



음식물류폐기물 활용 퇴비의 장기시용이 논 농업환경에 미치는 영향

권순익[†], 소규호, 홍승길, 김건엽, 이정택, 성기석, 김권래, 이덕배, 정광용
국립농업과학원 농업환경부

(2009년 9월 1일 접수일, 2009년 9월 24일 수정일, 2009년 9월 27일 채택일)

The effect of continuous application of the food waste composts on the paddy field environment

Soon-Ik Kwon[†], Kyu-Ho So, Seung-Gil Hong, Gun-Yeob Kim, Jeong-Taek Lee, Ki-Seog Seong,
Kwon-Rae Kim, Deog-Bae Lee, and Kwang-Yong Jung

Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science

ABSTRACT

The long-term effects and the soil environmental changes were examined to ensure the safety of food waste compost in agricultural use. Based on conventional nitrogen application rate of chemical fertilizer, Pig manure compost with 24g N kg⁻¹, 8g P₂O₅ kg⁻¹, and 10.4g K₂O kg⁻¹ and food waste compost with 20g N kg⁻¹, 20.1g P₂O₅ kg⁻¹, and 6.5g K₂O kg⁻¹ were applied to the paddy soil in 2 × 2 × 2 m lysimeter in which paddy rice (*Oryza sativa* L. var Chucheong) were grown.

The rice grown where food waste compost applied showed better growth responses than control, whereas less yield rate than chemical fertilizer applied. The contents of organic matter, nitrogen, and phosphorus after experiment were increased with compost applied. In addition, it improved soil aeration by the application of food waste compost, while little difference was observed in the quality of surface, infiltrated, and ground water compared to chemical fertilizer applied or control.

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

[†]Corresponding Author : sikwon@korea.kr

초록

본 연구는 음식물류폐기물을 활용한 퇴비의 안전한 농업적 활용을 위하여, 음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 논에 장기간 시용하고 벼를 재배하면서 벼 생육에 미치는 영향 및 토양환경 변화를 조사하였다. 시험에 사용된 재료는 질소, 인산, 칼리의 함량이 각각 24g kg^{-1} , 8g kg^{-1} , 10.4g kg^{-1} 인 돈분퇴비와 질소, 인산, 칼리의 함량이 각각 20g kg^{-1} , 20.1g kg^{-1} , 6.5g kg^{-1} 인 음식물류폐기물 활용 퇴비로써 $2\times 2\times 2\text{ m}$ 크기의 라이시미터에 화학비료의 질소 시용량과 동일하게 시용한 후 추정벼를 재배 실험하였다. 음식물류폐기물 활용 퇴비를 시용한 시험구의 벼 생육은 무비구보다는 양호하였으나 화학비료구에 비해서는 대등하거나 수량이 감소하였다. 시험 후 토양의 성분 함량은 퇴비의 시용에 의해 유기물, 질소 및 인산의 함량이 증가하였으며, 특히 음식물류폐기물 활용 퇴비의 시용은 토양의 통기성을 크게 하였다. 퇴비의 시용에 따른 논토양 수질을 조사한 결과 표면수, 침투수, 지하수에서 화학비료구 또는 무비구에 비해 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 퇴비, 음식물류폐기물, 논, 돈분, 자원 재활용

1. 서론

음식물류폐기물은 우리나라의 폐기물 발생 중 많은 부분을 차지하고 있으며, 음식문화 특성상 수분이 많은 상태로 발생되고 있다. 음식물류폐기물의 처리는 매립지 반입금지 및 런던협약 준수에 따른 해양투기 제한 등으로 유기성 폐기물의 재이용에 대한 사회적 요구와 압력이 가중되고 있다. 한편에서는 음식물류폐기물 등 유기성 폐기물을 농업분야에서 재이용하는데 있어 유해성분 및 토양환경에의 부정적 영향에 대한 우려도 커지고 있다. 음식물류폐기물은 대부분 농산물 유래물 질로 농업적 순환이용을 위한 종합적 관리체계의 구축이 필요하다.

음식물류폐기물은 수분함량이 80% 이상으로 높아서 혐기상태로 되면 유기물이 쉽게 부패하여 악취를 발생하므로 취급하기를 꺼려서 수집이 불편하고 운반 중에는 분해시 발생한 악취와 폐수로 인한 어려움이 많다. 음식물류폐기물의 처리 방법은 매립, 소각, 해양투기, 자원화 등 여러 가지가 있으나 매립은 2005년 1월부터 음식물류폐기물을 비롯한 모든 유기성폐기물의 직매립이 금지되었고, 소각은 높은 수분함량으로 인한 불완전 연소로 각종 유해물질의 배출이 우려되어 공기오염에 대한 주민들의 염려로 소각로 건설이 쉽지 않으며, 해양투기는 국제협약의 준수로 많은 제약이 따

를 것으로 예상된다. 자원화에는 사료화, 퇴비화, 에너지화, 공산품 생산화 등이 있는데 사료화는 가축 질병의 발생으로 인해 활용에 많은 제약이 따르고, 연소에 의한 열에너지 및 연료가스의 이용은 건설비와 운영비의 절감과 활용 가능성에 대해 좀 더 많은 연구가 수행되어야 한다. 음식물류폐기물을 활용한 퇴비는 함유한 유기물과 양분에 의해 토양의 물리성과 화학성을 개량하고, 농작물에 양분을 공급할 수 있어야 하며, 농경지에 장기간 연용하여도 염분(NaCl) 등과 같은 일부 성분의 토양 집적으로 인해 다른 성분의 흡수장애나 작물의 양분 결핍 등으로 농작물에 위해성이 없어야 하며, 생산된 퇴비 제품에 대해서는 엄격하게 품질관리를 하여 퇴비를 사용하는 농민들에게 신뢰를 주어야 할 것이다. 아직도 상당수의 농민들은 퇴비포대에 표기되어 있는 염분의 함유 여부와 비율 등에 대해 부정적인 시각을 가지고 있어서 음식물류폐기물을 활용하여 제조된 퇴비 제품의 소비가 활발하지 않은 실정이다.

