

우분에 왕겨 혼합수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향*

전 하 준** · 황 보 순*** · 조 익 환***

Effects of Mixture Ratios of Cow Manure and Rice Hull on the Growth of Earthworm (*Eisenia Foetida*) and Cast Production

Jun, Ha-Joon · Hwangbo, Soon · Jo, Ik-Hwan

This study was conducted to develop efficient vermicomposting using of different mixture ratios of cow manure and rice hull 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 20.43~31.16 and it increased according to the higher proportion of rice hull, and survival of earthworm was 97.6~98.4%. Number of young worms were significantly higher in 10~40% addition of rice hull(number of 824~844) than number of 769 of real cow manure treatment($P<0.05$). Fresh weight of young worms was 8.00~11.8g and it was significantly higher in 40% addition of rice hull than for other treatments($P<0.05$). The cast production of earthworm was significantly lower in the 40% addition of rice hull than for other treatments($P<0.05$). But digested matters were showed in the tendency of becoming higher in the 40% addition of rice hull than in 10~30% addition of that. C/N ratio of worm cast was significantly higher in 40% addition of rice hull than for other treatments($P<0.05$). Heavy metal concentrations of worm cast were showed in the tendency of becoming lower in the 40% addition of rice hull than in 10~30% addition of that.

Key words : *vermicomposting, cow manure, rice hull, earthworm, cast*

* 본 연구는 대구대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

** 대표저자, 대구대학교 생명환경대학

*** 대구대학교 생명환경대학

I. 서 론

경제 발전으로 국민소득수준의 향상과 식생활 개선에 따른 축산물의 수요 증가로 가축의 사육 두수의 증가와 더불어 축산농가의 형태도 기업화 및 집단화 되면서 가축 분뇨의 발생량이 급격히 증가하고 있어 가축 분뇨의 처리에 대한 관심이 커지고 있다.

최근 주목받고 있는 가축분의 처리방법은 가축분을 지렁이 먹이로 이용하는 생물학적 처리 방법인 vermicomposting으로, 이는 가축분을 급속히 안정화 시킬 수 있고, 악취와 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 경우 지렁이 먹이로는 부적절하다. 그러므로 가축분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 bulking agent 등을 첨가하여 가축분의 수분 흡수와 공극 확보 및 이화학적 성상의 개선이 필요하다.

한편 국내에서 효율적인 vermicomposting을 위한 가축분의 이화학적 성상 개선에 대한 연구는 활발히 수행되고 있진 않지만, 가축분에 톱밥 등과 같은 bulking agent 등을 첨가할 경우 이화학적 성상이 개선되어 지렁이의 생존율과 증식이 향상되고 지렁이 분립의 생산량도 높아진다고 보고한 바가 있다(황보와 조, 2005)

따라서 본 연구는 가축분의 퇴비화에 일반적으로 이용되고 있는 왕겨를 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 실험에서는 공시 지렁이로 엽토종인 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다. 공시시료는 대구대학교 부속 농장에서 사육된 비육종인 암소의 깔짚과 뇨가 혼합되지 않은 순수 우분을 사용하였고, 왕겨는 대구대학교 부속농장에서 수확한 벼를 탈곡과 도정하는 과정에서 발생된 것을 이용하였다. 우분과 왕겨의 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 충전 한 후 생체중이 유사한 지렁이 25마리를 사육상자에 방사하여 처리당 5반복으로 임의 배치하여 70일간 사육하였다.

조사내용은 생존율, 증체량, 난포수, 난포중, 산자수 및 산자중을 조사한 후 사육상자내

의 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 rice hull before the experiment.

Items 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
CRH10	70.2	29.8	63.10	36.90	1.36	25.78	7.64	0.60
CRH20	70.6	29.4	65.73	34.27	1.26	28.98	7.59	0.59
CRH30	68.6	31.4	66.19	33.81	1.23	29.90	7.48	0.45
CRH40	71.0	29.0	68.42	31.58	1.22	31.16	7.46	0.27

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 40%

²EC : 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, 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 모든 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. 결과 및 고찰

1. 지렁이 생육에 미치는 영향

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

실험기간 중의 생존율(SR)은 혼합비율에 따라 97.6~98.4%로 혼합수준에 따른 유의성은 나타나지 않았다.

실험 개시시의 평균 생체중은 200~224mg으로 혼합수준에 따른 유의한 차이가 인정되지 않았으나 실험 종료 시의 평균 생체중은 234~249mg으로 왕겨의 혼합수준이 높을수록 높은 경향이 나타났다. 또한 실험 기간 중의 증체량(IR)도 왕겨의 혼합수준이 높을수록 높은 경향이였다.

