

Vermicomposting에 의한 돈분의 처리

–음식물 쓰레기와의 혼합처리–

이주삼 · 김만중

연세대학교 응용과학부

Treatment of Swine Manure by Vermicomposting

–Mixed Treatment of swine manure with food wastes–

Lee Ju-Sam and Kim Man-Jung

Division of Applied Science, Yonsei University

Summary

The effects of the mixture ratios of swine manure and food wastes when vermicomposed on earthworm (*Eisenia foefida*) growth, the production amounts and the chemical properties of casts for plant growth media were evaluated to optimal mixture ratio. Earthworms were grown in swine manure, substituted with 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% food wastes. All of earthworm grown in swine manure substituted with 60%, 80%, and 100% food wastes died, therefore the process of swine manure substituted with 60%, 80%, and 100% food wastes by vermicomposting were impossible in this experiment. Worm cast produced from swine manure substituted with 0%, 20% and 40% food wastes after vermicomposting sufficiently contained required quantities of available phosphorus, exchangeable potassium, exchangeable magnesium, and cation exchange capacity. The survival rates of earthworm in swine manure substituted with 0% and 40% food wastes was significantly higher than those in swine manure substituted with 20%, 40% food wastes. Casts weight and proportion of casts weight in 100% swine manure were significantly higher than those in swine manure substituted with 20% food wastes, but was no significant difference between those in swine manure substituted with 40% food wastes. Therefore 100% swine manure was estimated to be superior than the others treatments. However an adequate mixture ratio of food wastes for processing mixture of swine manure by vermicomposting was estimated to be 40%. Because there was no significant difference in mean fresh weight, increasing rate, casts weight, proportion of casts weight, and reduction rate of volatile solids among 3 treatments and survival rate and conversion efficiency(CE) in swine manure with substituted 40% food wastes were significantly higher than the other treatments.

(Key words : Vermicomposting, Swine manure, Worm cast, Conversion rate, Conversion efficiency)

서 론

우리나라는 지난 반세기 동안 급속한 산업화와 함께 국민경제의 눈부신 발전에 힘입어 국민의 소득수준은 향상되었다. 그 결과 주식인 쌀 소비량은 지속적으로 감소되고 있는 반면에 축산물 소비량은 급격히 증가되어 2004년도 국민 1인당 육류 소비량은 31.3 kg, 우유 소비량은 63.7 kg에 이르고 있다(축산연구소, 2005). 따라서 앞으로 국민경제의 발전에 따른 소득증대와 함께 축산물의 소비량도 지속적으로 증가할 것으로 예측되어, 가축 사육두수의 증가에 따른 가축분뇨 발생량도 급격히 증가할 것으로 예측된다. 2004년도 말 현재 가축분뇨 발생량은 연간 3,367만 톤이며, 여기에 세정 수까지를 포함시키면 연간 4,979만 톤이 된다(축산연구소, 2005), 이 중에서 돈 분뇨의 발생비율은 56.2%로 다른 가축분뇨보다 높지만, 재활용 율은 50% 미만이며 아직도 상당량은 해양투기에 의존하고 있는 실정이다. 이와 같이 돈 분뇨의 재활용 율이 낮은 원인은 세정수가 많이 함유되어 물리적 성상이 슬러리 또는 액상상태이기 때문에 취급이 어렵고 쉽게 분해 되기 쉬워 악취와 병충해 발생이 많아질 수 있다는 문제점을 가지고 있기 때문이다. 따라서 돈 분뇨를 자원화하기 위해서는 고액분리기를 통하여 고상(固狀)과 액상(液狀)으로 분리한 후 고상은 퇴비화에 이용하고 액상을 호기성 발효를 통하여 이용하고 있는 것이 일반적이다. 돈 분은 풍부한 양분을 함유하고 있어 잘 발효될 경우 지렁이의 생육에 좋은 먹이가 될 수 있지만(Edwards 등, 1985), 수분 함량이 높고, 탄질 율이 낮으며, 암모니아와 무기염 함량이 높고 중금속인 구리 함량이 높다는 특징을 가지고 있다(Edwards 등, 1988; Wong과 Griffiths, 1991). 따라서 다른 유기성 자원과의 혼합을 통하여 발효에 알맞은 수분조건의 유지와 탄질 율 교정을 위한 전처리가 필요

하며(Edwards, 1988), 먹이 중의 구리 함량을 규제치 이하로 저하시켜 안전성을 확보하는 것이 중요하다고 생각된다. 안전성이 높은 지렁이 분립은 유용한 상토 재(plant growth media)로서 건강한 육묘의 생산과 함께 작물의 생육을 촉진시키는 작용을 하므로(이와이, 1999; Atiyeh 등, 2001), 앞으로 친환경농업의 확대와 함께 친환경농자재로서의 활용가치는 매우 높다고 할 수 있다.

