 양분 불균형, 염분 집적으로 생기는 다른 성분의 작물체내 흡수장애나 작물의 양분 결핍 등을 들 수 있다.

음식물류폐기물은 염분 함량이 높기 때문에 퇴비의 원료로 직접 사용하는 것이 부적합하므로 1996년에 농림부 고시로 퇴비의 공정규격 비고란에 음식물류폐기물은 퇴비원료로 30% 미만을 사용하도록 규정하였다. 그 후 농촌진흥청에서 수행한 연구('97~'98) 결과 음식물류폐기물을 30% 미만으로 가축분뇨(돈분)와 혼합할 경우 퇴비 제품의 염분함량이 현물(수분함량 50%) 기준으로 1.0% 이하로 유지가 가능함이 밝혀졌다<sup>4)</sup>. 또한 염분함량이 1.0% 이상인 퇴비를 토양에 사용할 경우 토성에 관계없이 한계투수속도는 감소하는 결과를 얻었다. 이와 같은 연구 결과와 퇴비 제조 과정에서 음식물류폐기물의 원료 확인과 혼합비율을 검사하는 것이 현실적으로 어려운 점, 도매시장 등에서 발

생되는 채소류 등은 염분함량이 일반 음식물류폐기물보다 낮은 점을 감안하여, 음식물류폐기물을 퇴비의 원료로 사용할 때 원료기준량으로 30% 미만을 혼합하도록 규정되었던 것을 최종 퇴비 제품의 염분 함량 1.0% 이하로 규정을 개정하였다<sup>9)</sup>.

음식물류폐기물의 자원화를 위한 퇴비화 공법에 관한 연구는 1996년부터 본격적으로 이루어졌으며, 수분 및 염분의 제거와 안정화에 많은 성과가 있었다. 그러나 퇴비화를 위한 연구는 활발하였던 반면에 제조된 퇴비의 처분 또는 이용에 대한 연구는 상대적으로 부족하였다. 특히 토양에서의 반응은 단기간에 나타나지 않는 경우가 많으므로 장기적인 연용 시험이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 안정한 상태로 만들어진 음식물류폐기물 활용 퇴비의 장기간 연용이 발작물 생육 및 토양환경에 미치는 영향 조사하여 음식물류폐기물의 농업적 활용기준 설정을 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

음식물류폐기물 활용 퇴비의 장기 사용과 작물 재배 시험을 위해서 경기도 수원시에 소재하고 있는 농업과 학기기술원 포장 내 2×2×2m 크기의 라이시미터를 이용하였다. 식양질 및 사양질 보통 밭토양으로 라이시미터를 충전하고 2005년 봄에는 적축면상추를, 가을에는 가을배추를, 2006년에는 고추를, 2007년에는 감자를 재배하였다. 시험토양의 각 처리구별 이화학적 특성은 [Table 1]과 같다.

돈분퇴비 (Pig Manure Compost; PMC), 음식물류폐기물 활용 퇴비 (Food Waste Compost; FWC), 음식물류폐기물과 돈분 혼합퇴비 (FWC/PMC)를 시험구에 처리하였고, 시험재료의 화학적 특성은 [Table 2]에서와 같이 질소가 2.0~2.4%, 인산이 0.8~2.0%, 칼리가 0.65~1.08% 이었다.

처리 내용은 무비구 (No Fer.), 화학비료사용구

[Table 1] Chemical Properties of the Upland Soils Used in the Lysimeter Experiment

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	O.M		T-N (mg kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ex.K (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ex.Ca (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ex.Mg (cmol kg <sup>-1</sup> )	Ex.Na (cmol kg <sup>-1</sup> )
			----- (%) -----							
No Fer.	6.18	0.03	1.15	0.09	166.7	0.17	2.83	0.53	0.13	
Chem.Fer.	5.85	0.06	1.33	0.11	203.0	0.21	2.94	0.48	0.08	
PMC	6.28	0.06	1.82	0.10	285.3	0.23	3.84	0.59	0.22	
FWC	6.17	0.08	2.02	0.12	335.6	0.37	3.31	0.65	0.19	
FWCx2	6.38	0.10	2.33	0.16	469.0	0.53	4.00	0.72	0.20	
FWC/PMC	6.30	0.08	2.22	0.12	315.8	0.31	3.93	0.62	0.20	