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

Items 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±0.014	0.010±0.050
CRH10	97.6±3.58	0.224±0.015	0.241±0.018	0.010±0.010
CRH20	98.4±2.19	0.219±0.023	0.234±0.008	0.009±0.017
CRH30	98.4±2.19	0.217±0.015	0.249±0.014	0.019±0.004
CRH40	98.4±2.19	0.217±0.021	0.249±0.023	0.018±0.004

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 40%

²IR : Increasing rate of adult worms

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

지렁이의 생존과 증식에 있어서 중요하게 작용하는 요인은 지렁이 먹이의 이화학적 성상으로, 이화학적 성상에서도 pH와 탄질율이 중요한 요인으로 작용하고 있다(Neuhauser 등 1984; 황보 등 2003). 일반적으로 지렁이 먹이로 알맞은 pH는 5.0~9.0(Edwards, 1988)이며 탄질율은 25전후(이, 1995)와 15~30의 범위(EPA, 1980)가 적정수준으로 알려져 있는데, 본 실험에서 지렁이 먹이의 pH는 7.46~7.71의 범위로 이들 적정수준에 속하였고 먹이의 탄질율

도 20.43~31.16으로 적정 수준이었다(Table 1).

이러한 먹이조건에서 실시되었던 본 시험기간 동안 지렁이의 생존율(SR)은 97.6~98.4%로 모든 처리구에서 높게 나타나, 지렁이 먹이의 이화학적 성상이 지렁이 생존에 중요한 요인임을 입증하고 있다. 또한, 단위 시간 동안의 증체량(IR)은 순수 우분구(0.010mg) 보다 왕겨 혼합구에서 (0.009~0.019mg) 높은 경향으로 나타나, 우분에 톱밥을 혼합할 때 증체량이 높았다는 보고와 일치하며(황보와 조, 2005), 이는 왕겨의 혼합이 지렁이 먹이의 물리적 성상을 향상시켜 지렁이의 생육을 촉진시킨 결과라 사료된다.

2. 지렁이 증식에 미치는 영향

우분에 왕겨 혼합수준이 지렁이의 산자수, 산자중, 난자수 및 난중에 미치는 영향은 Table 3과 같다.

산자수(NY)는 왕겨 혼합구에서 824~844마리로 순수 우분구의 769마리 보다 유의하게 많았으며 산자중(WY)도 왕겨 혼합수준이 높을수록 높게 나타나 순수 우분구 보다 왕겨 20~40% 혼합구가 10.87~11.80g으로 유의하게 높았다(P<0.05).

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

Items Treatments ¹	Young earthworms		Cocoons	
	Number	Weight(g)	Number	Weight(g)
CM	769.0±32.97b	8.00±0.80c	7.0±1.22a	0.070±0.012a
CRH10	824.0±15.60a	8.72±0.28c	3.8±2.39b	0.038±0.024b
CRH20	833.4±21.70a	10.87±0.76b	5.4±1.14ab	0.052±0.011ab
CRH30	836.0±32.08a	11.01±0.35ab	4.4±1.34b	0.046±0.011b
CRH40	844.6±22.40a	11.80±0.71a	3.6±1.52b	0.036±0.015b

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 40%

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

난포수(NC)와 난포중(WC)에서는 왕겨 혼합구가 각각 3.6~5.4개와 38~52mg의 범위로 순수 우분구의 각각 7개와 70mg 보다는 낮은 경향이었다.

본 시험에서 왕겨혼합 우분에서의 지렁이 산자수는 824~844마리로 나타나, 톱밥혼합 우

분에서의 산자수가 843~927마리였다는 황보와 조(2005)의 보고와 비교시, 다소 적은 산자수를 보였지만 우분에 bulking agent 혼합수준이 높을 때 산자수가 증가한다는 경향과는 일치하였다.

이와 같은 결과는 먹이 조건이 좋을 경우에는 증체속도 보다 증식효율이 향상되고, 먹이 조건이 나쁠 경우에는 증식효율은 낮으나 증체속도는 빨라진다고 한 이 등(1993)의 보고와 비교할 경우, 본 실험에서도 왕겨혼합구가 순수 우분구 보다 유의하게 지렁이의 증식이 높았던 것은 먹이조건이 향상되었기 때문이라고 사료된다.

3. 지렁이 분립 생산에 미치는 영향

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

지렁이 분립 생산량(CW)은 왕겨 혼합구가 99.2~189.2g의 범위로 왕겨 혼합수준이 높을수록 유의하게 낮아져 왕겨 40% 혼합구가 가장 낮았다($P<0.05$).

먹이의 소화량(DM)은 순수 우분구가 93.8g, 왕겨 혼합구가 103.8~112.6g의 범위로 왕겨 혼합비율이 높을수록 소화량이 높게 나타났으나 유의성은 나타나지 않았다.

먹이의 잔식량(RM)은 순수 우분구가 175.2g으로 가장 높았고 왕겨 혼합구는 127.2~160g의 범위로 왕겨 혼합구간에서는 왕겨 혼합수준이 높을수록 높게 나타났다($P<0.05$).

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

Treatments ¹	Items	CW	DM	RM
CM		163.0±10.4ab	93.8±2.0	175.2±9.8a
CRH10		189.2±6.8a	104.2±10.9	127.2±23.5c
CRH20		170.6±22.3ab	103.8±30.5	133.8±15.2bc
CRH30		149.6±8.1b	107.8±11.7	160.0±24.4ab
CRH40		99.2±46.5c	112.6±54.7	153.6±28.6abc

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 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($P<0.05$).