돈 분 처리를 위하여 혼합할 수 있는 유기성 자원 중에서 안전성이 높고 다량으로 발생되고 있지만 아직까지도 효율적인 처리가 이루어지지 않고 있는 것이 음식물 쓰레기이다.

음식물 쓰레기는 수분 함량이 높고 분해되기 쉬워 취급과 처리에 어려움이 많다는 점에서 돈 분뇨와 같은 특징을 가지고 있지만, 분해되기 쉬운 유기물 함량이 높아서 탄질 율이 낮은 돈 분과 적절한 혼합비율로 조절할 경우, 지렁이 먹이로서 100% 재활용이 가능하다고 판단된다(이 등, 2005). 2004년도 말 현재 우리나라의 음식물 쓰레기 발생량은 일일 11,464톤으로 전체 생활 폐기물의 22.9%를 차지하고 있고, 생활폐기물의 재활용 율은 49.2%로서 재활용 율의 급격한 증가추세를 보이고 있다(환경부, 2005). 이 등(2005)은 음식물 쓰레기와 다양한 유기성 자원과의 혼합처리에서, 가축 분(우분과 돈 분)과의 혼합처리가 지렁이의 생존율을 높이고, 체 조직으로의 유기물 전환효율이 높으며, 분립생산량도 많았다고 보고하여, 가축분과의 혼합처리가 유리하다는 것을 시사하였다.

따라서 본 실험에서는 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율의 차이가 지렁이의 생육, 분립 생산량, 분립의 화학적 특성 및 체 조직으로의 유기물 전환효율에 미치는 영향을 조사하여 지렁이에 의한 돈 분의 퇴비화 처리 가능성을 검토하였다.

재료 및 방법

공시한 돈 분은 톱밥 50%를 섞어 발효시킨 톱밥발효 돈 분을 사용하였고, 음식물 쓰레기는 군부대의 잔반을 사용하였다.

돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율은 용적 중(v/v)으로 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100의 6 조합으로 하여 2개월간 발효시킨 후 사용하였다.

사육 상자(16×16×18 cm) 당 먹이 500 g(건물 중)을 3.1 cm 높이로 층진 하였다. 사육 상자 밑바닥에는 분립 120 g(건물 중)을 수평이 되도록 펴서 피난 층을 만들고, 그 위에 두께 1 mm, 간격 3 mm의 플라스틱 망을 깔아서 먹이와 분립의 혼합을 방지토록 하였다.

공시 지렁이는 우리나라에 자생하는 줄 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다. 사육밀도는 사육 상자 당 20 마리(생체 중 평균 250.4 ± 0.05 mg)를 방사하여 4주간 사육하였고 처리 당 3반복 하였다. 사육기간 중 실내온도는 20 ± 5℃, 수분조건은 65 ± 5%를 유지하였다.

또한 지렁이에 의한 유기물 감소량을 측정하기 위하여 대조구로 지렁이 무 처리구를 만들어 처리구와 함께 4주간 방치하였다.

실험 전 돈 분과 음식물 쓰레기 혼합비율에 따른 먹이와 실험 종료 후 지렁이 분립의 화학적 특성을 조사하였다. pH는 pH meter(Orion, Model 420A)로 측정하였고, 전기전도도(EC)는 EC meter(Takemura, Model CM-53)로 측정하였다. 총 고형 분 함량(TS)은 건조기에서 105℃, 24시간 건조한 후 측정된 건물 중을 구하였고, 휘발성 고형 분 함량(VS)은 건물을 550℃의 전기로에서 3시간 태운 후 남은 조회분량(FS)을 총 고형 분 함량에서 뺀 값으로 구하였다(표 2).

전 질소 함량(TN)은 kjeldahl 분석 장치(Selecta, Model PRO-NITRO II)를 사용하여 분석하였

고, 유효인산 함량은 Lancaster 법에 준하여 토양분석 분광광도계를 사용하여 측정하였다. 치환 성 양이온 함량과 양분 보전 능(CEC)은 토양분석 분광광도계(Hanson Technology, Model KA-P)로 측정하였고, 탄질 율(농과원, 1996)을 구하였다.

