

돈분의 효율적인 지렁이 퇴비화를 위한 Bulking Agent의 이용

황보순* · 조익환**

Use of Bulking Agent for Efficient Vermicomposting of Swine Manure

Hwangbo, Soon · Jo, Ik-Hwan

The present study was conducted to provide basic data for efficient vermicomposting of swine manure by investigating the effect of sawdust mix on growth and reproduction of earthworms, amount of earthworm cast produced, and its chemical composition when mixing swine manure in different levels (0(SSD0), 10(SSD10), 20(SSD20), 30(SSD30), and 40%(SSD40)) with sawdust commonly used as moist control in manure composting. The C/N ratio of the feed and the survival rate of earthworms for the SSD0 treatment (10.19, 35.2%), The C/N ratio of the feed was 11.09-16.44 and increased with higher level of sawdust mixed, and the survival rate of earthworms during the experiment period was 35.2-100%. The number of earthworms was 16.6 in the SSD40 treatment, and young worms were not found in the SSD0 treatment or the treatment with less than 30% sawdust in the mix. The number and the weight of cocoons in SSD30 and SSD40 treatments were found to be in the ranges of 23.8-59.8 and 256-660 mg respectively. The production of earthworm cast and digested amount were higher with the higher level of mixed sawdust ($p<0.05$), and the C/N ratio of cast increased with the mixed sawdust ratio, being significantly higher ratio in SSD30 and SSD40 than other treatments ($p<0.05$). Heavy metals content tended to decrease with the mixed sawdust level. To summarize, the higher level of mixed sawdust was associated with improvement in growth and reproduction of earthworms, and 30-40% sawdust mix in particular could result in efficient vermicomposting.

Key words : *cast, earthworm, sawdust, swine manure, vermicompositing*

* 대구대학교 동물자원학과

** Corresponding author, 대구대학교 동물자원학과 교수(E-mail : greunld@daegu.ac.kr)

I. 서 론

최근 해양오염방지법에 의해 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지되고 국민들의 식생활 개선에 따른 축산물의 수요 증가로 가축의 사육 두수의 증가와 더불어 가축 분뇨의 발생량이 2008년 4,174만 톤에서 2011년 4,368만 톤으로 3년 사이 194만 톤이 증가하였고 이중 돈분뇨가 전체 분뇨 발생량의 약 32.5%를 차지하는 것으로 조사되어(Livestock yearbook, 2012) 돈분뇨의 처리 및 활용 방안에 대한 관심이 커지고 있는 실정이다.

가축분뇨에는 질소 이외의 인산이나 칼륨 등의 미량원소 및 비료성분을 함유하고 있어 토양에 사용할 경우 일반 유기질비료보다 빠른 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 분뇨중에 포함된 유기물에 의해 물리성이 개선되므로 토양개량제로서의 경제적 가치를 인정받고 있다(Whitehead, 1995). 따라서 가축분뇨는 2012년 기준 86%가 부숙과정을 통해 퇴, 액비 형태로 농경지에 환원되고 있다(Livestock yearbook, 2012).

가축분뇨의 퇴비화는 가장 일반적이며 경제적인 자원화 방법으로 유기성 폐기물을 안정화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 퇴비화 과정 중 발생하는 열에 의해 병원성 미생물을 안전하게 제거할 수 있는 것으로 알려져 있다(Huh and Jeong, 2001). 하지만 퇴비화 방법은 파리와 같은 해충과 악취 등이 발생하고 침출수가 유출되어 주변 환경오염의 원인이 되며, 충분히 발효되지 못하는 경우 악취발생 등 환경문제를 발생시켜 적절한 관리가 요구되어 진다(Sweeten, 1988)

최근 가축분을 지렁이 먹이로 이용하여 처리하는 vermicomposting 방법이 주목받고 있다. 국외에서는 일찍이 1960년대부터 가축분과 같은 유기성 폐기물을 지렁이를 이용하여 환경친화적인 기술로 처리하기 시작하였는데(Macfadyen, 1963), 이 방법은 가축분을 급속히 안정화 시킬 수 있고, 악취와 해충의 발생 및 병원성 미생물을 감소시킬 뿐만 아니라(Lo and Liao, 1993; Jo et al., 1996) 처리과정 중에 생산되는 지렁이는 가축의 동물성 사료자원으로 이용 가치가 높으며 지렁이 분립 또한 토양 개량제와 상토로 이용이 가능하다(Hilton, 1983).