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 있고, 토양양분의 공급원이자 저장고의 역할, 양이온 치환능력 향상, 토양 완충능 증대, 중금속 유해작용 감소 등 토양의 이화학성을 개선하는 등 다

양한 연구 결과들이 보고되고 있다¹⁻³⁾. 음식물류폐기물의 자원화를 위한 퇴비화 공법에 관한 연구는 1996년부터 본격적으로 이루어졌으며, 수분 및 염분의 제거와 안정화에 많은 성과가 있었다^{3,4)}. 그러나 퇴비화를 위한 연구는 활발하였던 반면에 제조된 퇴비의 처분 또는 이용에 대해서는 상대적으로 부족하였다. 특히 토양에서의 반응은 단기간에 나타나지 않는 경우가 많으므로 장기적인 연용 시험이 요구되며 본 연구에서는 안정한 상태로 만들어진 음식물류폐기물 활용 퇴비의 연속적인 사용이 논토양 및 작물에 미치는 영향 분석을 통한 토양 부하 정도를 평가하여 안정적인 활용을 위한 기초자료를 생산하고자 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 충진하고 추정비를 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]와 같았다.

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

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	O.M	T-N	Av.P ₂ O ₅	Ex.K	Ex.Ca	Ex.Mg	Ex.Na
			---(%)---		----- (mg kg ⁻¹) -----				
No Fer.	6.05	0.05	1.28	0.08	112.5	0.16	2.53	0.50	0.13
Chem.Fer.	5.98	0.06	1.24	0.08	116.7	0.19	2.40	0.42	0.23
PMC	6.02	0.05	1.53	0.08	124.2	0.19	2.28	0.47	0.18
FWC	6.03	0.05	1.45	0.09	96.0	0.13	2.44	0.39	0.19
FWCx2	6.10	0.06	1.62	0.10	94.4	0.12	2.71	0.39	0.21
FWC/PMC	5.97	0.06	1.37	0.09	101.0	0.16	2.56	0.44	0.14

Treatment	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	----- (mg kg ⁻¹) -----							
NoFer.	0.064	0.15	3.00	272.3	72.8	0.34	3.62	3.41
Chem.Fer.	0.060	0.15	3.04	305.6	89.5	0.34	3.79	4.17
PMC	0.059	0.12	3.59	326.0	105.0	0.37	3.99	4.08
FWC	0.060	0.13	3.05	376.4	95.1	0.39	4.06	4.29
FWCx2	0.063	0.17	3.38	441.7	138.7	0.36	4.61	4.30
FWC/PMC	0.062	0.12	3.54	376.1	102.3	0.40	4.09	4.27

※ 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
 FWCPMC : Food waste and pig manure mixed compost, PMC : Pig manure

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

	pH (1:5)	Moisture	O.M	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ 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 ⁻¹) -----								
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

※ 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
 FWCPMC : Food waste and pig manure mixed compost, PMC : Pig manure

처리 내용은 무비구 (No Fer.), 화학비료시용구 (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 비의 토양검정 질소 시비량에 맞추어 산출하였다 [Table 3]. 퇴비는 이앙 1주일 전에 사용한 후 즉시 경운 및 로타리를 실시하였다.

벼의 생육 조사를 위해서 벼 이앙 후 50~60일 사이에 초장, 분얼수를 조사하였고, 생육조사시 엽색 (SPAD 502)도 동시에 측정하였으며, 수확기에 조사한 수량과 수량구성요소는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 준하여 조사하였다⁹⁾.

퇴비 및 식물체의 전질소는 micro-Kjeldahl법으로

정량하였고, 인산, 칼리, 석회, 고토 등은 시료 0.5~1.0 g을 평량하여 H₂SO₄-HClO₄법으로 습식분해하여 인산은 Vanadate법으로 비색정량하였고, 칼리, 석회, 고토 및 중금속 성분은 유도결합플라즈마발광광도계 (ICP, GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였으며, 퇴비의 pH와 EC는 퇴비와 증류수를 1:5로 혼합하여 각각 초자전극법 (Model 720A⁺)과 EC meter (Model 145A⁺)를 사용하여 측정하였다⁹⁾.

침투수는 이앙 직후 토층 60cm 깊이에 porous ceramic cup (Irrometer Co.)을 설치 후 1주일 간격으로 채취하여 조사하였으며, 토양 시료는 시험 전·후에 채취한 토양을 풍건시킨 후 2mm 체를 통과시켜 pH와 EC는 각각 초자전극법 (model 720A⁺)과 EC meter (model 145A⁺)를 사용하여 측정하였고, 유기물은 Turin법, 유효인산은 Lancaster법, 전질소는

[Table. 3] Application Rate of Composts for Each Treatment (kg/10a)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	remarks
Chem. Fert.	11	4.5	5.7	2 times top dressing
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

Kjeldahl법으로 측정하였으며, 치환성양이온은 1N-NH⁺OAc 용액 (pH 7.0)으로 침출하여 ICP(GBC Integra XMP)를 이용하여 분석하였다. 질산태 질소는 Auto analyzer를 이용한 비색법으로 측정하였다^{6,7)}. 지하수는 자동분석기를 이용하여 라이시미터 하부로부터 채취한 물의 pH, NH₄, NO₃, PO₄ 등을 분석하였다.

본 시험에서의 유의성 분석은 통계패키지인 SAS[®]를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 1년차 시험

음식물류폐기물 활용 퇴비의 사용은 [Table 4]에서 보는 바와 같이 자재의 종류 및 토양에 따라 다른 생육 정도를 보였는데, 식양질 토양의 무비구에서 간장의 길이는 80.3cm 인데 비해 화학비료구는 83.7, 돈분퇴비구는 86.8, 음식물 퇴비구는 84.3cm 등으로 비료원의 사용 효과가 나타났으나, 사양질 토양에서는 무비구의 간장이 화학비료구 및 음식물 퇴비구 보다 커서 줄기 신장에는 비료원의 효과가 나타나지 않았다.

이삭수에 있어서는 식양질과 사양질 토양 모두 돈분 퇴비 사용이 많았으며, 음식물 퇴비의 사용은 사용량이

늘수록 이삭수도 증가되었다. 반면에 화학비료 사용은 모든 토양에서 무비구보다도 이삭수가 적었으며, 특히 사양질 토양에서는 주당 립수 및 천립중에서 무비구보다 작아 비료 효과가 나타나지 않았다.

[Table 5]는 도정 특성 및 현미 품위를 조사한 결과이며 현미 정립율은 화학비료구와 음식물류폐기물 퇴비구가 높은 경향이였으며, 음식물퇴비 2배 시용구에서는 청미 발생이 매우 높아서, 정립율이 매우 낮은 결과를 보였다.