중금속 함량은 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 납(Pb), 수은(Hg)의 6가지를 분석하였다. 분석방법은 비소, 카드뮴, 구리, 납은 EPA Method 3050B를 사용하여 전 처리 후 ICP-MS(Varian, Model Ultramass 700)를 사용하여 분석하였고, 수은은 EPA Method 4741B를 사용하여 전 처리 후 수은 분석기를 사용하여 분석하였다.

지렁이의 생육조사는 생존율, 증체율, 난포수, 분립 생산량 및 잔식량, 분립비율, 체 조직으로의 유기물 전환율과 전환효율을 조사하였다. 생존율은 처음 방사한 지렁이 개체수로부터 실험 종료 후 개체수를 뺀 값의 백분율로 하였다. 증체 율은 실험 종료 시의 평균 생체 중에서 실험 개시시의 평균 생체 중을 뺀 후 사육기간(28일×24 시간)으로 나눈 값으로 하였다. 난포 수는 각각의 개체를 조사하였고, 분립 생산량과 잔식량은 건조기에서 105℃, 24시간 건조한 후 입경 2.0 mm 체로 분리하여 고형물 입자가 2.0 mm 이하인 것을 분립생산량, 2.0 mm 이상의 입자를 잔식량으로 하여 각각의 건물 중을 구하였다.

사육기간 동안의 유기물 감소율, 무기화율, 지렁이 체 조직으로의 유기물 전환율과 전환효율은 다음 식에 의하여 구하였다.

$$\text{Reduction rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Mineralization rate(\%)} = \frac{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time}} \times 100$$

$$\text{Conversion rate(\%)} = \frac{\text{mean dry weight of worm tissue of final time(mg)}}{\text{volatile solids content of initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{Conversion efficiency(\%)} = \frac{\text{increased dry weight of worm tissue of final time}}{\text{volatile solids content reduced by earthworm(mg)}} \times 100$$

실험은 완전임의 배치법(complete randomized design)으로 한 3반복으로 수행되었다.

조사 자료는 SAS(Statistical Analysis System)를 이용하여 LSD(최소유의차) 값을 구하여 처리 간 차이를 비교하였다(SAS Institute, 1999).

결 과

1. 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 이화학적 특성

실험 전 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 이화학적 특성은 표 1과 같다.

pH는 6.7-7.4의 범위로서 거의 중성을 나타내었지만, 음식물 쓰레기의 혼합비율이 높아짐에 따라서 낮아지는 경향이였다. 전기전도도(EC)는 음식물 쓰레기 80% 혼합비율에서 17.8 이었으나 100%에서는 60으로 급격히 증가하였다. 전 질소 함량(TN)은 1.33-3.01의

범위였지만, 돈 분의 혼합비율이 높아짐에 따라서 증가하는 경향이였다. 총 고형 분 함량(TS)은 38.7-43.2%의 범위로서 혼합비율에 따른 일정한 경향은 인정되지 않았다. 휘발성 고형 분 함량(VS)은 46.4-58.1%의 범위를 나타내었고, 음식물 쓰레기 혼합비율이 높은 처리 구에서 높은 경향이였다. 고정 고형물 함량(FS)은 41.9-53.6%의 범위로서 돈 분의 혼합비율이 높은 처리 구에서 높은 경향을 나타내었다. 또한 C/N 율은 10.1-19.5의 범위로서 음식물 쓰레기의 혼합비율이 높을 수록 증가하는 경향이였다.

2. 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 중금속 함량의 변화

실험 전 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 중금속 함량을 분석한 결과는 표 2와 같다.

비소 함량(As)은 돈 분 100% 처리 구에서 1.257 ppm으로 가장 높은 값이였고, 음식물 쓰레기의 혼합비율이 높아짐에 따라서 감소되었다. 카드뮴 함량(Cd)은 돈 분 100% 처리 구에서 1.173 ppm으로 가장 높아서 green 퇴비 규제치의 약 1/2을 나타내었다. 크롬 함량(Cr)은 돈 분 40% 이상의 혼합비율에서 10-26

Table 1. The physico-chemical characteristics of the Mixtures of Swine manure and food wastes before vermicomposting

Mixture ratios of SM ^a + FW ^b	pH	EC (mS/cm)	TN (%)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	C/N ratio
100 + 0	7.4	3.5	2.92	40.4	46.4	53.6	10.6
80 + 20	7.2	5.5	3.01	38.7	47.6	52.4	10.1
60 + 40	7.0	7.1	2.17	38.9	52.3	47.7	12.8
40 + 60	7.1	9.4	1.76	42.3	51.5	48.5	16.0
20 + 80	6.8	17.8	1.60	43.2	58.1	41.9	15.2
0 + 100	6.7	60.0	1.33	38.9	55.4	44.6	19.5

^a SM : swine manure, ^b FW : food wastes.