그러나 가축분은 함수율이 높고 이화학적 성상이 지렁이의 생존에 양호하지 못하거나, 충분한 부숙이 이루어지지 않았을 경우 지렁이 먹이로는 부적절하다. 그러므로 가축분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 bulking agent 등을 첨가하여 가축분의 수분 흡수와 공극 확보 및 이화학적 성상의 개선이 필요하며, Hwangbo and Jo(2005)의 보고에 의하면 가축분에 bulking agent 등을 첨가할 경우 이화학적 성상이 개선되어 지렁이의 생존율과 증식이 향상되고 지렁이 분립의 생산량도 높아진다고 보고한 바가 있다.

따라서 본 연구는 가축분의 퇴비화에 수분조절제로서 사용되는 bulking agent 중 많이 사용되고 있는 톱밥을 수준별로 돈분과 혼합한 다음 지렁이 먹이로 이용하여, 이들이 지렁이의 성장과 증식, 지렁이 분립의 생산과 화학적 조성에 미치는 영향을 검토함으로써 vermi-

composting을 이용한 돈분의 효율적인 처리에 기초자료로 이용하고자 실시되었다.

II. 재료 및 방법

본 실험에 이용된 공시 지렁이는 엽토종인 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다. 공시시료로 사용된 가축분은 번식돈의 깔집과 뇨가 혼합되지 않은 순수 돈분을 사용하였고, bulking agent는 화학물질이 첨가되지 않은 톱밥을 이용하였다. 돈분과 톱밥의 혼합비율은 부피의 비로 각각 100+0(SSD0구), 90+10(SSD10구), 80+20(SSD20구), 70+30(SSD30구), 60%+40%(SSD40구)의 5수준으로 하여 20×20×26cm 크기의 사육상자에 생중으로 각각 1500 g씩 충전한 후 생체중이 유사한 지렁이 25마리를 사육상자에 방사하여 처리당 5반복으로 임의 배치하여 70일간 사육하였다.

Table 1. The physico-chemical characteristics of mixtures of swine manure and sawdust before the experiment

Treatments ¹	Moisture (%)	Total solid (%)	Volatile solid (%)	Fixed solid (%)	Total nitrogen (%)	C/N ratio	pH	EC ² (mS/cm)
SSD0	71.4	28.6	64.66	35.34	3.53	10.19	7.79	4.39
SSD10	70.8	29.2	66.61	33.39	3.34	11.09	7.58	4.09
SSD20	69.7	30.3	67.59	32.41	2.89	12.99	7.59	3.60
SSD30	70.0	30.0	68.96	31.04	2.52	15.20	7.57	3.07
SSD40	70.1	29.9	72.93	27.07	2.47	16.44	7.57	2.68

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

² EC : Electrolytic conductivity

시험 종료 후 지렁이의 생육특성을 조사하기 위해 지렁이의 생존율, 증체율, 산자수, 산자중, 난수, 난중, 분립생산량 및 소화량을 조사하였으며, 지렁이 생존율(Survival rate, SR)은 최초에 방사한 지렁이의 개체수에서 시험 종료시까지 탈출하거나 죽은 개체수를 뺀 백분율로 계산하였고, 증체율(Increasing rate, IR)은 단위시간 동안의 증체량을 나타낸 것으로 시험 종료시의 평균 개체 중에서 시험 개시시의 평균 개체중을 뺀 값을 사육시간으로 나누었다. 산자수와 난수는 각각의 개체수를 조사하였고 그 무게를 달아 산자중과 난중을 구하

였다. 생육특성 조사 후 사육상자내의 고형물을 건조기내에서 60°C, 48시간 건조하여 지렁이 분립생산량(<2mm)과 잔식량(>2mm)을 측정하였다. 한편 지렁이 먹이의 이화학적 조성을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

총 고형분은 60°C에서 48시간 건조한 후 측정된 건물중으로 하였고, 건물을 550°C의 회화로에서 3시간 태운 후 휘발성 고형분(VS)와 고정 고형분(FS)의 값을 구하였다.

