

우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향

황보순* · 조익환**

Effects of Mixture Ratios of Cow Manure and Sawdust on the Growth of Earthworm(*Eisenia foetida*) and Cast Production

Hwangbo, Soon · Jo, Ik-Hwan

This study was conducted to develop efficient vermicomposting using of different mixture ratios of cow manure and sawdust by feeding these to earthworm and then by studying the growth and reproductive efficiency of earthworm, and the chemical composition of worm cast and its production. The results are summarized as follows. C/N ratio of feed was 20.43~45.20 and it increased according to the higher proportion of sawdust, and survival of earthworm was 97.6~100%. Number of young worms were significantly higher in 30 and 40% addition of sawdust (number of 899.6 and 927.8) than number of 769 of real cow manure treatment ($P<0.05$). Fresh weight of young worms was 8.00~14.35g and it was significantly higher in 40% addition of sawdust than other treatments ($P<0.05$). The cast production of earthworm was showed in the tendency of becoming lower in the 40% addition of sawdust than in 10~30% addition of that, but digested matters were significantly higher in 10~40% addition of sawdust than real cow manure treatment ($P<0.05$).

Key Words : vermicomposting, cow manure, sawdust, earthworm, cast

I. 서 론

육류소비 증가로 인해 가축의 사육 두수가 급속한 양적 성장을 해왔으며 축산농가의 형

* 대표저자, 대구대학교 동물자원학과

** 대구대학교 동물자원학과 교수

태도 기업화 및 집단화 되면서 가축 분뇨의 발생량이 급격히 증가하고 있어 사회·환경적으로 많은 문제를 야기 시키면서 가축 분뇨의 처리에 대한 관심이 커지고 있다.

가축분의 처리는 퇴적, 발효 또는 저류조에 일정기간 저류한 후 유기질 비료로 경작지에 살포하는 것이 일반적인 방법이다(Schechtner 등, 1980). 그러나 이는 많은 노력과 시간이 필요하며 발효가 충분히 이루어지지 않았을 경우 악취가 심하며 또한 취급하기가 어렵고 과다 살포시 빗물에 씻겨 하천과 지하수의 오염원이 되는 등 여러 가지 문제점이 발생된다.

한편 가축분을 지렁이 먹이로 이용하는 생물학적 방법인 vermicomposting으로 처리할 경우 2차 공해의 발생이 거의 없고 냄새와 해충의 발생 및 병원성 미생물을 감소시킬 뿐만 아니라(조 등, 1996; Lo와 Liao, 1993) 처리과정 중에 생산되는 지렁이는 가축의 동물성 사료자원으로 이용 가치가 높으며 지렁이 분립 또한 토양 개량제와 상토로 이용이 가능하다(전과 조, 1995; Hilton, 1983).

그러나 가축분은 함수율이 높고 이화학적 성상이 지렁이의 생존에 양호하지 못하거나 충분한 부숙이 이루어지지 않았을 경우에 지렁이 먹이로는 부적절 하다. 그러므로 가축분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 bulking agent 등을 첨가하여 가축분의 수분 흡수와 공극 확보 및 이화학적 성상의 개선이 필요하다.

따라서 본 연구는 가축분의 퇴비화에 일반적으로 이용되고 있는 톱밥을 수준별로 우분과 혼합한 다음 지렁이 먹이로 이용하여, 이들이 지렁이의 성장과 증식, 지렁이 분립의 생산과 화학적 조성에 미치는 영향을 검토함으로써 vermicomposting을 이용한 가축분의 효율적인 처리로 유기/친환경 자재 생산에 기여하고자 실시되었다.