Table 2. The heavy metal contents of swine manure and food wastes before vermicomposting

Mixture ratios of SM + FW	As (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Hg (ppm)
100 + 0	1.257	1.173	25.875	161.042	39.485	0.101
80 + 20	1.048	0.958	20.680	130.804	32.693	0.070
60 + 40	0.858	0.935	15.925	99.566	25.201	0.031
40 + 60	0.656	0.769	10.941	66.328	17.607	ND
20 + 80	0.455	0.336	5.946	35.890	9.318	ND
0 + 100	0.255	0.114	0.951	4.852	1.526	ND
KSL ¹⁾	50	5	300	300	150	2
KSL ²⁾	25	2.5	150	200	75	1

¹⁾ KSL: Korean standard limits of heavy metals for agricultural by-products compost,

²⁾ KSL: Korean standard limits of heavy metals for green compost, ND: Not detected.

ppm의 범위를 나타내었다. 구리 함량(Cu)은 돈 분 80%와 100% 처리 구에서 각각 131 ppm과 161 ppm을 나타내어 green 퇴비 규제치의 65-80% 수준이었다. 납 함량(Pb)은 돈 분 60% 이상의 처리 구에서 25-39 ppm의 범위를 나타내어 green 퇴비 규제치의 43-52% 수준이었다. 수은 함량(Hg)은 돈 분 60% 이상의 혼합 비율에서만 검출되었다.

3. 돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율이 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향

돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율이 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향을 나타낸 것이 표 3이다.

돈 분 20% 이하의 혼합비율(음식물 쓰레

Table 3. The values on the measured growth characteristics of the earthworm in different mixture ratios of swine manure and food wastes after vermicomposting

Mixture ratios of SM + FW	SR (%)	FW ₁ (mg)	FW ₂ (mg)	IR (mg/hr)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)
100 + 0	91.7 ^a	248.5	533.9	0.42	56.3 ^a	97.6 ^a	170.5	36.5 ^a
80 + 20	76.7 ^b	250.2	482.7	0.35	10.3 ^b	72.3 ^b	182.2	28.4 ^b
60 + 40	100.0 ^a	249.0	484.1	0.34	12.0 ^b	82.7 ^{ab}	181.4	31.3 ^{ab}
LSD(p ≤ 0.05)	11.5	NS	NS	NS	26.5	17.1	NS	7.0

There were no data in food wastes from 60% to 100% levels because all of earthworms died during the vermicomposting periods

The same letters show non-significant difference at the 5% level

NS: non-significant, SR: survival rate, FW₁: mean fresh weight of adult worm at initial time, FW₂: mean fresh weight of adult worm at final time, IR: increasing rate of adult worm(FW₂-FW₁)/t₂-t₁, NC: number of cocoons, CW: dry weight of worm casts(g. < 2.0 mm), CW(%): ratios of worm casts and RM: dry weight of residual matters(g. > 2.0 mm).

기 80% -100%)에서는 생육기간 중 지렁이가 모두 사망하여 생육조사가 불가능하였다. 그러나 돈 분 60% 이상의 먹이조건에서는 76.7-100% 범위의 높은 생존율을 나타내었다. 실험 종료 후의 평균 개체 중(FW₂)은 482.7-533.9 mg의 범위였고, 증체속도(IR)는 0.34-0.42의 범위였지만, 처리 구간에는 유의한 차이가 인정되지 않았다. 난포 수(NC)는 돈 분 100% 처리 구에서 56.3개를 나타내어 다른 혼합비율보다 유의하게 많았다. 분립생산량(CW)은 돈 분 100% 처리 구에서 97.6 g으로 80% 혼합비율의 72.3 g 보다 유의하게 많았지만, 60%와는 유의한 차이가 없었고, 분립 비율도 같은 경향을 나타내었다. 잔식량(RM)은 처리 구간에 유의한 차이가 인정되지 않았다.

4. 지렁이의 건물증가량, 유기물 감소율, 무기화율, 체 조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율

실험기간 중 지렁이의 건물증가량, 먹이 중의 유기물 감소량, 무기화율, 체 조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율은 표 4와 같다.