총 질소 함량(TN)은 Kjeldahl법(AOAC, 1995)으로 구하였고 총 탄소 함량은 (100-ash%)/1.8의 공식에 의한 California Univ., Berkeley method(1953)을 사용하였으며 탄질율은 총 탄소함량과 총 질소 함량의 비율로 구하였다. pH와 전기전도도는 pH meter와 EC meter로 측정하였으며 지렁이 분립의 화학적 분석 방법은 토양화학분석법(RDA, 1988)에 준하였다.

중금속은 Nahm(1992)의 분석 방법에 준하여 Cd, Cr, Cu, Pb은 원자흡광분광광도계(Atomic absorption spectrophotography, AAS, Varian, SpectrAA-200HT, USA)로 분석하였고, As와 Hg는 유도 결합 플라즈마 원자흡광분광광도계(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, ICP-AES, Varian, Liberty-series II, USA)로 분석하였으나, Hg는 시료에서 검출이 되지 않아 Table에서 제외하였다.

본 실험의 결과는 SAS package program을 이용하였고, 처리 평균간 유의성 검정은 Duncan's multiple range test(5% 수준)에 의하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 지렁이 생육에 미치는 영향

돈분에 톱밥 혼합수준이 지렁이의 생존율(SR), 생체중 및 증체율(IR)에 미치는 영향은 Table 2와 같다.

실험기간 중의 생존율(SR)은 혼합비율에 따라 35.2~100%로 SSD0구가 가장 낮았고, 톱밥을 30~40% 혼합된 SSD30과 SSD40구가 가장 높게 나타나 톱밥혼합 수준이 높을수록 생존율이 높게 나타났다($p<0.05$).

실험 개시시의 평균 생체중은 165~193mg, 실험 종료 시의 평균 생체중은 87~468mg으로 나타났으며, 단위시간 동안의 증체량을 나타낸 증체율(IR)은 SSD30과 SSD40구가 각각 0.147과 0.164으로 나타났으나 SSD0과 SSD10구는 생체중이 감소됨을 보여, 증체율 또한 톱밥 혼합 비율이 높을수록 높게 나타났다.

Table 2. The growth of earthworm (*Eisenia foetida*) according to mixture ratios of swine manure and sawdust

Treatments ¹	Survival rate (%)	Fresh weight of adult worm		IR ²
		Initial(g)	Final(g)	
SSD0	35.20±9.55 ^c	0.176±0.01 ^{bc}	0.087±0.01 ^d	-0.053±0.005 ^c
SSD10	35.20±9.55 ^c	0.166±0.006 ^c	0.093±0.008 ^d	-0.044±0.006 ^c
SSD20	74.40±4.56 ^b	0.165±0.001 ^c	0.166±0.017 ^c	0.000±0.010 ^b
SSD30	96.00±5.66 ^a	0.182±0.007 ^{ab}	0.428±0.037 ^b	0.147±0.021 ^a
SSD40	100.00±0.00 ^a	0.193±0.012 ^a	0.468±0.041 ^a	0.164±0.030 ^a

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

² IR : Increasing rate of adult worms

[(weight of worm at final - weight of worm at initial)/t₂-t₁](mg)

^{a-d} Mean in the same columns with different superscripts differ(p<0.05).