II. 재료 및 방법

본 실험에 이용된 공시 지렁이는 엽토종인 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다. 공시시료는 대구대학교 부속 농장에서 사육된 비육중인 암소의 깔짚과 뇨가 혼합되지 않은 순수 우분과 우사 깔짚으로 사용하는 톱밥을 이용하였다. 우분과 톱밥의 혼합비율은 부피의 비로 각각 100+0, 90+10, 80+20, 70+30, 60%+40%의 5수준으로 하여 20×20×26cm 크기의 사육상자에 생중으로 각각 1500g씩 충전한 후 생체중이 유사한 지렁이 25마리를 사육상자에 방사하여 처리 당 5만복으로 임의 배치하여 70일간 사육하였다.

조사내용은 생존율, 증체량, 난포수, 난포중, 산자수 및 산자중을 조사한 후 사육상자내의 고형물을 건조기내에서 60℃, 48시간 건조하여 지렁이 분립생산량(<2mm)과 잔식량(>2mm)을 측정하였다. 한편 지렁이 먹이의 이화학적 조성을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

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

Table 1. The physico-chemical characteristics of mixtures of cow 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)
CM	71.2	28.8	60.67	39.33	1.65	20.43	7.71	0.64
CSD10	71.0	29	68.25	31.75	1.25	30.34	7.48	0.57
CSD20	69.7	30.3	73.05	26.95	1.07	37.34	7.37	0.52
CSD30	71.2	28.8	75.52	24.48	0.97	43.71	7.41	0.48
CSD40	69.7	30.3	77.28	22.72	0.95	45.20	7.42	0.19

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow manure 60%+sawdust 40%

² EC : Electrolytic conductivity

총 질소 함량(TN)은 Kjeldahl법(AOAC. 1990)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(농진청, 1988)에 준하였다.

중금속은 Nahm(1992)의 분석 방법에 준하여 Cd, Cr, Cu, Pb은 원자흡광분광광도계(Atomic absorption spectrophotography, AAS, Varian, SpectraAA-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 모든 시료에서 검출이 되지 않아 Table에서 제외하였다.

본 실험의 결과는 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

우분에 톱밥 혼합이 지렁이의 생존율(SR), 생체중 및 증체율(IR)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2와 같다.

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

Treatments ¹	Survival rate(%)	Fresh weight of adult worm		IR ²
		Initial(g)	Final(g)	
CM	98.4±2.19	0.200±0.001	0.237±0.014b	0.010±0.050c
CSD10	97.6±3.58	0.200±0.000	0.246±0.035b	0.016±0.019bc
CSD20	100.0±0.00	0.180±0.045	0.266±0.017ab	0.025±0.017abc
CSD30	100.0±0.00	0.200±0.000	0.296±0.015a	0.044±0.009a
CSD40	100.0±0.00	0.200±0.000	0.288±0.031a	0.036±0.024ab

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow 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-c} Mean in the same columns with different superscripts differ(P<0.05).

실험기간 중의 생존율(SR)은 혼합비율에 따라 97.6~100%로 혼합비율의 차이에 따른 유의한 차이가 인정되지 않았다.

실험 개시시의 평균 생체중은 180~200mg으로 혼합비율에 따른 유의한 차이가 인정되지 않았으나 실험 종료 시의 평균 생체중은 237~296mg으로 톱밥의 혼합 비율이 높을수록 높게 나타나 톱밥 30과 40% 혼합구에서 각각 296과 288mg으로 가장 높게 나타났다(P<0.05). 또한 실험 기간 중의 증체량(IR)도 톱밥의 혼합 비율이 높을수록 높게 나타나 톱밥 30과 40% 혼합구에서 각각 0.044와 0.036mg으로 다른 처리구보다 유의하게 높았다(P<0.05).

2. 지렁이 증식에 미치는 영향

우분과 톱밥 혼합 수준에 따른 지렁이의 산자수, 산자중, 난자수 및 난중을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

산자수(NY)는 톱밥을 혼합한 구에서 843~928마리로 순수 우분구의 769마리 보다 유의하게 많았으며 산자중(WY)도 톱밥 혼합 수준이 높을수록 높게 나타나 톱밥 20~40% 혼합구가 13.68~14.35g으로 유의하게 높았다(P<0.05).