Treatment	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
NoFer.	0.060	0.15	3.18	94.3	28.5	0.47	3.01	5.25
Chem.Fer.	0.059	0.17	2.73	81.7	32.2	0.61	2.86	18.29
PMC	0.059	0.15	3.04	60.9	38.5	0.48	2.76	7.65
FWC	0.059	0.16	3.67	67.3	59.7	0.54	2.84	11.94
FWCx2	0.058	0.18	4.60	84.0	86.5	0.64	2.85	16.81
FWC/PMC	0.155	0.16	3.40	62.6	49.0	0.52	2.79	9.65

※ Heavy metal contents were 0.1 N HCl extractable  
 No Fer. : No fertilizer, Chem Fer. : Chemical fertilizer  
 FWC : Food waste compost, FWCx2 : Twice amount of Food waste compost  
 FWC/PMC : Food waste and pig manure mixed compost, PMC : Pig manure compost.

[Table 2] Chemical Properties of the Composts Used in the Lysimeter Experiment

	pH (1:5)	Moisture	O.M	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
----- (%) -----									
FWC	8.23	28.8	59.3	2.0	2.01	0.65	5.4	0.2	0.64
PMC	8.05	40.8	38.0	2.4	0.80	1.08	11.7	3.2	0.67

	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
----- (mg kg <sup>-1</sup> ) -----								
FWC	0.22	19.1	10.5	1,306	89.0	10.0	4.7	57.1
PMC	0.90	23.9	93.2	5,118	448.5	18.6	18.6	184.9

※ FWC : Food waste compost (Food waste 50 + Sawdust 50)

PMC : Pig manure compost (Pig manure 50 + Sawdust 50)

(Chem. Fer.), 돈분퇴비구(PMC), 음식물류폐기물 활용퇴비구(FWC), 음식물류폐기물 활용퇴비 2배구(FWCx2), 돈분과 음식물류폐기물 혼합퇴비구

(FWC/PMC) 등 6개의 처리구로 하였다. 각 시험구의 처리량은 퇴비중 질소함량을 측정한 후 벼의 토양검정 질소 시비량에 맞추어 산출하였다[Table 3]. 퇴비는 전

[Table 3] Application Rate of Composts as a Fertilizer Source

(kg/10a)

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	remarks
Lettuce	Chem. Fert.	20	5.9	12.8	twice application
	PMC	20	6.7	9.0	basal application
	FWC	20	20.1	6.5	basal application
	FWCx2	40	40.2	13.0	basal application
	PMC/FWC	20	13.4	7.8	basal application

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	remarks
Chinese cabbage	Chem. Fert.	32	7.8	19.8	4 times application
	PMC	32	10.7	14.4	basal application
	FWC	32	32.2	10.4	basal application
	FWCx2	64	64.4	20.8	basal application
	PMC/FWC	32	21.5	12.4	basal application

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	remarks
Red pepper	Chem. Fert.	19	11.2	14.9	3 times top dressing
	PMC	19	7.0	9.5	basal application
	FWC	19	21.1	6.8	basal application
	FWCx2	38	42.0	13.7	basal application
	PMC/FWC	19	14.1	8.2	basal application

		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	remarks
Potato	Chem. Fert.	11	4.5	5.7	twice application
	PMC	11	3.7	5.0	basal application
	FWC	11	11.1	3.6	basal application
	FWCx2	22	22.1	7.2	basal application
	PMC/FWC	11	7.4	4.3	basal application

량 기비로 식물의 파종 또는 이식 1주일 전에 사용하였다.

작물 생육 조사는 상추 및 배추는 수확기에, 고추는 수확기까지 3회에 걸쳐 이루어졌으며, 수량과 수량구성요소는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준에 준하여 조사하였다<sup>6)</sup>.

퇴비 및 식물체의 전질소는 micro-Kjeldahl법으로 정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 등은 시료 0.5~1.0 g을 평량하여 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub>법으로 습식분해하여 인산은 Vanadate법으로 비색정량하였고, 칼리, 석회, 고토 및 중금속 성분은 유도결합플라즈마발광광도계(ICP, GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다. 퇴비의 pH와 EC는 퇴비와 증류수를 1:5(v:v)로 혼합하여 각각 초자전극법(Model 720A<sup>+</sup>)과 EC meter(Model 145A<sup>+</sup>)를 사용하여 측정하였다<sup>7)</sup>.

