

축분 퇴비의 이화학적 특성과 발아지수를 이용한 부숙도 평가

장기운* · 홍주화 · 이종진¹ · 한기필¹ · 김남천²

충남대학교 생물환경화학전공, ¹(주) 판코리아, ²울지대학교 보건환경학전공

Evaluation of Compost Maturity by Physico-chemical Properties and Germination Index of Livestock Manure Compost

Ki-Woon Chang*, Joo-Hwa Hong, Jong-Jin Lee¹, Ki-Pil Han¹, and Nam-Cheon Kim²

Dept. of Bio Environmental Chemistry, Chungnam National University, Taejeon, 305-764, Korea

¹PANKOREA Co., Ltd, #458-7, Gung-Dong, Yuseong-Gu, Taejeon, 305-335, Korea

²The Faculty of Health & Environmental Science, Eulji University, Sunghnam, 461-713, Korea

This study was conducted to evaluate the humification grade of compost, based on physico-chemical property and phyto-toxicity during the composting with three kinds of livestock manures and saw dust. The ratios of the compost, which was mixed with pig manure(P) and sawdust(S) were 4 : 6(PS-1), 5 : 5(PS-2) and 6 : 4(PS-3); poultry manure(PO) and sawdust(S) were 4 : 6(POS-1), 5 : 5(POS-2) and 6 : 4(POS-3); cow manure(C) and sawdust(S) were 4 : 6(CS-1), 5 : 5(CS-2) and 6 : 4(CS-3) by volume to volume, and they were decomposed for 60 days. In the result, the temperature in all treatments during composting rapidly increased above 65.4°C, and then gradually decreased to around 40°C. At 60 day, after the treatment, pH 5.9~8.0 at the incipient stage increased to 7.6 ~ 8.5, and the C/N ratio was 13.8~21.1 at the final composting stage. Germination Index(G.I.) showed in the range of 75.1~94.6 in all treatments at day 60. Therefore, it is likely recommended to take the best humification grade when the temperature maintains above 65°C longer than a day at minimum, in the range of pH 6.5~8.5 for the final compost, under 20 of C/N ratio, and G.I. above 80. The level of G.I. above 80 should be the mature compost which could be used in the field without gas damage to crops.

Key words : Evaluation, Humification, Livestock manure, Germination index

서 언

급격한 경제성장과 산업화에 따라 식생활의 변화로 육류의 소비량이 꾸준히 증가하고 있다. 이에 따라 축산업 또한 지속적으로 발전하게 되었다. 가축 사육두수는 매년 증가하고 있으며, 그에 따라 가축분뇨 발생량도 2004년 4,117만톤에서 2006년 4,392만톤으로 증가 추세를 보이고 있다(농촌진흥청, 2007). 가축분뇨는 전체 오·폐수 발생량의 0.6%이나, 오염물질 발생부하는 25.8%를 차지한다(농촌진흥청, 2007).

가축분뇨 퇴비는 토양 개량과 우수한 양분 공급 효과를 가지고 있는 친환경농업에 활용될 수 있는 우수한 자원이다. 그러나, 최근에는 검증이 안된 유기성 산업부산물과 같은 불량원료의 사용, 미부숙퇴비 시

용, 제조공정의 미비, 시용량의 과다 및 재배환경의 관리 미숙 등(농촌진흥청, 1997)에 의해 피해가 종종 발생되고 있다. 피해 사례로는 유기물함량이 높은 퇴비를 과량으로 사용시 일시적인 질소 기아 및 유기산 등이 발생하여 작물뿌리에 생리장해를 일으키고, 특히 미부숙된 퇴비를 온실 및 하우스에 사용시 가스발생 피해 등이 빈번히 발생되고 있다. 친환경 농업에 가장 많이 쓰이는 퇴비에 대한 품질기준의 재검토가 요구되고 있다.