난포수(NC)와 난포중(WC)도 톱밥 20~40% 혼합구가 각각 17~21.6개와 0.18~0.22g으로 순수 우분구의 7개와 0.07g보다 유의하게 높았다(P<0.05).

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

Treatments ¹	Young earthworms		Cocoons	
	Number	Weight(g)	Number	Weight(g)
CM	769.0±32.97d	8.00±0.80c	7.0±1.22b	0.070±0.012b
CSD10	843.0±29.14c	10.55±0.77b	3.6±1.95b	0.036±0.019b
CSD20	880.0±16.14b	13.68±0.81a	19.6±8.08a	0.180±0.084a
CSD30	899.6±15.98ab	13.81±1.15a	17.0±3.39a	0.160±0.042a
CSD40	927.8±7.26a	14.35±0.63a	21.6±3.05a	0.220±0.045a

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow manure 60%+sawdust 40%

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

3. 지렁이 분립 생산에 미치는 영향

우분과 톱밥 혼합 수준에 따른 지렁이 분립의 생산량(CW), 소화량(DM) 및 잔존량(RM)을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

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

Treatments ¹	CW	DM	RM
CM	163.0±10.4c	93.8±2.0c	175.2±9.8a
CSD10	183.4±12.4a	111.4±7.9b	140.2±4.6a
CSD20	193.6±11.4a	121.0±10.9b	86.8±30.3b
CSD30	180.0±14.6ab	120.0±13.3b	66.4±35.7b
CSD40	166.0±4.4bc	135.1±4.7a	69.8±47.9b

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%,

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow manure 60%+sawdust 40%,

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

RM : residual matter(g, >2.0mm)

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

지렁이 분립의 생산량(CW)은 톱밥 혼합구가 166~193.6g의 범위로 순수 우분구의 163g 보다 많았고, 톱밥 혼합구내에서는 톱밥 40% 혼합한 구의 166g 보다 톱밥을 10~30% 혼합한 구가 180~193.6g으로 유의하게 높았다($P<0.05$).

먹이의 소화량(DM)은 톱밥 40% 혼합구가 135.1g으로 가장 높았고 톱밥 혼합 비율이 낮아짐에 따라 점차 낮아져 순수 우분구가 93.8g으로 가장 낮았다($P<0.05$).

먹이의 잔식량(RM)은 순수 우분구가 175.2g으로 가장 높았고 톱밥 혼합구는 69.8~140.2g의 범위로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 낮게 나타났다($P<0.05$).

4. 지렁이 분립의 화학적 조성

우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이 분립의 화학적 조성 중 유기물(OM) 함량, 총 탄소(TC) 함량, 총 질소(TN) 함량, 탄질비, pH 및 전기전도도(EC)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 5와 같다.

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

Treatments ¹	Organic matter (%)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	C/N ratio	pH	EC ² (mS/cm)
CM	52.30±2.9d	29.00±2.2d	1.51±0.02a	19.20±1.19d	7.28±0.08a	0.843±0.139a
CSD10	57.30±1.7c	31.84±1.4cd	1.46±0.03ab	21.81±0.5d	6.92±0.03b	0.621±0.122b
CSD20	62.71±2.5b	34.84±1.3bc	1.32±0.03bc	26.39±0.73c	6.84±0.08b	0.350±0.127c
CSD30	66.20±2.22b	36.78±2.6b	1.17±0.11c	31.55±2.66b	6.72±0.03c	0.329±0.030c
CSD40	75.06±2.2a	41.70±3.33a	0.98±0.16d	43.00±4.51a	6.66±0.03c	0.350±0.045c

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow manure 60%+sawdust 40%

² EC : Electrolytic conductivity

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

지렁이 분립의 유기물(OM)과 총 탄소(TC) 함량은 각각 52.3~75.06과 29~41.7%의 범위로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 높아져 톱밥 40% 혼합구가 가장 높았고 순수 우분구가 가장 낮았다($P<0.05$).