[Table 6]은 음식물류폐기물 활용 퇴비 등 몇 가지 종류의 퇴비 사용에 따른 벼 재배에서 질소수지를 분석한 것이다. 각 2×2×2m의 라이시미터에는 투입자재의 종류에 상관없이 질소 44g 이 투입되었고(음식물류폐기물 활용 퇴비 2배구는 88g 투입) 여기에서 지하 부위를 제외하고 생산된 벼와 벼짚 중 질소량은 식양질 토양의 무비구, 화학비료구, 돈분퇴비구, 음식물류폐기물 퇴비구, 음식물류폐기물 퇴비 2배구 및 음식물-돈분 혼합퇴비구에서 각각 31.0, 35.7, 39.8, 36.6, 54.7, 42.4g 이었다. 또 사양질 토양에서는 각각 26.5, 40.8, 39.9, 35.5, 43.0, 33.8g 이었다. 이것을 무비구의 질소 생산량 31.0(식양질), 26.5(사양질)g을 제외하고 투입분에 대한 산출분으로 보았을 때, 질소흡수

[Table 4] Yield Components of the Rice Grown in Paddy Soil Treated with Composts (2005)

Treatment	Culm length(cm)	Panicle length(cm)	No. of panicle	No. of Grain per plant	Ripeness (%)	1000 grain weight of brown rice(g)	
Clay Loam	No Fer.	80.3	16.6	13.1	739	93.3	22.3
	Chem.Fer.	83.7	17.6	10.6	844	94.7	22.8
	PMC	86.8	17.5	14.6	1049	95.4	22.4
	FWC	84.3	18.3	11.0	840	96.7	23.7
	FWCx2	86.9	17.6	14.0	1224	92.2	21.4
	FWC/PMC	82.7	17.1	12.9	806	92.3	21.8
Silt Loam	No Fer.	86.7	17.4	12.9	982	96.8	23.2
	Chem.Fer.	83.0	17.0	10.8	801	97.4	23.1
	PMC	89.0	17.8	14.1	924	96.8	22.9
	FWC	77.9	18.3	11.4	763	95.7	23.4
	FWCx2	86.0	17.9	14.1	1366	94.9	23.0
	FWC/PMC	84.2	17.7	13.3	954	97.5	23.5

[Table 5] Characteristics of Milling and Polished Rice Kernel Grown in the Paddy Soil Amended with Different Composts (2005)

Soil Treatments		Brown rice recovery (%)	Broken rice (%)	Green kenneled rice (%)	Immature grain (%)	Head rice (%)	1000 grain weight of brown rice (g)
Clay Loam	No Fer.	80.8	0.11	0.09	1.91	97.5	19.8
	Chem.Fer.	81.6	0.11	0.42	1.08	98.0	20.0
	PMC	81.6	0.11	1.75	1.14	96.5	19.5
	FWC	81.6	0.11	0.71	1.12	97.0	20.3
	FWCx2	81.6	0.16	7.06	1.19	91.0	19.6
	FWC/PMC	81.6	0.15	0.53	1.48	97.5	19.4
Silt Loam	No Fer.	81.6	0.14	0.15	1.57	97.5	19.7
	Chem.Fer.	81.6	0.13	0.80	1.16	97.5	19.8
	PMC	80.8	0.28	0.99	1.43	97.0	19.8
	FWC	80.8	0.14	0.16	1.159	8.32	0.2
	FWCx2	81.6	0.28	2.69	1.82	94.7	19.7
	FWC/PMC	81.6	0.67	0.07	0.48	99.0	19.5

[Table 6] Rice Yield and Nitrogen Balance in the Paddy Soil Amended with Different Composts (g/4m²) (2005)

Treatment	N Input	Rice straw			Rice(unhulled)			N Output	
		Yield (g)	N (%)	N (g)	Yield (g)	N (%)	N (g)		
Clay Loam	No Fer.	0	2231	0.60	13.4	1664	1.06	17.6	31.0
	Chem.Fer.	44	2447	0.67	16.4	1788	1.0	819.3	35.7
	PMC	44	2907	0.64	18.6	1878	1.13	21.2	39.8
	FWC	44	2840	0.63	17.9	1802	1.04	18.7	36.6
	FWCx2	88	2758	0.93	25.6	2096	1.39	29.1	54.7
	FWC/PMC	44	2573	0.96	24.7	1706	1.04	17.7	42.4
Silt Loam	No Fer.	0	2325	0.43	10.0	1666	0.99	16.5	26.5
	Chem.Fer.	44	2588	0.71	18.4	1734	1.29	22.4	40.8
	PMC	44	2912	0.62	18.1	1834	1.19	21.8	39.9
	FWC	44	2710	0.48	13.0	1842	1.22	22.5	35.5
	FWCx2	88	2801	0.80	22.4	2016	1.022	0.6	43.0
	FWC/PMC	44	2573	0.57	14.7	1840	1.04	19.1	33.8

이용효율은 식양질에서 화학비료 10.7, 돈분퇴비 20.0, 음식물류폐기물 퇴비 12.7, 음식물퇴비 2배구 26.9, 혼합퇴비 25.9% 였고, 사양질 토양에서는 화학비료 32.5, 돈분퇴비 30.5, 음식물류폐기물 퇴비 20.5,

음식물퇴비 2배구 18.8, 혼합퇴비 16.6% 로 나타났다. 이상의 결과에서 식양질에서는 퇴비의 시용이, 사양질에서는 화학비료의 질소이용효율이 높게 나타나 비료 공급원의 종류와 토성에 따라 효과에 차이가 있음

의미하고 있다. 한편 2004년에 동일한 방법으로 시험하였을 때에는 식양질과 사양질 모두 음식물류폐기물 퇴비가 질소흡수 이용율이 높았었고, 토성별로는 식양질이 사양질보다 효율이 높았다¹⁾. 따라서 음식물류폐기물의 사용량 등을 결정하기 위해서는 더 많은 시험 자료가 필요할 것으로 생각된다.

3.2 2년차 시험

음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 논에 연속적으로 사용하였을 때 벼의 생육 및 수량과 환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 2년차에서도 1년차에서와 같이 식양질 및 사양질 토양을 충진한 라이시미터에서 화학비료, 돈분퇴비, 음식물류폐기물 퇴비, 음식물류폐기물 퇴비 2배구 및 음식물-돈분 혼합퇴비를 사용하여 벼를 재배하였다.