퇴비는 비료공정규격에 의해 유기물 최소함량, 유해성분과 기타규격(유기물대질소비, 수분함량 및 염분)에만 적합하면, 등록 및 판매가 가능하다. 그러나, 이러한 비료공정규격만으로는 퇴비의 부숙도 및 안정성을 평가하기에는 문제가 있다. 따라서, 안정화된 퇴비 생산·공급을 위해서는 축분과 기타 유기성자재를 원료로 한 퇴비의 부숙 정도와 안정성 판단을 위한 가장 효율적인 부숙도 결정 지표 설정이 절실히 요구되

접수 : 2008. 2. 20 수리 : 2008. 3. 2
*연락처 : Phone: +82428216738,
E-mail: kwchang@cnu.ac.kr

고 있다.

본 연구는 특성이 다른 돈분, 계분 및 우분의 사용량을 달리한 퇴비화 과정 중 이화학적 특성과 식물독성시험 결과를 비교·검증하여, 부숙도를 판정할 수 있는 적절한 발아지수 범위를 설정하여 농촌진흥청 비료공정규격과 산업자원부 GR인증 부산물비료 품질규격에 적용할 안을 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

재료 및 퇴비화 시설 퇴비화에 사용된 축분은 충남 논산지역의 돈사, 우사 및 양계장에서 채취하였으며, 톱밥은 논산축산협동조합 퇴비공장에서 자체 파쇄한 것을 사용하였다. 처리구는 가축분과 톱밥의 사용량에 따른 퇴비의 부숙 정도를 알아보기 위해 돈분과 톱밥을 부피비로 4 : 6(PS-1), 5 : 5(PS-2), 6 : 4(PS-3)로 배합한 처리구, 계분과 톱밥을 부피비로 4 : 6(POS-1), 5 : 5(POS-2), 6 : 4(POS-3)로 배합한 처리구, 우분과 톱밥을 부피비로 4 : 6(CS-1), 5 : 5(CS-2), 6 : 4(CS-3)로 배합한 처리구로 설정하였다. Table 1, 2에 축분과 톱밥의 화학적 특성과 중금속함량을 분석한 결과를 나타냈다.

퇴비화 시설은 논산축산협동조합 유기질비료공장 에서 1m³ 정도의 사각 PVC 통을 이용하여 정체식으로 퇴비화를 진행하였다. PVC통 아랫 부분에 파이프를 연결하여 매일 1시간 씩 송풍을 실시하였으며, 퇴비화 기간은 60일로 1, 3, 7, 15, 20, 40, 60일째(총 7회)에 시료를 채취하였다. 퇴비화 기간 동안 15일(1차)과 20일(2차)에 뒤집기를 2회 실시하였다.

퇴비의 이화학적 특성 분석 퇴비화 기간에 퇴비

의 온도를 측정하기 위해 Digital thermometer(HY-550)를 이용하여 퇴적더미의 약 30 cm 부위 3곳에서 매일 측정한 후, 평균값을 구하였다. 공시재료인 축분과 톱밥의 무기원소 분석은 HClO₄로 분해한 후 ICP(PE-Optima 3300DV)와 원자흡수분광도계(SHIMADZU AA-6800)로 측정하였다. 또한 퇴비시료의 화학성 분석은 pH 및 EC는 1:10법(Jackson, 1958), 총탄소(T-C)는 dry-ash법(Karam, 1986), 질소는 Kjeldahl법(농촌진흥청, 2000)을 이용하였다.

식물독성시험 퇴비시료를 약 70°C에서 2시간 동안 증류수로 환류냉각 추출하여 여과한 후, 여과지(Watman No. 42, Ø 9 cm)가 깔린 petri dish에 여과액 7 ml를 가하였다. 여기에 건실한 배추종자를 파종하여 배양기(growth chamber: 상대습도 50%, 온도 28°C)에서 5일간 생육시켜 발아된 종자의 발아율과 뿌리길이를 조사하여 G.I. 값을 구하였다(Zucconi et al., 1981).