총 질소(TN) 함량은 0.98~1.51%로 순수 우분구가 1.51%로 가장 높았으며 톱밥 혼합구는 톱밥의 혼합 수준이 높을수록 낮은 경향을 보여 톱밥 40%일 때 0.98%로 가장 낮았다.

탄질율(C/N)은 19.20~43.00%의 범위로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 높아져 톱밥 40% 혼합구가 43%로 순수 우분구의 19.2%보다 유의하게 높았다(P<0.05).

pH와 전기전도도는 각각 6.66~7.28과 0.35~0.843mS/cm의 범위로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며 순수 우분구는 각각 7.28과 0.843mS/cm으로 유의하게 높았다(P<0.05).

5. 지렁이 분립의 중금속 함량

우분과 톱밥 혼합수준이 지렁이 분립의 중금속 중 비소(As), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu) 및 납(Pb) 함량에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 6과 같다.

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

Treatments ¹	Heavy metal(ppm)				
	As	Cd	Cr	Cu	Pb
CM	36.55±0.77a	1.45±0.21	19.40±1.27a	16.40±1.56a	13.25±3.75a
CSD10	28.40±0.57a	1.20±0.14	11.50±2.12b	9.50±0.00b	6.05±2.05b
CSD20	15.30±1.13b	1.00±0.28	9.85±1.91bc	8.00±0.71bc	1.50±2.12b
CSD30	7.15±10.11b	1.00±0.28	6.05±0.92cd	5.85±1.91c	1.25±1.77b
CSD40	4.70±0.84b	1.15±0.35	5.40±0.71d	0.00±0.00d	0.00±0.00b

¹ CM : Cow manure 100%,

CSD10 : Cow manure 90%+sawdust 10%, CSD20 : Cow manure 80%+sawdust 20%

CSD30 : Cow manure 70%+sawdust 30%, CSD40 : Cow manure 60%+sawdust 40%

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

As 함량은 톱밥혼합구가 4.7~28.4ppm으로 순수 우분구의 36.55ppm 보다 낮은 함량을 보였으며 특히 톱밥 혼합 수준이 높을수록 유의하게 낮아졌다(P<0.05).

Cd 함량은 1~1.45ppm으로 처리구간 유의성은 나타나지 않았지만 톱밥혼합구가 순수 우분구의 1.45ppm 보다 낮은 함량을 나타내었다.

Cr, Cu 및 Pb 함량은 톱밥 혼합구가 각각 5.4~11.5, 0~9.5 및 0~6.05ppm으로 순수 우분구의 19.4, 16.4와 13.25ppm 보다 유의하게 낮았으며 톱밥 혼합구에서도 톱밥 혼합 수준이 높을수록 유의하게 낮아졌다(P<0.05).

IV. 고 찰

효율적인 vermicomposting에 있어서 중요한 요인은 지렁이의 생육을 위해 양호한 사육환경과 먹이조건을 갖추어 증식효율을 높이고 증체속도를 빠르게 하여 지렁이 분립의 생산량을 증가시키는 것이다(이 등 1992; 이 등 1993).

특히 지렁이의 먹이의 이화학적 성상은 먹이의 종류, 발효상태 및 미생물의 작용 등에 의해 달라지며 여러 가지 요인 중에서도 pH와 탄질율이 중요한 요인으로 작용하고 있다(Fostage와 Babb, 1972; Neuhauser 등 1984; 황보 등 2003). 일반적으로 vermicomposting에 알맞은 먹이의 pH는 5.0~9.0(Edwards, 1988)이며 탄질율은 25전후(이, 1995)와 15~30의 범위(EPA, 1980)가 적정한 수준으로 알려져 있는데, 본 실험에서도 지렁이 먹이로 이용되었던 순수 우분 및 톱밥 혼합 우분의 pH가 7.37~7.71의 범위로 이들 수준에 속하였고 먹이의 탄질율도 20.43~45.20로 적정 수준이었지만 톱밥 혼합 수준이 높을 때 다소 높게 나타났다(Table 1). 아울러 이러한 먹이조건에서 실시되었던 본 실험기간 동안 지렁이의 생존율(SR)이 97.6~100%로 모든 처리 구에서 높게 나타나, 지렁이 먹이의 이화학적 성상이 지렁이 생육에 중요한 요인임을 더욱 입증하고 있다.