2년차에서 음식물류폐기물 활용 퇴비 등의 사용은 [Table 7]에서 보는 바와 같이 자재의 종류에 따라서는 화학비료구가 초기 신장을 촉진하는 효과가 컸고, 분얼수에 있어서는 생육 초기에는 돈분퇴비와 음식물 퇴비 2배구에서 가장 컸으나, 생육 후기로 갈수록 그 효과는 크지 않았다. 이와 같은 생육 초기의 일시적 생육 촉진 효과는 당해연도 퇴비의 사용에 의한 효과라기보다는 몇 년간 누적되어 온 유기물 등이 분해되어 작물이 이용하기 쉬운 염의 형태로 변화되었기 때문으로 생각된다.

[Table 8]은 수량 및 수량구성요소를 나타낸 표로서 모든 퇴비 처리구는 무비구보다 수량이 높아 비료로서

의 효과는 인정되나, 화학비료구 보다는 적은 편이었다. 특히 음식물류폐기물 퇴비구는 화학비료구보다 유의성 있게 감소된 결과를 보였다. 이는 동일한 시험의 반복을 통해서 같은 재료라 하더라도 다른 결과를 얻을 수 있으며, 그 원인이 환경적 요인인지 연용의 효과인지가 구명될 필요가 있음을 보여주었다.

음식물류폐기물 퇴비 등을 연속적으로 사용하여 벼를 재배하면서 라이시미터 토양의 수질을 조사하였다. [Fig. 1]은 벼 재배기간 중에 토양의 표면수를 채취하여 분석한 결과이다. 표면수의 EC는 퇴비의 사용시 초기에는 높다가 점차 떨어지는 경향이며, 처리별로는 돈분퇴비, 음식물류폐기물 퇴비, 화학비료 순으로 낮아지는 경향을 보였다. 표면수의 전질소 함량은 이양 초기인 5월에 화학비료 사용구에서 높게 나타났고 다른 처리들 간에는 현저한 차이는 보이지 않았다. 이는 동일한 양의 질소 성분량이 투입되었지만 화학비료는 요소의 성분이 물속에 많이 녹아 있는 반면에 음식물류폐기물 퇴비 등의 자재로부터는 질소 성분이 서서히 녹아나오기 때문으로 생각된다. 표면수의 인산염의 함량은 처리별로 차이를 보이지 않았고 칼륨 함량은 음식물류폐기물 퇴비 사용구가 화학비료 사용구보다 높은 경향이었다.

침출수 중 전질소 함량은 [Fig. 2]에서와 같이 이양 초기에는 높았으나 점차 떨어지다가 6월 26일을 기점으로 다시 높아지는 경향이었으며 처리별로는 큰 차이를 보이지 않았다. 인산염의 함량은 시기에 따른 편차가 컸으며 처리간에서도 일정한 경향을 보이지 않았다. 침출수의 칼륨 함량은 화학비료 처리구에서만 이양초

[Table 7] Growth of Rice in the Paddy Soil Amended with Different Composts in 2006

Treatment	30 June		19 July		13 Sept.		
	Plant height (cm)	No. of tiller	Plant height (cm)	No. of tiller	Culm length (cm)	Panicle length (cm)	No. of panicle
No Fert.	36.7	20.1	69.9	20.6	75.3	17.5	11.5
Chem. Fert.	51.4	24.2	71.7	22.4	90.2	17.2	21.9
PMC	47.0	26.4	69.0	20.6	82.7	17.2	17.5
FWC	39.0	21.6	67.6	21.6	80.2	17.3	15.8
FWCx2	39.9	25.1	76.9	25.9	85.7	16.5	19.5
FWC/PMC	42.9	24.7	71.8	20.4	81.8	17.5	18.1

[Table 8] Yield and Yield Components of Rice Grown in the Paddy Soil Amended with Different Composts in 2006

	Panicle per plant	Grain per panicle	Ratio of brown (%)	1000 grain weight (g)	Yield (kg/10a)	Yield Index (%)
No Fert.	11.5 d	68.5 a	96.9 a	25.2 a	383.7 c	100
Chem. Fert.	21.9 a	49.7 b	84.0 c	19.5 b	655.0 a	170.7
PMC	17.5 bc	65.2 a	91.7 ab	22.7 ab	569.8 ab	148.5
FWC	15.8 c	61.9 ab	96.4 as	24.7 a	520.5 b	135.7
FWCx2	19.5 ab	61.4 ab	88.3 bc	22.7 ab	612.8 ab	159.7
FWC/PMC	18.1 bc	65.5 a	96.9 a	24.5 a	592.2 ab	154.3

※ DMRT 5%.

기에 높다가 6월부터는 낮아져 그 후에는 처리간의 차이가 보이지 않았다.

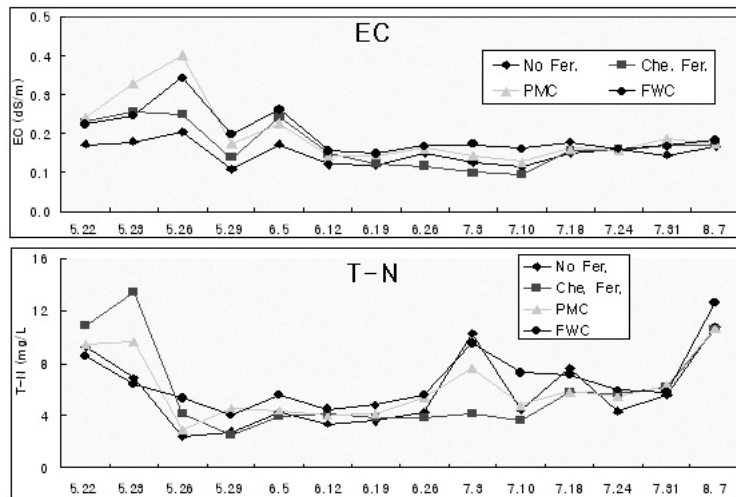
양분 지하 유출량을 계산해 본 결과 [Table 9]에서와 같이 음식물류폐기물 퇴비 2배 시용구에서 가장 많았고 다음이 음식물 돈분 혼합퇴비, 화학비료구 순이었으며, 돈분퇴비 시용구 및 음식물류폐기물 퇴비 시용구는 무비구보다 낮아 오염물질의 지하 유출 가능성도 크지 않을 것으로 예상된다.