지렁이 생존에 있어 지렁이가 살아가는 환경이며 섭취하는 먹이의 알맞은 이화학적 성상이 중요한데(Fostage and Babb, 1972), 이중에도 탄질비가 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 탄소는 지렁이의 에너지원으로 질소는 성장에 필요한 영양소로 공급되며, 이들 적정비율이 먹이의 성장과 지렁이 성장에 큰 영향을 미친다(Neuhauser 등 1980). 탄질비가 낮을 경우 암모니아 가스 발생이 많아지게 되어 지렁이가 생존하기 어렵게 되며, 지렁이 먹이로 탄질비는 15~30의 범위가 적정수준으로 알려져 있는데(EPA, 1980), 본 실험에서 지렁이 먹이의 탄질비는 10.19~16.44로, SSD30과 SSD40구를 제외하고는 적정수준 이하로 나타났다(Table 1). 적정수준 이하로 나타난 SSD0구와 SSD10 및 SSD20구의 생존율은 35.2~74.4%로 나타났으며, 시험기간 동안 지렁이의 증체량 또한 감소한 것으로 나타나, 지렁이 먹이의 이화학적 성장 중 탄질비가 지렁이 생존과 증체에 중요한 요인임을 더욱 입증하고 있다. 또한, Hwangbo and Jo(2005)는 우분단독 보다 우분에 톱밥을 혼합할 경우 증체량이 높았으며, 이는 먹이의 탄질비 및 이화학적 성상이 개선되었기 때문으로 보고하여 본 시험의 결과와 일치하였다.

2. 지렁이 증식에 미치는 영향

돈분에 톱밥 혼합수준이 지렁이의 산자수, 산자중, 난자수 및 난중에 미치는 영향은 Table 3과 같다.

산자수(NY)는 SSD40구에서 16.6 마리로 나타났으며, SSD0구 및 톱밥을 30% 이하 첨가 구에서는 새끼 지렁이가 나타나지 않았다. 난포수(NC)와 난포중(WC)은 SSD30과 SSD40구가 각각 23.8~59.8 개와 256~660 mg의 범위로 나타났다.

지렁이의 번식은 먹이조건이 나쁠 때 보다 좋을 때 증식효율이 향상된다고 보고하였는데(Lee et al., 1993), 본 시험에서도 톱밥을 30~40% 혼합된 SSD30과 40구에서만 증식이 이루어져 톱밥 혼합이 먹이조건이 개선되어 증식효율이 높아졌으며, SSD0구 및 톱밥 비율이 10~20% 혼합구는 생존율이 낮았고 증체량 또한 감소되어 증식에도 나쁜 영향을 미친 것으로 사료되며, 가축분배 bulking agent 혼합수준이 높을 때 지렁이의 산자수가 증가한다는 보고와 일치하였다(Hwangbo and Jo, 2005).

Table 3. The reproductive efficiency of earthworm (*Eisenia foetida*) according to mixture ratios of swine manure and sawdust

Treatments ¹	Young earthworms		Cocoons	
	Number	Weight(g)	Number	Weight(g)
SSD0	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c
SSD10	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c
SSD20	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^c
SSD30	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	23.80±6.50 ^b	0.256±0.067 ^b
SSD40	16.60±9.07 ^a	0.262±0.151 ^a	59.80±16.41 ^a	0.660±0.177 ^a

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

^{a-c} Mean in the same columns with different superscripts differ(p<0.05).

3. 지렁이 분립 생산에 미치는 영향

돈분에 톱밥 혼합수준이 지렁이 분립의 생산량(CW), 소화량(DM) 및 잔존량(RM)에 미치는 영향은 Table 4와 같다.

지렁이 분립 생산량(CW)은 SSD0구가 23.8g, 톱밥 혼합구가 39.8~125.2g의 범위로 톱밥 혼합수준이 높을수록 높게 나타나 톱밥 40% 혼합구가 가장 높았다(p<0.05). 먹이의 소화량(DM)은 30~89.8g으로 SSD40, SSD30 > SSD20 > SSD0, SSD10구 순으로 유의하게 낮아졌다(p<0.05). 먹이의 잔식량(RM)은 SSD0구와 SSD10구가 각각 373.8과 368.2g으로 가장 높았고, SSD40구가 234g으로 가장 낮게 나타났다(p<0.05).