단위 시간 동안의 증체량(IR)은 순수 우분 구(0.010mg) 보다 톱밥 혼합 우분 구에서 (0.016~0.044mg) 유의하게 높았는데, 이는 톱밥의 혼합이 지렁이 먹이의 성상을 향상시켜 지렁이의 생육을 촉진시킨 결과라고 생각된다(Table 2). 특히 지렁이 증식(산자수, 산자중)에 있어서도 톱밥 혼합 우분 구(10~40%)가 순수 우분 구 보다 유의하게 높았으며 이러한 경향은 톱밥 혼합 비율이 높을수록(20~40%) 유의하게 높게 나타났다(Table 3).

이와 같은 결과는 먹이 조건이 좋을 경우에는 증체속도 보다 증식효율을 향상시키고, 먹이 조건이 나쁠 경우에는 증식효율은 낮으나 증체속도는 빨라진다고 한 이 등(1993)의 보고와 비교할 경우, 본 실험에서도 톱밥을 혼합한 구에서 지렁이의 증식효율이 더욱 향상된 것은 먹이조건이 양호하였기 때문이라고 사료된다.

Vermicomposting에 의해 생산된 지렁이 분립은 지렁이 생체 내 소화과정에서 미생물의 작용으로 먹이로 섭취한 성상과는 다른 이화학적 성상을 나타내며 물리적 구조도 입단구조로 되어 있어 토양의 물리성을 개선시키는 효과가 크다. 따라서 토양으로 환원할 경우 토양 개량제와 유기질 비료 자원으로 유용성이 높다고 알려져 있다(Syers 등 1979; Lee 1983). 특히, 본 실험에서의 지렁이 분립의 특성은 모든 구에서 유기물 함량이 52.3~75.06%이며, 전 질소 함량은 0.98~1.51%, 탄질율은 19.2~43.0%의 범위를 나타내어(Table 5) 비료공정규격의 부산물 비료 중 퇴비의 조건에 모두 충족하였다(농촌진흥청, 2002).

또한 이들 지렁이 분립은 토양개량제나 유기질 비료 형태로 토양에 환원되므로 작물의 재배와 토양생태계의 보전을 위하여 지렁이 분립의 안전성 평가가 우선되어야 한다. 우리나라 비료공정규격의 부산물 비료 중 퇴비 내 함유할 수 있는 유해성분의 최대량은 As

50ppm, Cd 5ppm, Hg 2ppm, Pb 150ppm, Cr 300ppm, Cu 300ppm으로 규정되어 있는데, 본 실험에서 생산된 지렁이 분립은 모두 허용치를 넘지 않은 것으로 나타나(Table 6) 토양 개량제와 유기질 비료 자원으로써 안전성이 충분히 확보되었다고 사료된다.

이상의 결과에서 볼 때, 보면 톱밥 혼합 수준을 달리한 우분을 지렁이 먹이로 공급하였을 경우에는 톱밥 혼합 수준이 높을수록 지렁이의 생육과 증식이 향상되었으며 톱밥 혼합 수준이 낮은 경우에는 지렁이 분립의 생산이 높아져 우분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다. 또한 처리과정 중에 생산되는 지렁이는 가축의 동물성 사료 자원으로 이용 가치가 높을 뿐만 아니라 지렁이가 배설한 분립 또한 식물생육을 위한 귀중한 유기질 자재로 활용되어 궁극적으로 지속가능한 유기농업과 순환농업을 가능케 하여 환경과 생태계 보전에 크게 기여할 것으로 사료된다.