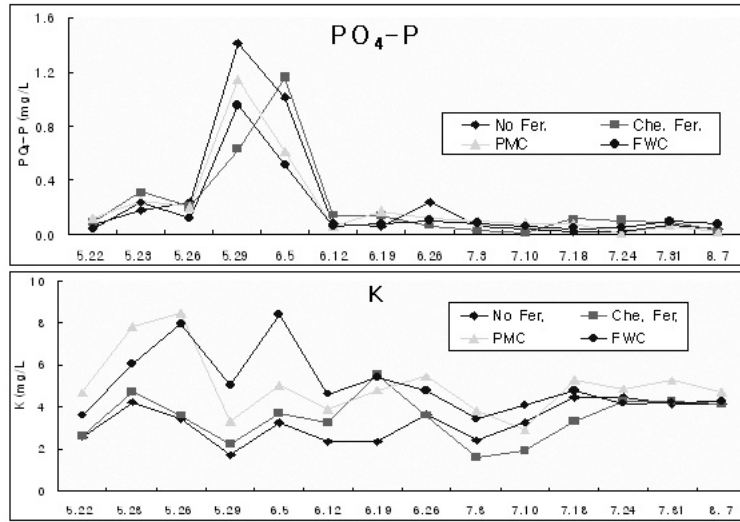
3.3 3년차 시험

동일한 조건에서 연속하여 음식물류폐기물 퇴비를 시용하면서 벼를 재배하면서 생육을 조사한 결과는

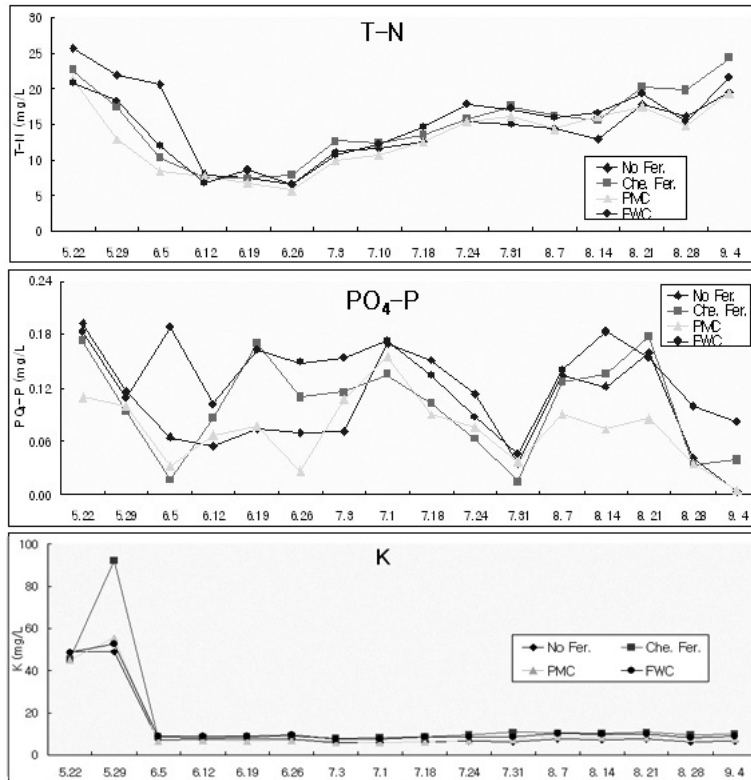
[Table 10]과 같다. 앞의 2년간의 시험에서와 같이 벼 식물체의 초장은 처리간에 큰 차이를 보이지 않았고 분얼수에 있어서는 퇴비의 처리가 무비구 보다 많았고, 특히 돈분퇴비구에서 분얼수가 가장 많았다. 엽색도를 측정한 결과는 무비구에서 다소 낮고 음식물류폐기물 퇴비 시용구에서 다소 높게 나타났다. 엽색도는 질소의 함량과 정의 상관관을 보이는 것으로 알려져 있어서 음식물류폐기물 퇴비 시용이 벼 초기 생육에 효과적인 것으로 생각된다.

연속적인 재배시험을 수행하면서 얻어진 3년간의 벼 수량을 비교해 보면 [Table 11]에서와 같이 2005년에는 음식물류폐기물 퇴비 2배 시용구에서 유의성있





[Fig. 1] Water quality of surface water in lysimeter during the cultivation of rice in 2006.



[Fig. 2] Water quality of infiltrated water in lysimeter during cultivation of rice in 2006.

[Table 9] Estimated Nutrient Loss in the Paddy Soil during Rice Cultivation in 2006 (g 10a⁻¹)

	before June	July	after August	Total	
T-N	No Fer.	1894.1	1378.1	1695.4	4967.6
	Chem. Fert.	1533.9	1507.3	2019.7	5060.9
	PMC	1313.6	1353.1	1726.9	4393.6
	FWC	1531.6	1518.2	1866.1	4915.3
	FWCx2	1747.1	1585.4	1814.6	5147.0
	FWC/PMC	1773.5	1457.8	2095.1	5326.5

	before June	July	after August	Total	
NO ₃ -N	No Fer.	1793.6	1376.8	1695.4	4865.7
	Chem. Fert.	1486.5	1505.2	2019.7	5011.4
	PMC	1257.1	1348.6	1726.7	4332.4
	FWC	1435.6	1515.2	1865.5	4816.2
	FWCx2	1691.5	1580.9	1814.4	5086.8
	FWC/PMC	1722.3	1454.5	2094.3	5271.0

	before June	July	after August	Total	
NH ₄ -N	No Fer.	100.5	1.3	0.0	101.9
	Chem. Fert.	47.4	2.2	0.0	49.6
	PMC	56.5	4.5	0.2	61.2
	FWC	95.4	3.0	0.6	99.1
	FWCx2	55.6	4.5	0.2	60.3
	FWC/PMC	51.2	3.3	0.8	55.4

는 수량 증가를 보였으나, 무비구와 화학비료구 및 다른 퇴비 시용구간에 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 2006년의 재배에서는 화학비료의 시용이 가장 높은 수량을 보였으며, 돈분퇴비구, 음식물 돈분 혼합퇴비구 및 음식물퇴비 2배 시용구에서 통계적으로 유사한 수량을 얻었다. 무비구는 다른 처리에 비해 유의성 있는 수량 감소를 보였다. 또 2년 연속으로 음식물류폐기물 퇴비의 시용은 시용량이 늘수록 벼의 수량이 증가되었다. 그러나 3년차인 2007년에는 시용량이 늘수록 오히려 수량은 줄어들었다. 무비구에 비해 퇴비 등의 처리는 수량의 증가를 보였으나 반복간의 편차가 커서 통계적인 유의성은 나타나지 않았다.