Table 4. The cast production of earthworm (*Eisenia foetida*) according to mixture ratios of swine manure and sawdust

Treatments ¹	CW	DM	RM
SSD0	23.8±15.87 ^c	31.4±19.04 ^c	373.8±20.04 ^a
SSD10	39.8±12.03 ^c	30.0±7.78 ^c	368.2±7.56 ^a
SSD20	70.4±17.27 ^b	54.6±10.33 ^b	329.8±20.87 ^b
SSD30	103.8±17.41 ^a	83.0±11.22 ^a	263.2±14.39 ^c
SSD40	125.2±20.51 ^a	89.8±9.26 ^a	234.0±25.02 ^d

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

CW : dry weight of cast(g, <2.0mm), DM : digested matter(g)

RM : residual matter(g, >2.0mm)

^{a-d} Mean in the same columns with different superscripts differ(p<0.05).

본 시험에서 분립 생산량은 톱밥 혼합구가 39.8~125.2g으로 성체 마리당 1일 분립 생산량이 64.9~71.5mg으로, 지렁이 건물 중 100mg당 분립의 생산량은 2~44mg이며(Hartenstein and Amico, 1983), 우분을 먹이로 급이하였을 때 36.5~80.9mg/일/마리의 범위로 보고하여(Lee et al., 1993), 본 시험의 결과와 비슷한 분립 생산량을 보였다.

톱밥이 혼합된 돈분을 줄지렁이에게 급이시 부숙과정 중에 톱밥의 섬유소 성분이 분해되어 지렁이의 먹이 섭취량이 증가되며(Bae and Park, 2013), 먹이 중 분해 가능한 탄수화물 즉, 휘발성 고형분 함량이 높은 먹이일수록 섭취량 및 분립 생산량이 많아진다고 보고하여(Lee et al., 2005), 본 시험에서도 톱밥 혼합 수준이 높고, 휘발성 고형분 함량이 높은(Table 1) 톱밥 혼합구에서 먹이 섭취량과 분립 생산량이 높게 나타나 기존의 보고 결과와 일치하였다.

4. 지렁이 분립의 화학적 조성

돈분에 톱밥 혼합수준이 지렁이 분립의 화학적 조성 중 유기물(OM) 함량, 총 탄소(TC) 함량, 총 질소(TN) 함량, 탄질비, pH 및 전기전도도(EC)에 미치는 영향은 Table 5와 같다.

지렁이 분립의 유기물(OM)과 총 탄소(TC) 함량은 각각 43.01~70.70과 23.89~38.27%의 범위로 톱밥 혼합수준이 많을수록 높아져 톱밥 40% 혼합구가 가장 높았고 SSD0구가 가장 낮았다(p<0.05). 총 질소(TN) 함량은 2.36~2.92%의 범위로 톱밥 혼합수준이 높을수록 낮게 나타났다(p<0.05). 탄질율(C/N)은 8.18~16.22%의 범위로 톱밥 혼합수준이 높을수록 높아져

SSD30과 SSD40구가 다른 구보다 유의하게 높았다($p<0.05$). pH와 전기전도도는 각각 6.49~7.97과 1.23~1.96mS/cm의 범위로 톱밥 혼합수준이 높을수록 유의하게 낮아졌다($p<0.05$).

Table 5. Chemical analysis data of worm casts according to mixture ratios of swine manure and sawdust

Treatments ¹	Organic matter (%)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	C/N ratio	pH	EC ² (mS/cm)
SSD0	43.01±4.54 ^d	23.89±2.52 ^d	2.92±0.16 ^a	8.18±1.39 ^c	7.97±0.05 ^a	1.96±0.05 ^a
SSD10	56.00±3.88 ^c	31.11±2.15 ^c	2.69±0.08 ^b	11.56±1.15 ^b	7.00±0.30 ^b	1.63±0.14 ^b
SSD20	58.24±2.49 ^c	32.35±1.38 ^c	2.52±0.05 ^{bc}	12.83±0.36 ^b	6.93±0.07 ^b	1.51±0.10 ^b
SSD30	64.43±3.08 ^b	35.80±1.72 ^b	2.40±0.09 ^c	14.91±0.76 ^a	6.87±0.06 ^b	1.50±0.06 ^b
SSD40	70.70±1.67 ^a	38.27±0.93 ^a	2.36±0.06 ^c	16.22±0.85 ^a	6.49±0.04 ^c	1.23±0.08 ^c

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

² EC : Electrolytic conductivity

^{a-d} Mean in the same columns with different superscripts differ($p<0.05$).