토양 시료는 시험 전·후에 채취한 토양을 풍건시킨 후 2mm 체를 통과시켜 pH와 EC는 각각 초자전극법(model 720A<sup>+</sup>)과 EC meter(model 145A<sup>+</sup>)를 사용하여 측정하였고, 유기물은 Turin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는 Kjeldahl법으로 측정하였으며, 치환성양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc 용액(pH 7.0)으로 침출하여 ICP(GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다. 질산태 질소는 Auto analyzer를 이용한 비색법으로 측정하였다<sup>7)</sup>.

본 시험에서의 유의성 분석은 통계패키지인 SAS<sup>®</sup>를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시험작물 생육

##### 3.1.1 상추

음식물류폐기물 활용 퇴비를 비롯해서 각 퇴비를 사용한 라이시미터에서 재배한 상추의 수량은 화학비료만 사용한 구보다 개체의 무게 및 수확량에서 높게 나타났다[Table 4]. 토양의 종류 및 퇴비의 종류는 수확량에 큰 영향을 미치지 않았다. 같은 장소에서 유사한 방법으로 수행한 2004년의 결과에서도 상추의 수량은 화학비료구(3,227 kg 10a<sup>-1</sup>)에 비해 돈분퇴비구가 5,232 kg 10a<sup>-1</sup>로 62% 증수되었고, 음식물류폐기물과 돈분 혼합퇴비구에서는 4,707 kg 10a<sup>-1</sup>로 46%, 음식물류폐기물 퇴비구는 3,610 kg 10a<sup>-1</sup>로 12% 증수되었다고 보고되었던 것처럼 퇴비의 사용은 화학비료만 처리한 경우보다 상추의 수량 증가에 큰 효과가 있었다<sup>1)</sup>. 또 표준시비량의 2배(N 40 kg 10a<sup>-1</sup>)가 처리된 음식물류폐기물 퇴비 2배 처리구에서는 화학비료구보다 52~113% 증수되는 결과를 보인 반면 2004년의 시험에서는 음식물 2배 처리구에서 화학비료구에 비해 7.7% 증수에 그쳐 퇴비의 사용은 사용 즉시 그 효과

[Table. 4] Yield of Lettuce from Each Experimental Plot Associated with Soil Texture (2005)

Treatment		Weight per plant (g)	Yield IndexClay	
Clay	No Fer.	13±30	115	
	Che.Fer.	110±40	100	
	PMC	210±60	180	
	Loam	FWC	210±40	182
		FWCx2	240±60	213
		FWC/PMC	200±70	175
Sandy	No Fer.	90±40	60	
	Che.Fer.	160±50	100	
	PMC	200±60	129	
	Loam	FWC	200±50	127
		FWCx2	240±70	152
		FWC/PMC	210±40	130

가 나타나기 보다는 토양내에서 유기물의 분해과정을 거치며 서서히 기여하는 것으로 판단된다.

### 3.1.2 배추

음식물류폐기물 활용 퇴비를 사용하고 배추의 생육을 조사한 결과는 [Table 5]와 같다. 화학비료구에서 배추 한 결구당 2,786 g 인 것과 비교할 때 음식물류폐기물 퇴비 시용구와 음식물 및 돈분 혼합퇴비 시용구에서는 유사한 수량을 보였고, 돈분퇴비 시용구에서 한 결구당 3,582g 으로 29% 증수 되었으며, 음식물 2배 구에서도 3,468g 으로 24% 증수되었다. 이와 같이 퇴비 시용구가 화학비료 시용구보다 높은 수량을 보이는 것은 양분의 유실, 용탈이 제한된 라이시미터 조건에서 기비로 시용된 퇴비의 비료 성분이 생육 후기까지도 작물 생육에 기여도가 높고 토양의 물리 화학성 개량 효과도 나타나기 때문으로 사료된다.

배추 재배중에 무사마귀병의 발병으로 인해 생기는 결주율은 돈분퇴비 시용구에서는 2%로 낮은 반면 화학비료 시용구는 53%로 높았으며, 음식물류폐기물 활용 퇴비 시용구에서는 20%를 나타내었다. 반면에 무비구에서는 결주가 나타나지 않았는데, 비료 성분과 무사마귀병의 발병이 어떤 상관성이 있는지, 또 음식물류폐기물 활용 퇴비 등 퇴비의 시용이 병 발생에 어떤 영향을 주는지는 앞으로 검토되어야 할 것으로 생각된다.