V. 적 요

본 실험에서는 우분과 톱밥의 혼합수준을 달리하여 지렁이 먹이로 이용하였을 때, 지렁이 생육과 증식에 미치는 영향과 지렁이 분립의 생산량 및 화학적 조성을 조사하여 우분의 효율적인 Vermicomposting의 기초자료로 이용하고자 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

먹이의 탄질율은 20.43~45.20으로 톱밥 혼합 수준이 증가함에 따라 탄질비도 높아졌으며 실험기간 동안 지렁이의 생존율은 97.6~100%로 나타났다. 산자수는 톱밥을 30과 40% 혼합한 구에서 각각 899.6과 927.8 마리로 우분 100%구의 769 마리보다는 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). 산자중은 8.00~14.35g으로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 유의하게 높아져 톱밥 40% 혼합구가 가장 높았다($P<0.05$). 지렁이 분립생산은 톱밥 혼합 수준이 높을수록 낮게 나타났으며 소화량은 이와는 반대로 톱밥 혼합 수준이 높을수록 유의하게 높게 나타났다.

[논문접수일 : 2005. 9. 19. 최종논문접수일 : 2005. 12. 5.]

참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 2002. 비료공정규격 개정 농촌진흥청 고시 제2002-23호.
2. 이주삼·정재춘·조익환. 1992. 제지 sludge와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향, 한국폐기물학회지 9(2) : 19-26.

3. 이주삼·김성진·조고영. 1993. Vermicomposting에 의한 우분의 처리(1), 사육 밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향, 한국유기성폐기물자원화협의회학회지 1(2) : 259-266.
4. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 -떡이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향-. 축산시설환경 1(1) : 65-75.
5. 전하준·조익환. 1995. 지렁이 분립의 혼합상토가 고추유묘의 생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 4(1) : 75-84.
6. 조익환·이주삼·전하준. 1996. Vermicomposting에 의한 유기성 폐기물의 처리. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 5(1) : 125-135.
7. 토양화학분석법. 1988. 농촌진흥청 농업기술연구소
8. 황보순·조익환·손장호. 2003. 돈분의 퇴비화 과정 중 이화학적 성상 변화가 지렁이 생존에 미치는 영향. 한국유기농업학회. 하반기 학술대회 89-102.
9. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
10. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. Earthworms in waste and environmental management. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands. pp. 21-31.
11. EPA. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-30-033, Aug. 1980
12. Fostage, O. T. and Babb, M. R. 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*, J. Dairy Sci., 55. 870-872.
13. Hilton, J. W. 1983. Potential of free dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. Aquaculture 32 : 277-283.
14. Lee Valley EHS. 1983. Bedding plants, compost additives(GP38/09235). MAFF/ADAS Reference Booklet 236. Protected Crops Ornamentals pp. 3~4
15. Lo, K. V., & Liao, A. K. 1993. Composting of separated solid swine waste. J. Agri. Engin Res., 54, 307~317.
16. Nahm, K. H. 1992. Practical guide to feed, forage and water analysis(English Edition). Yoo Han Pub. Co., Seoul, South Korea.
17. Neuhauser, E. F., Kaplan, D. L., Malecki, M. B. and Harteinstein, R. 1984. Material supporting weight gain by the earthworm *eisenia foetida* in waste conversion system
18. SAS. 2002. Statistical Analysis System Ver., 6.12. SAS Institute Inc., Cary, NC.
19. Schechtner, G., Tuney, H., Arnold G. H. and Keuning, J. A. 1980. Positive and negative effects of cattle manure on grassland with special reference to high rates of application.

- Proc. Int. Symp. Eur. Grassland Fed., on the role of nitrogen in intensive grassland production. Pudoc, Wageningen. pp. 77-93.
20. Syers, J. K. A., Sharpley, N. and Keeney, D., R. 1979. Cycling of nitrogen by surface casting earthworm in a pasture ecosystem. *Soil Bio. and Biochem.* 11: 181~185.
 21. University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal Refuse by composting. *Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.*