음식물류폐기물은 높은 염분 함량으로 퇴비 이용에

제한 요인이 되어 왔다. 음식물류폐기물만을 원료로 제조한 퇴비의 염분 함량은 퇴비화 과정중의 농축효과로 인해 최종 퇴비 제품에서 염분 함량이 높은 경우가 있다. 염분 함량이 높은 퇴비를 토양에 시용했을 때에는 토양입단의 분해가 일어나 토양의 물리성을 악화시킨다고 알려져 있다. 따라서 음식물류폐기물을 활용한 퇴비의 안전한 사용을 위해 비료공정규격에 염분 함량이 설정되기에 이르렀다. [Fig. 3]은 음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 시용한 논토양에서 지하 2 m 아래의 침투수의 화학 성분을 한달간 매일 분석한 결과이다. 침투수의 pH는 화학비료 시용구에서 다소 낮았으나 큰 차이는 없었다. 암모니아태질소의 경우 화학비료 시용에 의해 다소 높은 농도를 나타내는 적도 있으나 변이가 커

[Table 10] Growth of Rice in the Paddy Soil Amended with Different Composts in 2007 ('07. 7. 5)

Treatment	Plant height (cm)	No. of tiller	Leaf color index (SPAD 502)
No Fer.	69±8	15±2	37.5±0.4
Chem.Fer.	72±3	18±1	41±2
PMC	71±5	21±4	40±2
FWC	68±7	16±2	43±2
FWCx2	69±6	17±2	40.7±0.8
FWC/PMC	66.5±0.5	19±1	41±3

※ DMRT 5%.

[Table 11] Yield of Brown Rice Grown in the Paddy Soil Amended with Food Waste Compost, Pig Manure Compost, and Chemical Fertilizer from 2005 to 2007 (kg 10a⁻¹)

Treat \ Year	2005	2006	2007
No Fer.	489 b	384 c	375
Chem.Fer.	495 b	655 a	528
PMC	538 ab	570 ab	411
FWC	503 b	521 b	617
FWCx2	2576 a	613 ab	540
FWC/PMC	501 b	592 ab	524

※ DMRT 5%.

서 특별한 경향을 찾아볼 수 없었다. 질산태질소의 경우에도 음식물류폐기물 2배 시용구와 돈분퇴비 시용구에서 다소 낮고 화학비료 시용구에서 다소 높은 경향을 보이고 있다. 인산염의 농도는 6월에는 처리간에 차이가 없었으나 7월에 이르러는 변이가 커져 역시 일정한 경향을 찾아볼 수 없었다.

[Fig. 4]는 논토양 침투수 수질분석의 정도관리를 위한 reference 값의 결과를 보여주고 있다. pH, ammonium, nitrate 및 phosphate 모두 안정적인 reference 값을 보이고 있었다.

3.4 논토양 화학성 변화

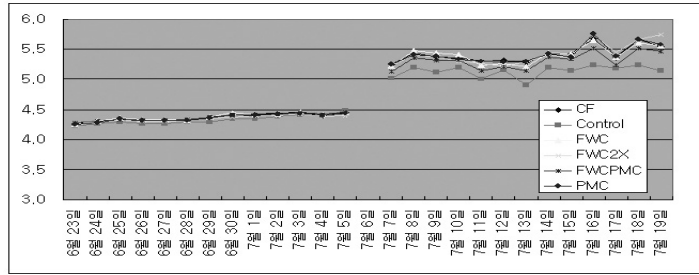
음식물류폐기물 활용 퇴비 등을 3년 이상 계속적으로 시용하고 벼를 재배하면서 토양중의 pH, EC, 유기물, 전질소, 유효인산 및 치환성양이온 등 이화학성 변화를 조사하였고 그 결과는 [Fig. 5]와 같다.

토양의 pH는 시험 초기 및 중기에는 처리간의 차이

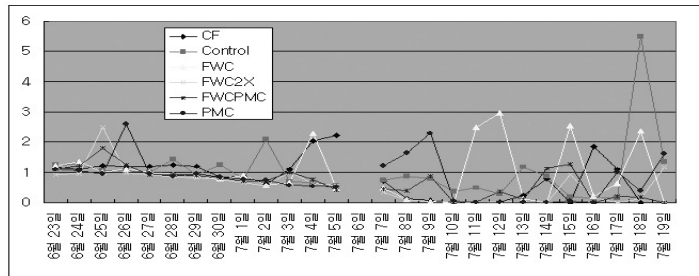
가 없었고 3년차에 약간의 차이가 발생하였다. 동일한 처리를 한 밭토양의 경우에는 화학비료의 시용은 다른 처리보다 pH가 낮았으나 논토양의 경우는 처리간의 차이가 나타나지 않았는데 이는 논토양의 중화작용에 의한 것으로 보인다. 토양의 EC(전기전도도)의 경우에도 초기에는 처리간의 차이가 없었고 2년차부터는 퇴비의 시용에 의해 증가하기도 하였으나 가장 높을 경우에도 0.35 dS m⁻¹ 이하로서 작물 생육에는 영향이 없을 것으로 생각된다. 토양 유기물의 함량은 밭토양의 경우에는 처리간의 차이가 뚜렷하였으나 논토양에서는 처리간의 차이가 크지 않았다. 토양내 전질소 함량에 있어서도 연차간 또는 처리간 차이가 크지 않고 함량은 증가하지 않는 것으로 보아 작물 생육에 이용되지 않는 질소 성분은 지하로 침투될 것으로 생각된다.