지렁이가 먹이를 섭취하고 미소화 물질을 배설물의 형태로서 체외로 배출한 것을 분립이라고 하며, 분립은 지렁이 생체 내 소화과정에서 미생물의 작용으로 먹이의 이화학적 성상과는 차이가 있으며, 분립에는 미생물과 효소 등이 많이 포함되어 비료로서의 가치가 높고, 물리적 구조 또한 입단구조로 되어 있어 토양의 물리성을 개선시키는 효과가 크다 (Syers et al., 1979). 따라서 토양으로 환원할 경우 토양 개량제와 유기질 비료 자원으로 유용성이 높다고 알려져 있다(Lee, 1983).

지렁이 먹이(Table 1)와 분립의 화학적 조성 비교 시, 총 질소 함량은 톱밥혼합 수준에 관계없이 모든구에서 먹이(2.47~3.53%) 보다 분립(2.36~2.92%)에서 감소한 것으로 나타나 이와 같이 총 질소 감소의 원인은 지렁이가 성장하는데 사용된 것으로 사료되며, 탄질비에 서도 먹이에서 보다 분립에서 낮게 나타나 지렁이가 유기물 분해를 촉진시킨 것으로 판단된다. pH와 전기전도도 모두 먹이 보다 분립에서 낮게 나타났으며, 분립의 낮은 pH는 지렁이가 호흡시 배출하는 CO₂의 영향과 미생물의 작용으로 유기물 일부가 유기산으로 전환된다고 보고하여(Hartenstein and Hartenstein, 1981; Song et al., 1993), 본 시험의 결과와 일치하였다.

5. 지렁이 분립의 중금속 함량

돈분에 톱밥 혼합수준이 지렁이 분립의 중금속 중 비소(As), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu) 및 납(Pb) 함량에 미치는 영향은 Table 6과 같다.

As와 Cd 함량은 톱밥 혼합구가 각각 9.2~18.6과 0.4~1.45ppm으로 SSD0구의 각각 24.6과 1.15ppm 보다 낮은 함량을 보였으며, 특히 SSD40구가 SSD0구 보다 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$).

Cr과 Pb 함량은 톱밥 혼합구가 각각 8.60~11.25와 9.40~12.30ppm으로 SSD0구의 16.4와 21.3ppm 보다 낮은 경향이었으며 톱밥 혼합구에서도 톱밥 혼합수준이 높을수록 낮아지는 경향이었다.

지렁이 분립에서 Cu의 함량은 높은 수준으로 나타났는데, SSD0구는 235ppm으로 가장 높게 나타났고 SSD40구가 106ppm으로 가장 낮은 함량을 보였다($p < 0.05$).

Table 6. Heavy metal concentrations of worm casts according to mixture ratios of swine manure and sawdust

Treatments ¹	Heavy metal(ppm)				
	As	Cd	Cr	Cu	Pb
SSD0	24.55±6.29 ^a	1.15±0.21 ^{ab}	16.40±6.79	235±40 ^a	21.30±5.37
SSD10	18.55±6.29 ^{ab}	1.45±0.07 ^a	11.25±1.91	200±35 ^{ab}	12.30±11.03
SSD20	15.00±3.11 ^{ab}	1.30±0.42 ^a	8.50±1.83	166±26 ^{abc}	11.35±5.44
SSD30	11.30±3.96 ^{ab}	0.60±0.28 ^{bc}	8.30±2.54	121±29 ^{bc}	10.00±7.07
SSD40	9.20±4.80 ^b	0.40±0.00 ^c	8.60±4.24	106±8 ^c	9.40±0.84

¹ SSD0 : Swine manure 100%

SSD10 : Swine manure 90%+sawdust 10%, SSD20 : Swine manure 80%+sawdust 20%

SSD30 : Swine manure 70%+sawdust 30%, SSD40 : Swine manure 60%+sawdust 40%

^{a-c} Mean in the same columns with different superscripts differ($p < 0.05$).