결과 및 고찰

온도변화 온도변화는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 초기 원료배합 후 퇴비더미의 온도는 약 31~42°C로 외부온도보다 다소 높게 나타났으며, 초기 이후 모든 처리구에서 온도가 급격히 상승하였다. 퇴비화 3일째에는 65~78°C로 최고점을 나타냈으며, CS-3 처리구가 78°C로 가장 높은 결과를 보였다. 최고점을 지난 온도는 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 퇴비화 15일째와 20일째에 뒤집기를 2회 실시 후 온도가 약간 상승하였다. 퇴비화 60일째에는 모든 처리구가 40°C 내외로 안정한 상태를 유지하였다.

Table 1. Chemical properties of raw materials used in experiment.

Materials	pH	EC	Total N	Total C	W.C [†]	C/N ratio	CEC
	1:10	dS m ⁻¹	----- % -----				cmol ⁺ kg ⁻¹
Pig manure	6.7	27.5	1.59	49.2	68.8	30.9	32.2
Poultry manure	6.2	87.5	4.69	43.7	76.5	9.3	26.4
Cow manure	9.4	31.1	2.26	50.5	75.7	22.3	44.6
Sawdust	5.5	3.04	0.32	54.5	50.3	174.7	19.2

[†] W.C. : Water content

Table 2. Content of heavy metals of raw materials used in experiment.

Materials	(unit : mg kg ⁻¹)							
	As	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Pig manure	ND [†]	ND	7	9	48	ND	128	ND
Poultry manure	ND	1	12	145	47	ND	260	ND
Cow manure	ND	1	7	14	35	ND	119	ND
Sawdust	ND	ND	3	9	29	ND	12	ND

[†] ND : Not detected

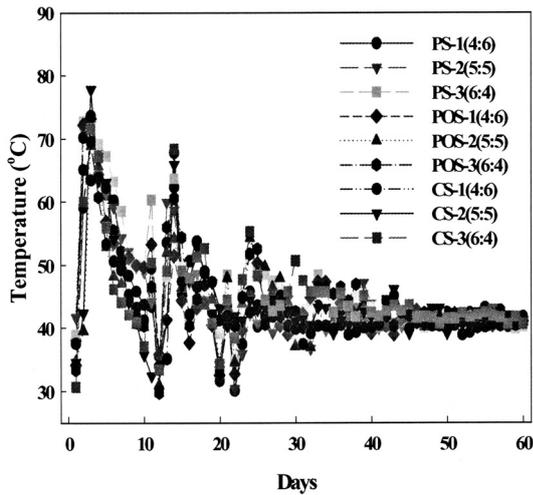


Fig. 1. Changes of temperature during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

pH 변화 퇴비화 과정 중 퇴비더미의 산도 (acidity)와 알칼리도(alkalinity)를 측정하였다(Fig. 2). 퇴비화 초기의 pH는 약 5.9~7.9 정도였지만, 이는 원료인 돈분, 계분 및 우분의 pH가 6.7, 6.2, 9.4로 차이를 보였기 때문이다. 퇴비화가 진행될수록 모든 처리구에서 pH가 급격히 증가하는 경향을 보였는데, 이는 암모니아 발생량 증가가 그 원인이라고 볼 수 있다 (Lee et al., 2005). 뒤집기를 실시한 20일부터 pH 증가폭은 감소하는 경향을 나타냈다. 퇴비화 과정이 완료되는 시기인 60일째에 모든 처리구가 7.5~8.5 정도의 결과를 보였으며, CS-2 처리구가 8.5로 가장 높은 결과를 보였다.