논토양의 유효인산의 경우에는 돈분퇴비와 음식물류폐기물 퇴비의 시용횟수가 증가함에 따라 유효인산의 함량은 낮게 나타나 퇴비중의 인산이 토양내에서

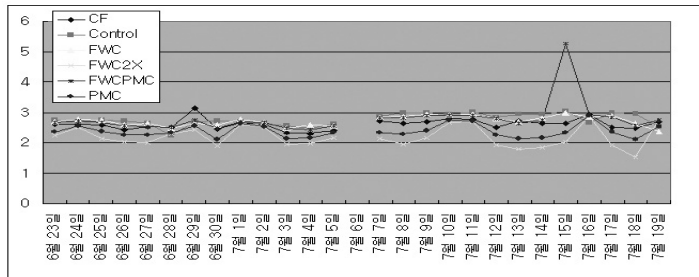
<pH>



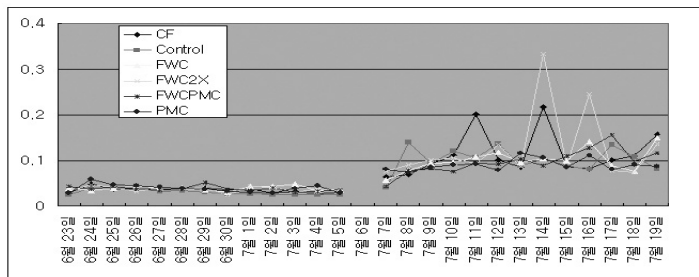
<Ammonium> (NH₄-N, mg L⁻¹)



<Nitrate> (NO₃-N, mg L⁻¹)

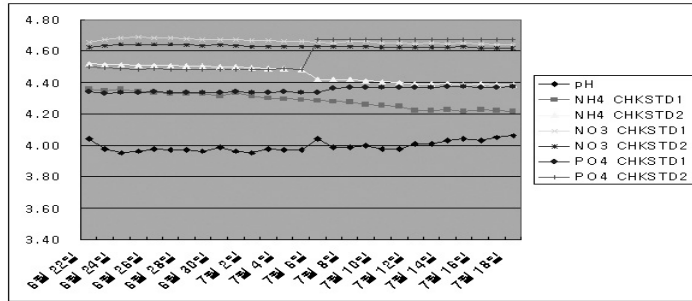


<Phosphate> (PO₄-P, mg L⁻¹)



[Fig. 3] Water quality from the bottom of the lysimeter amended with different resources in 2007.

※ CF : Chemical fertilizer, Control : No fertilizer
 FWC : Food waste compost, FWC2X : Twice amount of Food waste compost
 FWCPMC : Food waste and pig manure mixed compost, PMC : Pig manure compost.



[Fig. 4] Reference curves of some components for quality control in soil water analysis.

불가급태로 변환 것으로 생각되며 논토양에서는 인산 축적의 문제는 적을 것으로 생각된다. 토양중 치환성 칼리는 일정한 경향을 찾아보기 어려웠고, 치환성 칼슘, 마그네슘 및 나트륨의 경우에는 시용횟수가 늘수록 치환성양이온의 양도 증가되는 것으로 나타났다. 특히 음식물류폐기물 퇴비 2배구에서 치환성나트륨의 증가 경향이 뚜렷하였다. 우리나라 음식물류폐기물의 특성 상 높은 염분을 제거하지 않고 퇴비화 과정을 거친 저 품질의 퇴비가 토양에 시용될 경우 작물은 삼투 현상에 의해 수분의 흡수가 방해되고 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^{3,9-14}). Lee⁴)는 음식물류폐기물 퇴비의 시용이 토양의 Na 집적에 미치는 영향을 조사한 결과 NaCl 함량이 높은 퇴비를 시용할수록 논과 밭 토양에서 공히 SAR과 ESP가 고도의 유익성을 가지고 직선적으로 증가한다고 하였다. 본 시험에 사용된 음식물 퇴비는 정상적인 제조 공정을 거친 염분 함량 1.0% 이하의 재료이므로 토양내에서 Na에 의한 영향도 크지 않았던 것으로 생각된다.

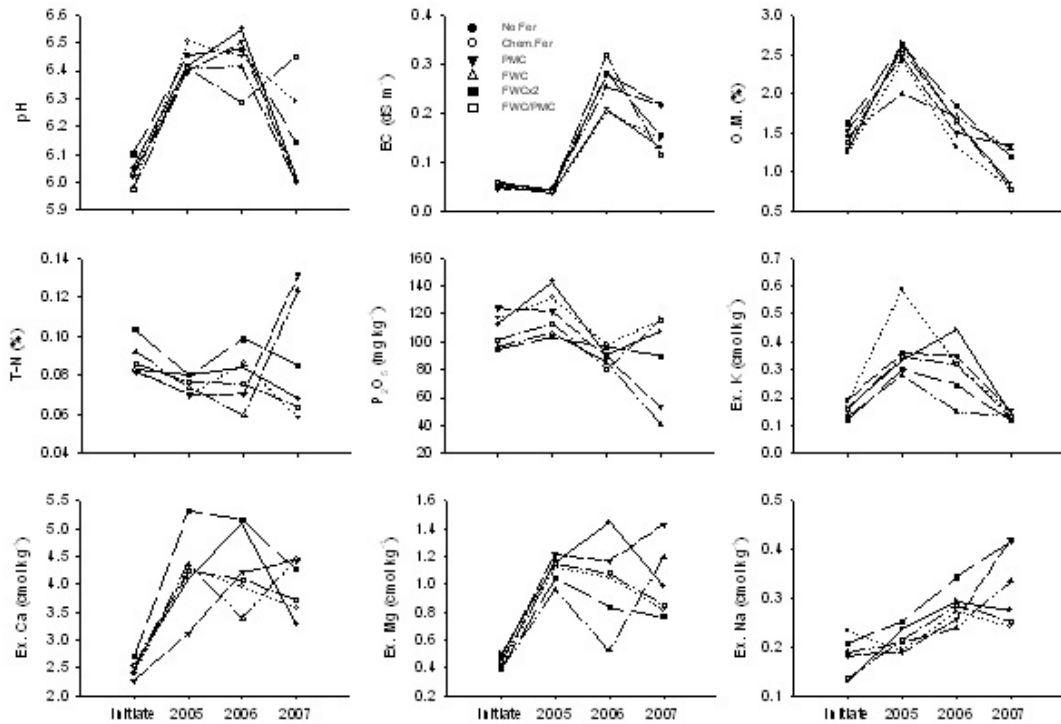
3.5 논토양 물리성 변화

토양의 용적밀도는 고상을 구성하는 고형 입자의 무게를 전체 용적으로 나눈 것이며, 인위적인 요인에 의해 변할 수 있다. 용적밀도가 큰 토양은 단위용적당 고형 입자가 많은 것을 의미하며 다져진 상태를 나타내