### 3.1.3 고추

고추 생육은 모든 퇴비 처리구에서 화학비료구보다 양호하였으며, 특히 음식물류폐기물 퇴비 시용구가 돈

분퇴비 시용구보다 양호한 경향이였다[Table 6]. 고추 수량에서는 화학비료구보다 모든 퇴비 처리구에서 동일하거나 양호하였으며, 음식물 및 돈분 혼합퇴비 처리구는 화학비료 시용에 비해 15.5% 증수되었다 [Table 7]. 또 음식물류폐기물 퇴비 시용으로 고추의 수량이 화학비료보다 13.9% 증수되었는데, 2배 시용구에서는 5.7% 증수로 오히려 줄어들어 시용량의 증가에 따른 효과가 나타나지 않았다. 그러나 이러한 차이들은 무비구를 제외하고는 통계적인 유의성을 보이지 않았다.

### 3.1.4 감자

퇴비 및 화학비료의 시용은 무비구에 비해 감자 식물체의 크기에 차이는 있으나 통계적인 유의성은 나타나지 않았는데[Table 8], 라이시미터의 재배 조건상 비가림과 일조의 부족에 의해 도장되어 차이가 나타나지 않은 것으로 생각된다. 지상부 줄기 직경은 화학비료 시용구에서 가장 크고 다음이 돈분퇴비 시용구, 음식물류폐기물 퇴비 시용구 순이었으며, 음식물-돈분 혼합퇴비와 음식물 2배 시용구의 줄기 생육은 화학비료구보다 저조하였고, 무비구와도 차이가 없었다. 수확시 식물체 생체중은 음식물류폐기물 활용 퇴비 시용량 증가에 따라 유의성 있게 증가하였으며, 돈분퇴비 시용구와 음식물-돈분 혼합퇴비 시용구에 비해서도 높은 수량을 보였다. 지하부 감자의 수량에서는 음식물류폐기물 퇴비 2배 처리구에서 가장 높은 수량을 보였으나, 다른 퇴비 시용 및 화학비료 시용에 비해서는 통계적인 차이는 보이지 않았다.

[Table 5] Yield of Chinese Cabbage from Each Experimental Plot in the Lysimeter (2005)

Treatment	Yield (g plant <sup>-1</sup> )	Empty ratio (%)
No Fer.	2,300±800	0
Chem.Fer.	2,800±800	53
PMC	3,600±700	2
FWC	3,000±1,000	20
FWCx2	3,000±1,000	29
FWC/PMC	2,900±800	27

※ n = 45

[Table 6] Growth Responses of Red Pepper Grown in Each Experimental Plot in the Lysimeter (2006)

Treatment	Plant height (cm)			Diameter of stem(mm)		
	June	July	September	June	July	September
No Fer.	54	80	120	7.6	11.1	14.0
Chem.Fer.	63	100	145	9.4	13.8	17.2
PMC	65	102	146	9.1	14.5	17.5
FWC	67	107	152	9.7	15.1	18.2
FWCx2	66	104	146	9.7	15.2	18.0
FWC/PMC	65	106	142	10.2	15.8	19.1

[Table 7] Yield of Red Pepper from Each Experiment Plot in the Lysimeter (2006)

Treatment	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>	Yield(kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield Index
	( g / 4 m <sup>2</sup> )					
No Fer.	1192	1270	493	163	780	46 b
Chem.Fer.	1678	3525	1265	293	1690	100 a
PMC	1472	3633	1255	402	1690	100 a
FWC	1827	3902	1565	408	1925	114 a
FWC2X	2090	3768	1130	157	1786	106 a
FWC/PMC	1888	3882	1635	403	1952	116 a

※ LSD 0.05

### 3.2 각 퇴비 처리구별 질소 이용률

음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 라이시미터에서 연속적으로 사용하여 작물을 재배한 후 질소 성분 분석을 통한 질소 이용률을 조사한 결과는 [Table 9]와 같다. 질소는 식물의 생장에 있어 가장 많이 요구되는 필수 무기 영양소이며, 단백질의 구성원소이다. 비료성분이 작물에 흡수 이용되는 비율을 비료흡수율 또는 이용률이라고 하는데, 질소이용률은 질소를 사용한 구의