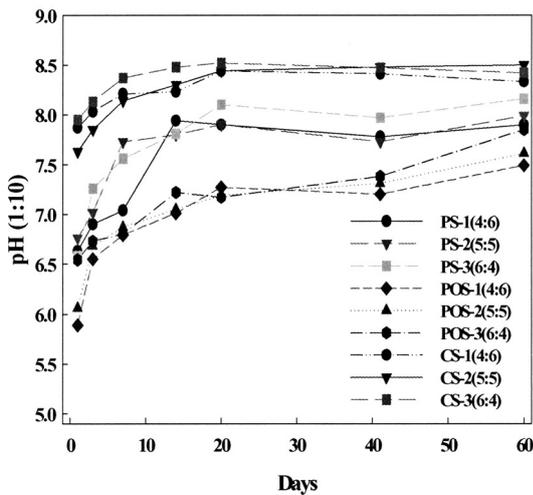


Fig. 2. Changes of pH during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

총질소와 총탄소함량 및 C/N을 변화 퇴비화 과정 중 미생물은 유기물질의 분해에 필요한 에너지원으로 탄소를 이용하며, 미생물의 성장에 필요한 단백질 합성 등의 영양원으로 질소를 이용한다(Lee et al., 2005).

총질소와 총탄소함량 및 C/N을 변화는 Fig. 3, 4, 5 와 같다. 초기 총질소함량은 1.5~2.7%이었으며, 퇴비화가 진행될수록 모든 처리구에서 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 계분 사용량이 가장 많은 POS-3 처리구가 2.9%로 가장 높은 결과를 보였으며, 이것은 계분의 총질소함량이 4.7%로 돈분이나 우분보다 2~3 배 높기 때문이다.

초기 총탄소함량은 48~53% 정도였으며, 총탄소함량 변화는 총질소함량 변화와는 반대로 퇴비화가 진행될수록 서서히 감소하는 경향을 나타냈다. 퇴비화 20일째를 기점으로 감소폭이 증가하는 경향을 보였다. 퇴비화가 완료되는 60일째의 총탄소함량은 41~47% 정도를 보였으며, CS-1 처리구가 47%로 가장 높은 결과를 나타냈다.

퇴비화 초기 C/N율은 17.5~34.7 정도를 보였으며, PS-1 처리구가 34.7로 가장 높았다. 퇴비화 과정 중 탄소의 감소 경향과는 대조적으로 질소의 함량은 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 지속적인 C/N율의 감소를 가져왔으며, 계분 사용량이 가장 많은 POS-3 처리구가 13.8로 가장 낮은 결과를 보였다. 이는 계분의 높은 질소함량 때문이다.

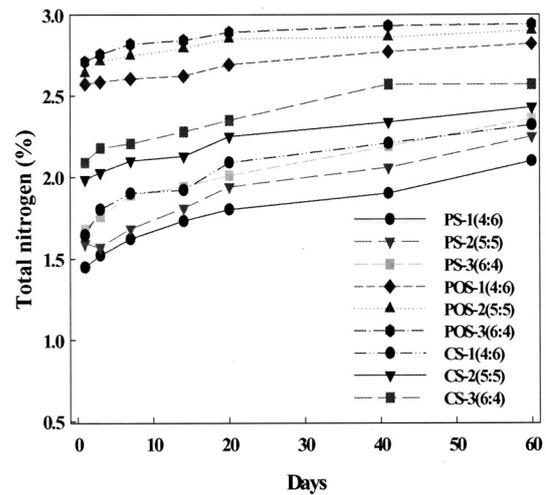


Fig. 3. Changes of the total nitrogen during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

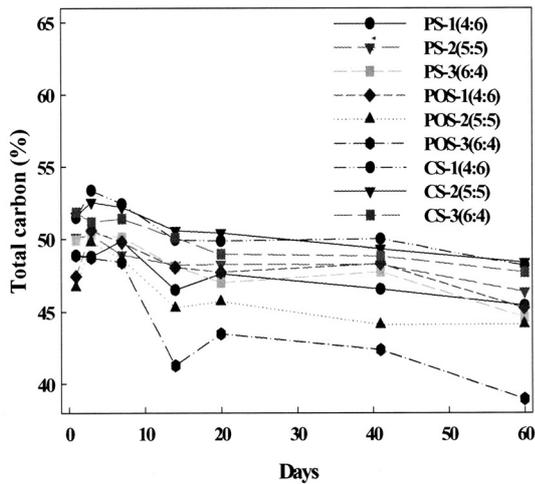


Fig. 4. Changes of the total carbon during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