지렁이의 건물증가량(IW)은 돈 분 60%-100% 혼합비율에서 43.76-53.99 mg의 범위였지만, 처리 구간에 유의한 차이가 없었다. 지렁이에 의한 유기물 감소율(RD)은 돈 분 100% 처리 구에서 20.36%를 나타내어, 80% 혼합비율의 17.93% 보다 유의하게 높았으나, 60% 혼합비율의 18.34%와는 유의한 차이가 없었다. 무기화율(MR)은 돈 분 80-100% 처리 구에서 14.58-16.06%의 범위를 나타내어 60% 혼합비율의 8.42 보다 유의하게 높았다. 체 조직으로의 유기물 전환율(CR)은 혼합비율 간에 유의한 차이가 없었지만, 전환효율(CE)은 60%의 혼합비율에서 10.85%를 나타내어 80% 이상의 혼합비율 보다 유의하게 높았다.

5. 분립의 화학적 특성

돈 분과 음식물 쓰레기의 혼합비율에 따른 지렁이 분립의 화학적 조성을 분석한 결과는 표 5와 같다.

지렁이 분립의 pH는 7.7-8.1의 범위로서 약 알칼리를 나타내었고, 전기전도도(EC)는 4.8-5.8로 낮았다. 유기물 함량(OM)은 26.1-33.2% 범위였고, 전 질소 함량(TN)은 0.88-0.93%로

Table 4. The values of increased dry weight of earthworm(IW), reduction rate of organic matter, mineralization rate, conversion rate(CR) and conversion efficiency(CE) of organic matter to earthworm tissue in different mixture ratios of swine manure and food wastes after vermicomposting

Mixture ratios of SM + FW	IW (mg)	RD (%)	MR (%)	CR (%)	CE (%)
100 + 0	53.99	20.36 ^a	16.06 ^a	5.64	7.14 ^b
80 + 20	45.62	17.93 ^b	14.58 ^a	4.65	4.61 ^b
60 + 40	43.76	18.34 ^{ab}	8.42 ^b	3.86	10.85 ^a
LSD(p≤0.05)	NS	2.35	2.35	NS	3.59

IW : increased dry weight of earthworm(DW₂-DW₁), RD : reduction rate of organic matter during the experimental period, MR : mineralization rate of organic matter during the experimental periods, CR : conversion rate of organic matter to earthworm tissue and CE : conversion efficiency of organic matter to earthworm tissue.

Table 5. Chemical properties of earthworm casts in different mixture ratios of swine manure and food wastes after vermicomposting.

Mixture ratios of SM + FW(%)	pH	EC (mS/cm)	OM (%)	TN (%)	C/N ratio	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	CEC (cmol+/kg)	Ex. cations(cmol+/kg)		
								Ca ⁺⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺
100 + 0	7.7	4.8	26.3	0.93	16.4	709.0	26.54	4.30	3.40	7.40
80 + 20	8.1	5.6	26.1	0.88	17.2	728.0	26.27	3.80	4.00	7.10
60 + 40	7.9	5.8	33.2	0.93	20.7	460.0	29.42	3.30	4.30	7.50

EC : electrolytic conductivity, OM : organic matter, TN : total nitrogen, C/N : carbon/nitrogen ratio, Av. P₂O₅ : available phosphorus, CEC : cation exchange capacity and Ex. cations: exchangeable cations.

서 낮았다. 탄질 율(C/N)은 16.4-20.7의 범위로서 돈 분의 혼합비율이 낮을 수록 높아지는 경향이였다. 유효인산 함량은 돈 분 80%와 100% 처리 구에서 700 ppm 이상이였지만, 60% 혼합비율에서는 460 ppm에 불과하였다. 양분보전능력(CEC)은 26.54-29.42의 범위였고, 치환 성 양이온 함량에서 칼슘은 돈 분의 혼합비율이 높을수록 증가한 반면에 칼리는 돈 분의 혼합비율이 낮을수록 증가하는 경향이였다. 마그네슘 함량은 7.10-7.50의 범위였지만, 돈 분의 혼합비율에 따른 일정한 경향은 인정되지 않았다.