작물에 의한 질소 흡수량에서 무시비로 재배된 작물의 양분흡수량을 뺀 차(시비에 의한 흡수 증대량)를 사용량으로 나누어 구한다. 상추의 질소 이용률은 화학비료구에서 12.3%인데 비해 돈분퇴비구는 15.3%, 음식물류폐기물 퇴비는 16.1%, 음식물-돈분 혼합퇴비는 15.7%로 각각 화학비료보다 높았으며, 음식물 2배구는 투입된 질소에 비해 낮은 9.0%의 이용률을 보였다. 배추 재배의 경우에는 화학비료 사용에서 26.7%의 질소 이용률을 보인 반면 음식물류폐기물 퇴비 및 2배 시

[Table 8] Growth Responses of Potato in Each Experiment Plot in the Lysimeter(2007)

Treatment	height(cm)	No. of stem	Shoot Yield (g plant <sup>-1</sup> )	Potato Yield (g plant <sup>-1</sup> )
No Fer.	127 a	3.8 b	439 c	403 b
Chem.Fer.	158 a	5.5 a	968 ab	602 ab
PMC	142 a	4.9 ab	727 bc	660 ab
FWC	157 a	4.6 ab	814 b	629 ab
FWCx2	160 a	4.0 b	1129 a	698 a
FWC/PMC	148 a	3.8 b	727 bc	524 ab

※ LSD 0.05

용구에서 16.1 및 15.3%로 낮게 나타나 배추의 경우  
음식물 퇴비 처리구에서 질소 효율이 높지 않은 것  
으로 나타났다. 반면에 돈분퇴비의 경우에는 41.7%로 다  
른 처리에 비해 현저히 높은 질소 이용률을 보였다. 감  
자의 경우에는 배추와 달리 돈분퇴비 사용에서는  
8.4%인데 반해 화학비료는 9.7%, 다른 종류의 퇴비도  
10% 이상으로 나타났고, 음식물류폐기물 활용 퇴비  
사용에서 가장 높은 15.5%를 보였다. 이와 같이 작물  
의 종류에 따라 퇴비의 질소 이용률이 다르게 나타나  
작물 및 퇴비의 선택에 관한 깊이가 있는 연구가 필요할  
것으로 생각된다. 질소 이용률을 토성에 따라 구분해  
본 결과 사양질 토양이 식양질 토양보다 밭에서 질소  
이용률이 현저히 높은 것으로 나타나 토성에 따른 시  
용기준의 설정 근거를 잘 나타내주었다. 앞으로 작물별  
로 토성에 따른 시비기준의 계수 설정을 위한 추가적  
인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### 3.3 토양의 이화학적 특성 변화

#### 3.3.1 화학적 특성

음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 3년 이상 계속적으  
로 사용하고 작물을 재배하면서 토양중의 pH, EC, 유  
기물, 전질소, 유효인산 및 치환성양이온 등 화학성 변  
화를 조사하였고 그 결과는 [Fig. 1]과 같다.

화학비료를 사용하면 비료의 생리적 작용으로 인해  
토양의 pH를 높이지 않는 반면 퇴비의 사용은 산성 토  
양을 중화시키는데 기여한다고 많이 보고되고 있다.  
음식물류폐기물 활용 퇴비의 경우 사용량이 증가할수

록 또 해가 거듭되면서 시용 횟수가 많아질수록 토양  
의 pH는 서서히 높아지는 경향이였다. 유기성 폐기물  
의 연용에 따른 토양 pH의 변화는 피혁가공슬러지와  
돈분퇴비의 연속 사용에 의해서는 pH가 높아지고, 하  
수슬러지 및 주정가공슬러지의 경우에는 pH가 낮아진  
다고 보고되어 있다<sup>9)</sup>. 토양의 pH 변화는 무기성분의  
유효도에 큰 영향을 미치기 때문에 적정 수준을 유지  
하기 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다. 토양의 EC  
는 시용 1년차에서는 미미한 차이를 보이다가 2년차  
부터 퇴비 또는 화학비료 사용에 따라 증가하기도 하  
였다.