며, 용적밀도가 낮은 토양은 고형입자가 적어서 푸석푸석한 상태를 의미한다. 따라서 용적밀도는 토양의 물리적 성질을 직접적으로 나타낼 수 있으며, 용적밀도가 낮은 토양이 식물의 뿌리자람과 배수성 및 투수성이 좋아진다. 음식물류폐기물 활용 퇴비의 3년간 연속적인 사용으로 화학비료 시용구에 비해 논토양의 전용적밀도가 유의성 있게 감소되었으며, 시용량을 많이 한 음식물퇴비 2배구에서는 더욱 큰 차이를 보였다 [Table 12]. 일반적으로 유기물의 시용에 의한 용적밀도의 감소는 잘 알려져 있으며, Anikwe and Nwobodo¹⁶)와 Chang 등¹⁷)도 하수슬러지 퇴비의 시용은 전용적밀도를 감소시키고 보수성 및 수리전도도를 증가시킨다고 보고하였다. 그러나 돈분퇴비 시용구 및 돈분 및 음식물 혼합퇴비 시용구에서는 용적밀도의 감소효과가 나타나지 않았다. 토양 삼상 분석결과를 보면 고상은 용적밀도와 같은 경향을 보였으며, 액상은 처리에 따른 차이가 보이지 않았다. 기상은 음식물2배구 > 음식물퇴비구 > 돈분퇴비구, 화학비료구, 혼합퇴비구 > 무비구의 순서로 나타났으며, 퇴비의 시용은 무비구 또는 화학비료구에 비해 공극율을 증가시켰으며, 시용량이 늘수록 공극율도 커져서 통기성이 양호해지는 것으로 나타났다.

4. 결론

음식물류폐기물을 활용하여 정상적으로 제조한 퇴비를 논토양에 시용한 결과 벼의 생육은 대체로 화학



[Fig. 5] Changes in chemical properties of soils over time with consecutive application of food waste compost in the lysimeter paddy soil.

[Table. 12] Physical Properties of the Paddy Soil after Harvest

	Bulk density (g ml ⁻¹)	Three phase of soils			Total porous space (%)
		Solid	Water	Air	
No Fer.	1.39 a	52.5 a	31.1 a	16.4 b	47.5 c
Chem.Fer.	1.40 a	52.8 a	22.4 a	24.8 ab	47.2 c
PMC	1.36 ab	51.4 ab	23.2 a	25.5 ab	48.6 bc
FWC	1.26 bc	47.5 bc	18.9 a	33.6 a	52.5 ab
FWCx2	1.17 c	44.3 c	19.3 a	36.5 a	55.7 a
FWC/PMC	1.40 a	52.8 a	24.8 a	22.3 ab	47.2 c

※ BD : bulk density, VS: volume of solid, VW: volume of water,
VA : volume of air, TPS: total pore space.

비료 처리구와 유의한 차이를 보이지 않았으며 생산량 또한 화학비료구와 비슷한 수준이었다. 또한 음식물 퇴비의 연용이 토양의 물리화학적 특성을 악화시킬 수 있다는 기존의 우려와는 달리 본 연구에서는 토양 pH, EC, 유기물, 질소, 유효인산, 치환성칼리 등 이화학성분에서 큰 차이를 보이지 않았고, 퇴비기준(NaCl 1% 이하)에 적합한 농도의 염분을 함유한 퇴비의 사용으로 염분집적 현상도 보이지 않았으며 오히려 여러 가지 토양의 물리적 특성이 개선되었다. 따라서 음식물류폐기물 활용 퇴비는 단기적으로 보자는 논에서 화학비료를 대체하여 이용될 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 수량면에서 연차간에 차이가 있고 이에 대한 원인 분석 및 대책이 충분하게 밝혀져 있지 않다. 논은 밭과 달리 작물의 선택이 제한되어 있으므로 장기적으로 안전하고 안정적인 퇴비 사용을 위해서는 퇴비 자체의 선택과 사용량, 사용방법 등의 활용면 뿐만 아니라 장기적인 관점에서의 환경영향평가 등 다양한 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. Lee, S. E., “Sodicinity difference between paddy and upland soil as affected by food waste compost application”, Korean J. Soil Sci. & Fert., 33(2), pp. 92-99 (2000).
5. 농촌진흥청, “농사시험연구조사기준”, (1995).
6. 농업과학기술원, “토양 및 식물체 분석법”, (2000).
7. Summer, M. E., and Miller, W. P., “Cation exchange capacity and exchangeable coefficients”, pp. 1201-1230. In D. L. Sparks et al.(ed). Method of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA Book Ser. 5, SSSA and ASA. Madison. WI. (1996).
8. SAS, “Enterprise Guide 3.0”, SAS Institute Inc. (2004).
9. Bernstein, L., “Effects of salinity and sodicity on plant growth”, Ann. Phytopathol, 13, pp. 295-312 (1975).
10. Bernstein, L. and Hayward, H. E., “Physiology of salt tolerance”, Ann. Rev. Plant Physiol., 9, pp. 25-46 (1958).
11. 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).
12. Greenway, H., and Munns, R., “Mechanisms of salt tolerance in monhalophytes”, Ann. Rev. Plant Physiol., 31, pp. 149-190 (1980).
13. Hayward, H. E., and Wadleigh, C. H., “Plant growth on saline and alkali soils”, Adv. in Agron., 1, pp. 1-38 (1949).
14. Shannon, M., “Adaptation of plants to salinity”, Adv. in Agron., 60, pp. 75-120 (1997).
15. 배재근, 주요섭, 박정수, “음식물쓰레기 염분 (NaCl) 농도가 퇴비화 및 식물성장에 미치는 영향”, 유기성자원학회지, 10(4), pp. 103-111 (2002).
16. 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., 83, pp. 241~250 (2002).

17. Chang, A. C., Page, A. L., and Warneke, J. E.,
“Soil conditioning effects of municipal sludge

compost”, J. Environ. Engin., 109, pp. 574~583
(1983). 