고 찰

본 실험의 결과, 지렁이의 생존율은 돈 분 100%, 80%, 60% 수준에서 76.7-100%의 범위의 높은 생존율을 나타내였지만, 돈 분 40% 이하의 조건(음식물 쓰레기 60%-100%)에서는 모두 사멸하였다(표 3). 지렁이의 생존율에 관여하는 먹이의 요인 중에서 특히 전기전도도 값은 생존율과 증체율에 직접적인 영향을 미친다(Kaplan 등, 1980; Rivero-Hernandes, 1991; 이 등, 2005). 즉, 높은 생존율을 나타낸 혼합비율에서 전기전도도는 3.5-7.1 mS/cm의 범위로 낮았지만, 특히 음식물 쓰레기 80%, 100% 처리 구의 전기전도도는 각각 17.8, 60 mS/cm로 높은 값이었다. Kaplan 등(1980)은 지렁이 먹이의 전기전도도가 1.5-3.0 mS/cm

의 범위일 때 *Eisenia foetida* 종의 생체중이 증가하였다고 하였고, Rivero-Hernandes(1991)은 전기전도도에 대한 지렁이의 내성범위는 0.75-15 mS/cm의 범위라고 하였다. 이 등(2005)은 전기전도도가 10 mS/cm 이상인 먹이조건에서 지렁이의 생존율과 증체속도가 낮았다고 하였다. 따라서 돈 분과 음식물 쓰레기를 혼합할 경우에는 돈 분 60% 이상의 혼합조건에서 전기전도도를 저하시킬 때, 높은 생존율과 증체속도를 얻을 수 있어 양호한 vermicomposting이 가능하다는 것을 시사한다.

돈 분 100% 처리 구에서는 지렁이의 개체당 평균 생체량이 많았고, 증체속도가 높았으며, 난포 수가 유의하게 많았지만(표 3), 체 조직으로의 유기물 전환효율은 유의하게 낮았다(표 4). 지렁이 체 조직으로의 유기물 전환율(CR)은 먹이로 투입된 유기물 중에서 지렁이 체 조직으로 전환된 비율을 나타내어, 자연조건의 무기화에 의한 유기물 감소량까지 포함하는 개념이지만, 전환효율(CE)은 지렁이에 의하여 감소된 유기물 중에서 체 조직으로 전환된 비율을 나타내어 전환율(CR) 보다 훨씬 정량적이라고 할 수 있다(이 등, 2005). 체 조직으로의 유기물 전환율(CR)은 먹이의 종류, 유기물 함량, 종에 따른 섭취량과 증체속도에 따라 다르고, 종에 따라서 4-10% 범위를 나타내며(Neuhauser 등, 1988), 사육밀도와 사육기간에 따라서도 변한다(이와 이, 2002). 본 실험의 결과, 체 조

직으로의 유기물 전환율(CR)은 3.86-5.64%의 범위를 나타내어(표 4), Neuhauser 등(1988)이 보고한 결과와 같았지만, 이와 이(2002)가 보고한 0.25-0.41% 보다는 훨씬 높았다.

지렁이 체 조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 4.61-10.85%의 범위를 나타내어 전환율보다 높았다. 특히 돈 분 60% 수준의 전환효율(CE)은 10.85%로 다른 처리구 보다 유의하게 높았던 것은 다른 처리구 보다 유기물 함량이 높았기 때문이라고 생각된다(표 4). 이 등(2005)은 분해되기 쉬운 유기성 자원과의 혼합처리를 통하여 지렁이 체 조직으로의 유기물 전환효율(CE)이 높은 먹이조건을 만드는 것이 중요하다는 것을 보고하였다.

지렁이를 이용한 가축분의 퇴비화는 유기성 자원의 급속한 안정화라는 환경적인 측면과 유기성 자원의 재활용이라는 농업적 측면을 가지고 있다. 환경적인 측면에서 유기성 자원의 안정화를 목적으로 할 경우에는 지렁이에 의한 유기물의 무기화 속도가 빠른 먹이가 중요하고, 단위 유기물 당 지렁이의 증체량을 높이는 것을 목적으로 할 경우에는 생존율이 높고, 분립생산량이 많으며, 체 조직으로의 유기물 전환효율(CE)이 높은 먹이조건이 필요하다고 생각된다. 본 실험의 결과 돈 분 100% 처리 구는 생존율이 높고, 난포수가 유의하게 많아서 증식효율이 높았고, 분립생산량이 많았으며(표 3), 유기물 감소율과 무기화율이 높아(표 4), 지렁이를 이용한 유기성 자원의 안정화에 알맞은 먹이조건이라고 할 수 있지만, 먹이와 분립의 안전성은 다른 혼합비율보다 결여된다고 생각된다(표 2). 또한 돈 분 60%의 혼합비율은 생존율이 높았고, 분립생산량이 많으며(표 3), 체 조직으로의 유기물 전환효율이 유의하게 높아(표 4), 돈 분의 재활용을 통한 안전성이 높은 지렁이와 분립의 생산에 알맞은 먹이조건이라고 판단된다. Edward(1988)는 여러 가지 가축 분 중에서 돈 분이 지렁이의 개체