비료공정규격의 부산물 비료 중 가축분퇴비에 함유할 수 있는 유해성분의 최대량은 As 45ppm, Cd 5ppm, Hg 2ppm, Cr 200ppm, Cu 360ppm, Pb 130ppm으로 규정하고 있는데(RDA, 2010), 본 시험의 지렁이 분립에서 중금속 함량은 모두 비료공정규격 유해성분의 허용치를 넘지 않은 것으로 나타나 토양 개량제와 유기질 비료 자원으로써 안전성이 충분히 확보되었다고 사료된다.

한편, 중금속 중 구리의 함량이 다소 높은 수치를 보였는데, 이는 구리가 동물의 성장을

촉진하기 때문에 돼지 사료에 필수 요구량 이상 보충하는 것으로 알려져 있다(Cromwell et al., 1989). 지렁이 먹이에 100 ppm 이상의 구리함량은 지렁이 생육이 저해되는데(Malecki et al., 1982), 본 시험에서 돈분 비율이 높은 구의 낮은 생육과 증식이 탄질비가 낮고 먹이 조건이 양호하지 않은 원인도 있겠지만 높은 구리 함량도 관계가 있는 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 볼 때, 가축분의 퇴비화에 수분조절제로서 사용되는 bulking agent 중 일반적으로 많이 사용되고 있는 톱밥을 수준별로 돈분과 혼합한 다음 지렁이 먹이로 이용하였을 때 톱밥 혼합수준이 높을수록 지렁이의 생육과 증식이 향상되었으며, 특히 톱밥 30~40% 혼합 시에 돈분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다.

IV. 적 요

본 시험에서는 가축분의 퇴비화에 수분조절제로서 사용되는 bulking agent 중 일반적으로 많이 사용되고 있는 톱밥을 수준별(0(SSD0), 10(SSD10), 20(SSD20), 30(SSD30) 및 40%(SSD40))로 돈분과 혼합한 다음 지렁이 먹이로 이용하였을 때, 지렁이 생육과 증식에 미치는 영향과 지렁이 분립의 생산량 및 화학적 조성을 조사하여 돈분의 효율적인 vermicomposting의 기초자료로 이용하고자 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 탄질율과 지렁이 생존율은 SSD0구가 각각 10.19와 35.2%이었으나, 톱밥 혼합수준이 증가함에 따라 탄질율은 11.09~16.44로 높아졌으며, 실험기간 동안 지렁이의 생존율은 35.2~100%로 나타났다. 산자수는 SSD40구에서 16.6 마리로 나타났으며, SSD0구 및 톱밥을 30% 이하 첨가구에서는 새끼 지렁이가 나타나지 않았다. 난포수와 난포중은 SSD30과 SSD40구가 각각 23.8~59.8개와 256~660mg의 범위로 나타났다. 지렁이 분립생산과 소화량은 톱밥 혼합수준이 높을수록 높게 나타났으며($p<0.05$), 분립의 탄질율은 톱밥 혼합수준이 높을수록 높아져 SSD30과 SSD40구가 다른구 보다 유의하게 높았다($p<0.05$). 중금속 함량은 톱밥 혼합수준이 높을수록 낮아지는 경향이였다. 이상의 결과를 종합하면, 돈분에 톱밥 혼합수준이 높을수록 지렁이의 생육과 증식이 향상되었으며, 특히 톱밥 30~40% 혼합 시에 돈분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다.

[논문접수일 : 2014. 1. 5. 논문수정일 : 2014. 1. 17. 최종논문접수일 : 2014. 1. 19.]