토양 유기물의 함량은 퇴비 사용에 의한 유기물 공  
급효과가 뚜렷하여 무비구 및 화학비료 사용구보다 퇴  
비 사용구에서 높게 나타났으며, 음식물 2배구에서와  
같이 사용량의 증가는 유기물 함량을 증가시켰다. 토  
양내 전질소의 함량은 화학비료 및 퇴비 사용과 무비  
구에서 약간의 차이는 보이나 전체적으로는 음식물퇴  
비 2배구를 제외하고는 토양내에서 급격히 집적되지  
는 않는 것으로 판단된다.

토양내 유효인산의 경우에는 음식물류폐기물 퇴비  
2배 사용구를 제외하고는 시용횟수에 따른 집적정도  
는 크지 않은 것으로 보이나 음식물퇴비 2배구 > 음  
식물 퇴비구 > 돈분퇴비구 > 화학비료구 > 무비구의  
순으로 시용 재료의 함량에 따른 영향을 크게 받는 것  
으로 나타났으며, 인산의 함량이 높은 재료를 질소 기  
준으로 사용하게 되면 인산 축적의 문제가 발생할 수  
있을 것으로 생각된다.

[Table 9] Nitrogen Use Efficiencies of Each Plant in Different Treatment in the Lysimeter Soil(%)  
(2005~2007)

		lettuce	chinese cabbage	potato
Treatments	Chem.Fert.	12.3	26.7	9.7
	PMC	15.3	41.7	8.4
	FWC	16.1	16.1	15.5
	FWCx2	9.0	15.3	10.8
	FWC/PMC	15.7	22.4	13.0
	Soil texture	Clay Loam	7.6	12.8
	Silt Loam	14.7	37.4	13.1
	mix	18.7	23.1	-