수를 가장 많이 증가시켰다고 하였고, 조(2003)는 돈 분 100% 처리 구에서 지렁이의 개체중이 가장 높았고, 돈 분 60% 이상의 조건에서 분립생산량이 가장 많아서 음식물 쓰레기와의 혼합처리에서 돈 분 60% 이상의 혼합비율이 지렁이 생육에 가장 이상적이었다고 보고하여 본 실험의 결과와 일치하였다.

친환경농업에서 돈 분뇨의 재활용 율이 낮은 것은 취급과 처리의 어려움과 함께 구리와 같은 중금속 함량이 높아서 안전성이 결여되어 있다는 점이다. 돈 분 중의 구리 함량은 돼지의 연령과 첨가량에 따라 다르지만(Nicholson 등, 1999), 성장촉진을 위하여 필수 요구량 이상의 농도로 사료에 첨가할 경우 돈 분 중의 구리 함량이 높아져(Cromwell 등, 1989), 지렁이의 생존율을 저하시키고(van Rhee, 1967), 난포생산을 억제하며(van Rhee, 1975), 생육을 저해시키는 요인으로 작용한다(Malecki, 1982). 또한 돈 분 중의 구리 함량이 높을 경우, 지렁이 체내로의 축적과 함께 분립 중의 구리 함량도 증가되어(Morgan과 Morgan, 1988), 친환경 농자재로서의 안전성을 저하시키는 원인이 된다. 본 실험에서 공시한 먹이 중의 중금속 함량은 green 퇴비와 부산물 퇴비에서 규정하는 규제치 이하의 범위를 나타내어(표 2), 친환경농자재로서 안전성이 있다고 인정되지만(농진청, 2002), 분립을 유기농자재로서 사용하기 위해서는 먹이 중의 중금속 함량을 더욱 낮출 필요가 있다고 생각된다.

분립의 화학적 특성은 pH가 vermicomposting 전에 비하여 모든 처리 구에서 0.3-0.9가 증가하였는데, 이는 칼슘분비선에서 분비된 탄산칼슘이 장내에서 유리된 결과라고 추정된다(Lee, 1985). 유기물 함량(VS)은 26.1-33.2%의 범위를 나타내어 비료공정규격의 부산물 퇴비의 유기물 함량 기준인 25%를 초과하였고(농진청 2002), 유효인산 함량은 460-728

mg/kg의 범위로서, 논 토양에서 요구되는 120 mg/kg과 밭 토양에서 요구되는 450-550 mg/kg의 범위를 초과하였고, 양분보전능력(CEC)은 26.27-26.57 cmol⁺/kg의 범위로서 토양개량 목표치에서 요구하는 10-15me/100 g을 초과하였다(이, 2000). 또한 치환성 칼륨과 마그네슘 함량도 높아서, 분립을 밭 토양과 논 토양의 토양개량제 또는 원예용 상토제로서 사용할 경우에는 충분한 토양개량효과와 생육촉진 효과(이와 이, 1999; Atiyeh, 2001)를 얻을 수 있다고 판단된다.

적 요

Vermicomposting에 의한 돈 분의 처리를 위하여 음식물 쓰레기와 혼합비율을 달리 했을 때, 지렁이의 생육, 분립생산량, 분립의 화학적 조성 및 지렁이 체 조직으로 전환율과 전환효율 및 분립의 화학적 조성을 조사하여, 돈 분과 음식물 쓰레기의 정적 혼합비율을 추정하였다.

돈 분 40% 이하의 혼합비율(음식물쓰레기 60-100%)에서는 지렁이의 생존율이 인정되지 않았지만, 돈 분 60-100% 혼합비율의 생존율은 72.7-100%의 범위를 나타내어 매우 높았다. 분립생산량과 분립비율은 돈 분 100% 수준이 80% 수준보다 유의하게 높았지만, 60% 수준과는 유의한 차이가 인정되지 않았다.