Reference

1. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
2. Bae, Y. H. and K. I. Park. 2013. Effects of pig manure composts with different composting periods on feeding rate, biomass and cocoon production of earthworm (*Eisenia foetida*). J. of KORRA. 21(2): 81-89.
3. Cromwell, G. L., T. S., Stahly. and H. J. Monegue. 1989. Effect of source and level of copper on performance, and liver copper stores in weanling pigs. J. of Animal Science. 67: 2996-3002.
4. EPA. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-80-033, Aug. 1980
5. Fostage, O. T. and M. R. Babb. 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*. J. Dairy Sci. 55: 870-872.
6. Hartenstein, R. and L. Amico. 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. Soil bio. Biochem. 15: 51-54.
7. Hartenstein, R. and F. Hartenstein. 1981. Physicochemical changes effected in activated sludges by the earthworm *Eisenia foetida*, J. Environ, Qual. 10(3): 377-381.
8. Hilton, J. W. 1983. Potential of free dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. Aquaculture 32: 277-283.
9. Hwangbo, S. and I. H. Jo. 2005. Effects of Mixture Ratios of Cow Manure and Sawdust on the Growth of Earthworm (*Eisenia foetida*) and Cast Production. Korean J. Organic Agri. 13(4): 423-433.
10. Huh, D. and M. K. Jeong. 2001. Cost and return to the scale of livestock manure management. Korea Journal of Agricultural Management and Policy. 28(2): 364-382.
11. Jo, I. H., J. S. Lee, and H. J. Jun. 1996. Treatment of Organic Waste by Vermicomposting. Korean J. Organic Agri. 5(1): 125-135.
12. Lee, J. S., S. J. Kim, and K. Y. Cho. 1993. Treatment of Cow manure by Vermicomposting: 1. Effect of population densities on the growth and reproduction of the earthworm (*Eisenia foetida*). J. of KORRA. 1(2): 259-266.
13. Lee, J. S., M. J. Kim, and N. C. Kim. 2005. Treatment of Food Wastes by Vermicomposting. J. of KORRA. 13(3): 51-62.
14. Lee Valley E. H. S. 1983. Bedding plants, compost additives(GP38/09235). MAFF /ADAS Reference Booklet 236. Protected Crops Omamentals pp. 3-4.

15. Livestock yearbook (The Agriculture, Fisheries, Livestock News). 2012. Livestock excretions.
16. Lo, K. V. and A. K. Liao. 1993. Composting of separated solid swine waste. *J. Agri. Engin Res.* 54: 307-317.
17. Macfadyen, A. 1963. The contribution of the fauna to total soil metabolism. In "Soil Organism" (J. Doeksen and J. van der Drift, eds.), 3-17. North Holland Publishing Company, Amsterdam.
18. Malecki, M. R., E. F. Neuhauser, and R. C. Loehr. 1982. The effect of metals on the growth and reproduction of *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedobiologia.* 24: 129-137.
19. Nahm, K. H. 1992. Practical guide to feed, forage and water analysis(English Edition). Yoo Han Pub. Co., Seoul, South Korea.
20. Neuhauser, E. F., D. L. Kaplan, M. B. Malecki, and R. Harteinstein. 1980. Material supporting weight gain by the earthworm *Eisenia foetida* in waste conversion system. *Agricultural wastes.* 2(1): 43-60.
21. RDA. Agricultural Technology Research Institute. 1988. Soil Chemical Analysis. Suwon. Korea.
22. RDA. 2010. Fertilizer regulations. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
23. SAS. 2013. User's Guide Statistics. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary. NC.
24. Song, J. S., K. C. Lee, S. H. Chun, H. K. Choi, K. H. Cho, and S. I. Kim. 1993. Vermicomposting condition and safety/fertility of Earthworm casts. *J. of KOWREC.* 1(1): 85-102.
25. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure sludge. p.38-44. In National poultry waste management symp., Columbus, OH. Dep. of Poultry Sci., Ohio State Univ., Columbus
26. Syers, J. K. A., N. Sharpley, and D. R. Keeney. 1979. Cycling of nitrogen by surface casting earthworm in a pasture ecosystem. *Soil Bio. and Biochem.* 11: 181-185.
27. University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal Refuse by composting. Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.
28. Whitehead, D. C. 1995. Grassland nitrogen. CAB INTERNATIONAL UK. 200-221.