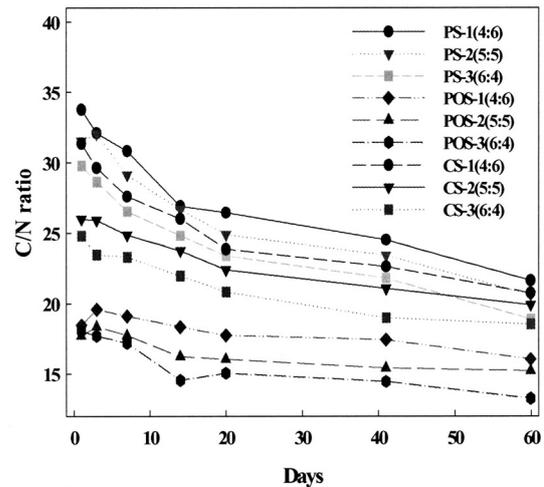


Fig. 5. Changes of C/N ratio during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

식물독성(발아지수)시험 식물독성시험은 퇴비의 부숙도와 식물에 대한 안정성을 최종적으로 동시에 평가할 수 있는 생물학적 검정방법이다. Chang et al.(1995, 1996)은 음식물쓰레기 퇴비화 연구에서 휘발성 유기산에 의한 식물독성을 야기한다고 하였고, 발아율에 영향을 미치는 인자는 휘발성 유기산뿐만 아니라 염분함량에 의한 식물독성 가능성도 높다고 보고하였다. Zucconi et al.(1985)은 퇴비추출물에서 발아지수 값이 80 이상일 때는 식물독성이 소실하는 시기로 판정할 수 있고, Jimenez and Garcia(1989) 및 Garcia et al.(1991)은 50 이상일 때를 퇴비로서 사용이 가능하다고 보고하였다.

배추종자를 이용한 식물독성시험 결과는 Fig. 6에 나타난 것과 같다. 퇴비화 초기에는 발아지수는 7.2~

13.8 정도를 보였으며, 퇴비화가 진행될수록 급격히 증가하는 경향을 나타냈다. 퇴비화 20일째 이후에는 서서히 증가하는 경향을 보였으며, 60일째의 최종 발아지수는 75~95 정도를 보였다. 축분 사용량이 많아질수록 발아지수는 증가하는 경향을 보였으며, 우분 사용량이 가장 많은 CS-3 처리구가 95로 가장 높았다.

분석항목간 종합비교 특성이 다양한 돈분, 계분 및 우분의 사용량에 따른 퇴비화 과정 중 부숙도와 중요한 관련이 있는 이화학적 특성과 발아지수간의 결과를 종합하여 부숙 상태가 공통적으로 가장 적합한 G.I. 값을 선정하기 위한 분석항목간의 비교 결과를 Table 3에 나타냈다.

퇴비화 과정 중 온도는 최고 69.5~72.7°C를 보여, 퇴비화 과정 중 65°C에서 1일간 유지되면 Salmonella 종 등의 병원균이 완전히 사멸된다는 Poincelot (1975)의 연구결과와 일치하였으므로 병원균이 완전히 사멸된 것으로 판단된다. 최종퇴비의 pH는 7.9~8.4로 모든 처리구가 퇴비의 적정 pH인 6.5~8.5 범위 내에 들었다(Chung, 1995). C/N율은 13.2~18.9로 모든 처리구의 C/N율이 20 이하를 나타냈으며, C/N율이 20 이하일 때 퇴비의 부숙도를 결정하는 지표라는 연구결과와 일치하였다(Poincelot, 1975 ; Golueke, 1981). 그렇지만 계분을 이용한 퇴비화에서는 초기부터 C/N율이 20 이하를 나타냈으므로, C/N율만을 이용해 부숙도를 결정하는 것은 문제가 있을 것으로 판단된다. 발아지수는 81~95로 식물독성이 소실하는 발아지수 80 이상의 결과를 보였으므로, 안정화된 퇴비로 간주될 수 있다.