지렁이 분립의 유효인산과 양이온 치환용량과 치환성 칼륨과 마그네슘은 모든 혼합비율에서 높았다. 지렁이에 의한 유기물의 무기화율은 돈 분 100%와 80%의 수준에서 유의하게 높았고, 전환효율(CE)은 돈 분 60% 혼합비율에서 유의하게 높았다.

이상의 결과로 볼 때, vermicomposting에 의한 돈 분의 처리를 위해서는 음식물쓰레기와 혼합비율을 40% 이하(돈 분 60% 이상)로 혼합하는 것이 유리하였다.

사 사

본 연구는 1999년도 연세대학교 학술연구비에 의하여 수행되었다.

인 용 문 헌

1. 농촌진흥청. 2002. 비료공정규격 개정. 농촌진흥청 고시 제 2002-29호
2. 이주삼. 2002. 친환경농업의 자연과학적 접근. 제 6회 흙을 살리자 심포지엄 자료집 pp. 71-81. 농민신문사. 한국토양비료학회
3. 이주삼, 이필원. 2002. 지렁이의 생육과 분립생산을 위한 인과 칼슘의 최적수준의 추정. 한국유기성폐자원학회지 10(4): 96-102.
4. 이주삼, 감만중, 김남천. 2005. Vermicomposting에 의한 음식물 쓰레기의 처리. 한국유기성자원학회지 13(3):51-62.
5. 이필원, 이주삼. 1999. Plant growth media로서 지렁이 분립이 orchardgrass의 생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 7(2): 179-188.
6. 조익환. 2003. Vermicomposting에 의한 음식물쓰레기와 돈 분의 처리. 대구대학교 생명과학연구소, 생명과학연구 2(1):33-38.
7. 축산연구소. 2005. 2004년도 가축분뇨 발생량 현황.
8. 환경부. 2005. 2004년도 전국 폐기물 발생 및 처리현황.
9. Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S. and Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicomposts as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. Bioresources Technology 78:11-20.
10. Cromwell, G. L., Stahly, T. S. and Monegue, H. J. 1989. Effect of source and level of

- copper on performance and liver copper stores in weanling pigs. *J. of Anim. Sci.*, 67:2996-3002.
11. Edwards, C. A., Burrows, I., Flectche, K. E. and Jones, B. A. 1985. The use of earthworms for composting farm wastes. In *Composting of Agricultural and Other Wastes*, (ed.) by J. K. R. Grasser. Elsevier, Amsterdam, pp. 229-242.
 12. Edwards, C. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms In *Earthworm in waste and environmental management* ed. by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser, pp. 21-31. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
 13. Kaplan, D. L., Hartenstein, E. F., Neuhauser and Malecki, M. R. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.* 12(4), pp. 347-352.
 14. Lee, K. E. 1985. Earthworms their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Australia. pp. 3-17.
 15. Malecki, M. R., Neuhauser, E. F. and Loher, R. C. 1982. The effect of metals on the growth and reproduction of *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedobiologia* 24: 129-137.
 16. Morgan, J. E. and Morgan, A. J. 1988. Earthworms as biological monitors of the Cadmium, Copper, Lead and Zinc in metalliferous soils. *Environmental Pollution* 54:123-138.
 17. Nehauser, E, F., Loehr, R. C. and Malecki, M. R. 1988. The potential of earthworm for managing sewage sludge. In *Earthworm and Waste Management*. (eds) by C. A. Edwards and E. F. Nehauser., SPB Academic Publishing, The Netherlands, pp. 9-20.
 18. Nicholson, F. A., Chambers, B. J., Williams, J. R. and Unwin, R. J. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. *Bioresiures Technology.* 70:23-31.
 19. Rivero-Hernandez, R. 1991. Influence of pH on the production of *Eisenia foetida*. *Advan. Aliment. Anim.* 31(5):215-217.
 20. SAS Institute. 1999. Statistical analysis system.
 21. van Rhee, J. A. 1967. Development of earthworm population in orchard soils. In *Progress in Soil Biology*(O. Graff and J. E. Satchell eds.), pp. 360-371. North Holland Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.
 22. van Rhee, J. A. 1975. Copper contamination effects on earthworms by disposal of pig waste in pastures. In *Progress in Soil Zoology*(J. Vanek, ed), pp. 451-457. Proc 5th Intl. Cooloq. Soil Zool., Pragues, 1973.
 23. Wong, S. H. and Griffiths, D. A. 1991. Vermicomposting in the management of pig waste in Hong Kong *World J. of Micro. Biotech.*, 7(6):593-595.