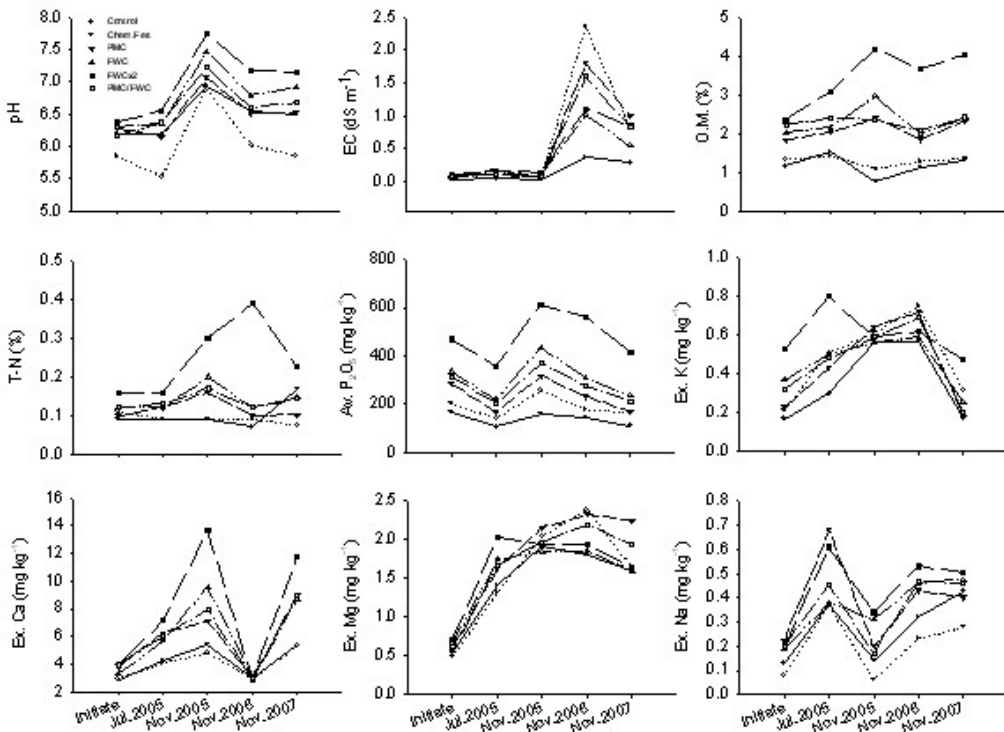


토양중 치환성양이온의 함량은 퇴비의 종류 및 화학비료 등의 사용에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 치환성 나트륨의 경우에도 화학비료 사용의 경우에만 다른 처리 또는 무처리에 비해 다소 낮게 나타났지만 다른 퇴비의 경우에도 토양 및 작물에 영향을 줄 정도의 함량은 나타나지 않았다. 우리나라 음식물류폐기물의 특성인 높은 염분을 제거하지 않고 퇴비화 과정을 거친 저품질의 퇴비가 토양에 사용될 경우 작물은 삼투 현상에 의해 수분의 흡수가 방해되고  $\text{Na}^+$  이온의 분산효과로 인한 토양 물리성 악화로 토양 내 수분의 이동과 통기성을 저해함으로써 작물의 뿌리 신장과 유식물 생장이 억제되는 현상 등의 부정적인 영향을 우려하기도 한다<sup>3,10-16</sup>. 양 등<sup>17</sup>은 상추를, 유 등<sup>18</sup>은 고추에 대한 재배시험을 통하여 토양에 미치는 영향을 보았다. SAR(Sodium Adsorption Ratio)은 나트륨흡착비로서 관개용수의 나트륨 장해를 평가하는데 중요

한 지표로 이용되고 있으며, 토양의 교환성나트륨퍼센트(Exchangeable Sodium Percent, ESP)로 나타내기도 하는데, Lee<sup>19</sup>는 음식물류폐기물 퇴비의 사용이 토양의 Na 집적에 미치는 영향을 조사한 결과 NaCl 함량이 높은 퇴비를 사용할수록 논과 밭 토양에서 공히 SAR과 ESP가 고도의 유의성을 가지고 직선적으로 증가한다고 하였다. 본 시험에 사용된 음식물 퇴비는 정상적인 제조 공정을 거친 염분 함량 1.0% 이하의 재료이므로 토양내에서 Na에 의한 어떤 영향도 나타나지 않은 것으로 생각된다.

### 3.3.2 물리적 특성

토양의 용적밀도는 보수성, 배수성, 통기성 및 토양 미생물 활성 등에 큰 영향을 미치며 토성과 토양구조에 따라 달라진다고 알려져 있다. 음식물류폐기물 활용 퇴비의 3년간 연속적인 사용은 화학비료 사용구에 비



[Fig. 1] Changes in soil physio-chemical properties over time with consecutive application of food waste compost in the lysimeter.

[Table 10] Physical Properties of the Upland Soil after Plant Harvest

Treatment	Bulk Density (g ml <sup>-1</sup> )	Three phase of soils (%)			TPS
		Solid	Water	Air	
No Fer.	1.3 a	47.5 a	25.8 a	26.7 c	52.5 b
Che.Fer.	1.3 a	47.6 a	21.8 a	30.6 bc	52.4 b
PMC	1.2 ab	46.2 ab	23.5 a	30.4 bc	53.8 ab
FWC	1.2 ab	44.0 ab	21.2 a	34.7 ab	56.0 ab
FWCx2	1.1 b	40.6 b	21.1 a	38.3 a	59.4 a
FWC/PMC	1.2 ab	44.7 ab	23.8 a	31.5 bc	55.3 ab

※ LSD 0.05

해 전용적 밀도가 현저하게 감소하지는 않았으나, 사용량을 많이 한 음식물퇴비 2배구에서는 유의한 차이를 보였다[Table 10]. 일반적으로 유기물의 사용에 의한 용적밀도의 감소는 잘 알려져 있으며, Anikwe and Nwobodo(20)와 Chang 등<sup>21)</sup>도 하수슬러지 퇴비의 사용은 전용적밀도를 감소시키고 보수성 및 수리전도도를 증가시킨다고 보고하였다. 토양 삼상 분석결과를 보면 고상은 용적밀도와 같은 경향을 보였으며, 액상은 처리에 따른 차이가 보이지 않았다. 기상은 음식물2배구 > 음식물퇴비구 > 혼합퇴비구, 화학비료구, 돈분퇴비구 > 무비구의 순서로 높은 것으로 나타났으며, 퇴비의 사용은 무비구 또는 화학비료구에 비해 공극율을 증가시켰으며, 사용량이 늘수록 공극율도 커지는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