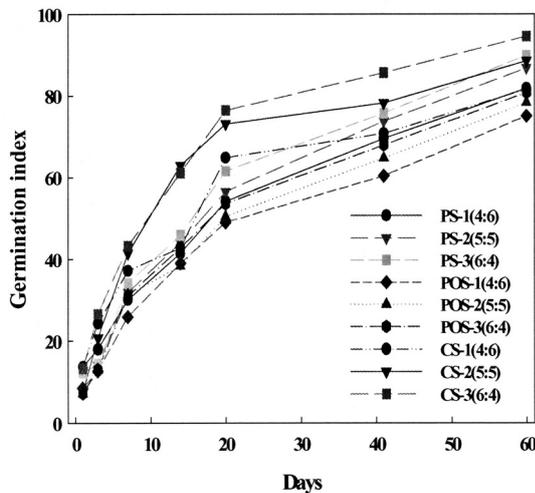


Fig. 6 Changes of the germination index during composting.
(PS : Pig manure+Sawdust, POS : Poultry manure+Sawdust, CS : Cow manure+Sawdust)

Table 3. The comparison among analysis items during composting.

Items	Composting days	1day	3day	7day	15day	20day	40day	60day
Temperature	PS-3(6:4)	38.9	72.7	58.5	49.7	39.1	43.3	40.2
	POS-3(6:4)	33.3	69.5	50.2	54.3	32.9	42.1	40.7
	CS-3(6:4)	30.7	71.6	44.1	49.1	34.3	42.5	40.7
pH	PS-3(6:4)	6.6	7.3	7.6	7.8	8.1	8.0	8.2
	POS-3(6:4)	6.5	6.7	6.8	7.2	7.2	7.4	7.9
	CS-3(6:4)	8.0	8.1	8.4	8.5	8.5	8.5	8.4
C/N ratio	PS-3(6:4)	29.8	28.7	26.6	24.8	23.4	21.8	18.9
	POS-3(6:4)	18.1	17.7	17.2	14.5	15.0	14.5	13.2
	CS-3(6:4)	24.8	23.5	23.3	22.0	20.8	19.0	18.6
Germination index	PS-3(6:4)	12	15	34	46	62	76	90
	POS-3(6:4)	7	13	31	43	54	68	81
	CS-3(6:4)	13	27	43	61	77	86	95

결 론

원료의 특성이 다른 돈분, 계분 및 우분과 톱밥의 사용량에 따른 퇴비화를 통해 다양한 원료와 배합비에 공통적으로 적용할 수 있는 부숙도 판정기준을 모색하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

축분과 톱밥의 사용량에 따른 퇴비화 과정 중 이화학적 특성 변화를 살펴보면, 온도 변화는 초기 31~42℃에서 시작하였으며, 급격히 상승하였다. 최고점인 77.8℃ 이후 서서히 감소하여, 60일째에 40℃ 내외에서 안정화 되었다. 퇴비화 초기 pH는 5.9~8.0에서 시작하여, 서서히 증가하는 경향을 보였다. 모든 처리구가 약알칼리성을 보였으며, CS-2(우분+톱밥=5:5) 처리구 8.5로 가장 높은 결과를 보였다. 총질소함량은 퇴비화가 진행될수록 증가하는 경향을 보였으며, 계분 사용량이 가장 많은 POS-3(계분+톱밥=6:4) 처리구가 2.9%로 가장 높은 결과를 보였다. 이는 질소함량이 높은 계분을 가장 많이 사용했기 때문이다. 모든 처리구에서 총탄소함량은 퇴비화가 진행될수록 감소하는 경향을 보였다. 초기 C/N율은 17.7~33.8 정도였다. 돈분을 가장 적게 배합한 PS-1(돈분+톱밥=4:6) 처리구가 21.6으로 가장 높은 결과를 보였다. 초기 발아지수는 7.2~13.8 정도의 결과를 보였으며, 퇴비화가 진행될수록 서서히 증가하는 결과를 보였다. 퇴비화 60일째에는 75~95의 결과를 나타냈으며, 우분의 사용량이 가장 많은 CS-3(우분+톱밥=6:4) 처리구가 가장 높은 95의 결과를 보였다. 대부분의 처리구에서 식물독성이 거의 소실되는 80 내외의 결과를 보였으므로, 이 수준이면 퇴비가 안정화 되었다고 판단할 수 있다.

다양한 원료와 배합비에 따른 퇴비화 과정 중 온도는 65℃ 이상을 최소 1일간 유지하고, 최종퇴비의 pH는 6.5~8.5 범위를 유지, C/N율은 20 이하, 그리고 발

아지수 80 이상일 때를 부숙도 결정 지표로 제시할 수 있다고 판단된다. 품질향상과 피해의 근절을 위하여 퇴비의 공정규격에 G.I. 값 80 이상을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 돈분, 계분 및 우분을 혼합한 퇴비와 본 연구결과가 일치하는지 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 충남대학교 교원역량강화사업과 산업자원부 기술표준원의 학술연구용역의 일부분이며, 연구비를 지원한 충남대학교와 산업자원부 기술표준원에 깊은 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

Chang, K.W., I.B. Lee, J.S. Lim, and H.T. Lim. 1996. Evaluation of phytotoxicity of food waste during composting. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 29(3):312-320.

Chung, J. C. 1993. Composting of livestock waste and development of operating parameters. I. Development of optimum process parameters in cow manure composting. *J. KOWREC.* 1(1): 69-84.

Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1991. Study on water extract of sewage sludge composts. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37(3):409-417.

Golueke, C.G. 1981. Principle of biological resource recovery. *Biocycle.* 22: 36-40.

Jackson, M.L. 1958. *Soil Chemistry Analysis*. Prentice-Hall.

Jimenez, E.I. and V. P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : A review. *Biological Wastes.* 271:115-142.

Juste, C. 1980. Advantages et inconvenients de l'utilisation des composts d'ordures menageres comme amendement organique des sols ou supports de culture. *International Conference on Compost, 22-26 January, Madrid, Spain.* Min. Obras Publicas.

Karam, A. 1993. Chemical properties of organic soil. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. M. R. Carter. ed., Canadian Society of

- Soil Science. Lewis Publishers. 459-471.
- Lee, J.E., J.H. Hong, K.W. Chang, and J.Y. Hwang. 2005. Effect of pyroligenous acid liquor on the maturity of pig manure compost. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 38(2):101-107.
- Poincelot, R.P. 1975. The biochemistry and methodology of composting. *Bull.* 754. The Connecticut Agr. Expt. Station, New Haven, CT.
- Saviozzi, A., R. Levi-Minzi, R. Riffaldi and A. Benetti. 1992. Evaluating garbage compost : Part II . Biological transformation. *BioCycle.* 72-75.
- Zucconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. de Bertoldi. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In *Composting of agricultural and other wastes*, Ed. JKR Gasser, P. 73-85, Elsevier Applied Science Publ., London.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. de Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, Mar./Apr., 54-57.
- 농촌진흥청. 1997. 환경농업을 위한 퇴비제조와 이용. 98-113.
15. 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법.
- 농촌진흥청. 2007. 가축분뇨 자원화기술 연구성과. 9-16.
- 장기운, 이인복, 임재신. 1995. 음식물찌거기를 이용한 퇴비의 부숙과정 중 이화학적 특성 및 유식물 생장에 의한 부숙도 평가. 한국유기성폐자원학회 정기총회 및 봄학술대회. 79-96.