음식물류폐기물을 활용하여 정상적으로 제조한 퇴비의 사용 시험에서 상추, 배추, 고추, 감자의 수확량이 화학비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았으며 대체적으로 화학비료구와 비슷한 수준의 생산량을 보였다. 또한 음식물 퇴비의 연용이 토양의 물리화학성을 악화시킬 수 있다는 기존의 우려와는 달리 본 연구에서는 염분 함량이 1% 미만으로 유지한 퇴비를 사용하였으므로 염분집적 등 토양 특성을 악화시키는 결과는 보이지 않았으며 오히려 여러 가지 토양의 물리적 특성이 개선되었다. 따라서 음식물류폐기물 활용 퇴비는 단기간으로 봐서는 화학비료를 대체하여 이용될 수 있

을 것으로 판단된다. 하지만 안전하고 안정적인 퇴비 사용을 위해서는 퇴비 자체의 선택과 사용량, 사용방법 등에 대해 좀 더 많은 연구가 필요함은 물론 음식물류 폐기물을 보다 안정적으로 자원화하기 위한 다양한 방법 개발과 퇴비화 기술 및 제조된 퇴비의 이용에 따른 환경영향평가 등 광범위한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 성기석, 소규호, 임동규, 서명철, 서장선, “음식물쓰레기 퇴비 사용이 토양환경에 미치는 영향”, 농업과학기술원 농업환경분야 연구보고서, pp. 75~105 (2004).
2. 소규호, 서명철, 성기석, 홍승길, “Environmental Impacts of Food Waste Compost Application on Paddy Soil”, Korean J. of Soil and Fertilizer, 40(1), pp. 85~94 (2007).
3. Lee, S. E., Ahn, H. J., Youn, S. K., Kim, S. M., and Jung, K. Y., “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), pp. 100~108 (2000).
4. 농촌진흥청, “음식물쓰레기 퇴비화 기술개발”, pp. 152 (1999).
5. 농림수산부 고시 제98-39호, “비료공정규격 개정” (1998. 7. 4)

6. 농촌진흥청, “농사시험연구조사기준”, (1995).
7. 농업과학기술원, “토양 및 식물체 분석법”, (2000).
8. SAS. “Enterprise Guide 3.0”, SAS Institute Inc. (2004).
9. 권순익, 임동규, 소규호. “유기성 폐기물 장기연용 토양의 오염도 해석” 농업과학기술원 농업환경분야 연구보고서, pp. 63~81 (2001).
10. Bernstein, L., “Effects of salinity and sodicity on plant growth”, *Ann. Phytopathol.*, 13, pp. 295~312 (1975).
11. Bernstein, L., and Hayward, H. E., “Physiology of salt tolerance”. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 9, pp. 25~46 (1985).
12. Greenway, H., and Munns, R., “Mechanisms of salt tolerance in monhalophytes”, *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 31, pp. 149~190 (1980).
13. Giusquiani, P. L., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D., and Benetti, A., “Urban waste compost : effects on physical, chemical and biochemical soil properties”. *J. Environ. Qual.*, 24, pp. 175~182 (1995).
14. Hayward, H. E., and Wadleigh, C. H., “Plant growth on saline and alkali soils”, *Adv. in Agron.*, 1, pp. 1~38 (1949).
15. Shannon, M., “Adaptation of plants to salinity”, *Adv. in Agron.*, 60, pp. 75~120 (1997).
16. 배재근, 주요섭, 박정수, “음식물쓰레기 염분 (NaCl) 농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향”, *유기성자원학회지*, 10(4), pp. 103~111 (2002).
17. 양장석, 이인복, 김기덕, 조광래, 이상은, “퇴비중 NaCl 함유량별 시설재배 상추의 생육반응과 토양 화학성 변화”, *한국토양비료학회지*, 31(3), pp. 277~284 (1998).
18. 유영석, 장기운, 이지환, “남은 음식물퇴비 사용에 따른 토양의 이화학적 변화와 고추생육에 미치는 영향”, *유기성자원학회지*, 9(4), pp. 81~88 (2001).
19. Lee, S. E., “Sodic difference between paddy and upland soil as affected by food waste compost application”, *Korean J. Soil Sci. & Fert.*, 33(2), pp. 92~99 (2000).
20. Anikwe, M. A. N., and Nwobodo, K. C. A., “Long term effect of municipal waste disposal on soil properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria”, *Biore. Tech.*, 8, pp. 241~250 (2002).
21. Chang, A. C., Page, A. L., and Warneke, J. E., “Soil conditioning effects of municipal sludge compost”, *J. Environ. Engine.*, 109, pp. 574~583 (1983). 