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).

하지만, 본 시험에서 왕겨혼합 수준이 높을수록 양호한 먹이 조건과 함께 증식 효율은 높아졌으나, 분립생산량은 유의하게 낮아지고 먹이의 잔식량은 이와는 반대로 높아지는 경향을 나타내었다. 이는 먹이의 소화량에서도 나타난 바와 같이 먹이의 섭취량 저하 보다는 왕겨의 내외피가 분해되기 어려운 구조로 치밀하게 피복되어 퇴비화에 따른 부식과 지렁이에 의한 섭취량이 낮았기 때문이며 분해되지 않은 왕겨는 bulking agent로써 재활용의 가능성이 있다고 사료된다.

4. 지렁이 분립의 화학적 조성

우분에 왕겨 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 52.3~59.60과 29~33.16%의 범위로 왕겨 혼합수준이 높을수록 높아져 왕겨 40% 혼합구가 가장 높았고 순수 우분구가 가장 낮았다($P < 0.05$).

총 질소(TN) 함량은 1.36~1.53%의 범위로 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮은 경향이 나타났다. 탄질율(C/N)은 19.20~24.41%의 범위로 왕겨 혼합수준이 높을수록 높아져 왕겨 40% 혼합

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

Items Treatments	Organic matter(%)	Total carbon (%)	Total nitrogen (%)	C/N ratio	pH	EC ² (dS·m ⁻¹)
CM	52.30±2.9b	29.00±2.20b	1.51±0.02	19.20±1.19b	7.28±0.08a	0.843±0.139a
CRH10	52.80±1.0b	29.30±0.95ab	1.53±0.10	19.25±1.79b	6.99±0.05b	0.646±0.040b
CRH20	54.75±2.2ab	30.41±2.67ab	1.51±0.17	20.28±2.50b	6.98±0.06b	0.614±0.023b
CRH30	56.30±1.8ab	31.26±2.58ab	1.48±0.08	21.11±0.50b	6.93±0.03b	0.563±0.044b
CRH40	59.60±4.0a	33.16±0.91a	1.36±0.05	24.41±1.27a	6.74±0.05c	0.552±0.035b

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 40%

²EC : Electrolytic conductivity

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

구가 24.41%로 다른 구보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

pH와 전기전도도는 각각 6.74~7.28과 $0.552\sim 0.843\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 범위로 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮아지는 경향을 보였으며 순수 우분구는 각각 7.28과 $0.843\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 으로 유의하게 높았다($P<0.05$).

Vermicomposting에 의해 생산된 지렁이 분립은 지렁이 생체 내 소화과정에서 미생물의 작용으로 먹이의 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 52.3~59.6%이며, 전 질소 함량은 1.36~1.53%, 탄질율은 19.2~24.41%의 범위를 나타내어 비료공정규격의 부산물 비료 중 퇴비의 조건에 모두 충족하였다(농촌진흥청, 2002).

5. 지렁이 분립의 중금속 함량

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

As함량은 왕겨 혼합구가 0~8.6ppm으로 순수 우분구의 36.55ppm 보다 유의하게 낮았고($P<0.05$), Cd 함량은 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮아졌다

Cr, Cu 및 Pb 함량은 왕겨 혼합구가 각각 9.65~18.50, 5.35~17.55 및 2.50~16.25ppm으로 순

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

Items Treatments ¹	Heavy metal(ppm)				
	As	Cd	Cr	Cu	Pb
CM	36.55±0.77a	1.45±0.21b	19.40±1.27	16.40±1.56	13.25±3.75
CRH10	8.60±1.70b	3.40±0.57a	18.50±2.82	17.55±2.76	16.25±22.98
CRH20	3.45±0.91c	1.30±0.28b	16.90±16.83	14.50±9.90	7.50±10.61
CRH30	2.70±0.42c	0.80±0.14b	17.75±3.88	9.05±1.62	13.75±5.30
CRH40	0.00±0.00d	0.70±0.28b	9.65±4.73	5.35±2.61	2.50±3.53

¹CM : Cow manure 100%,

CRH10 : Cow manure 90%+rice hull 10%, CRH20 : Cow manure 80%+rice hull 20%,

CRH30 : Cow manure 70%+rice hull 30%, CRH40 : Cow manure 60%+rice hull 40%

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

수 우분구의 19.4, 16.4와 13.25ppm 보다 낮은 경향이었으며 왕겨 혼합구에서도 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮아지는 경향이였다.

지렁이 분립은 토양개량제나 유기질 비료 형태로 토양에 환원되므로 작물의 재배와 토양생태계의 보전을 위하여 지렁이 분립의 안전성 평가가 우선되어야 한다. 우리나라 비료 공정규격의 부산물 비료 중 퇴비 내 함유할 수 있는 유해성분의 최대량은 As 50ppm, Cd 5ppm, Cr 300ppm, Hg 2ppm, Cu 300ppm, Pb 150ppm으로 규정되어 있는데, 본 실험에서 생산된 지렁이 분립은 모두 허용치를 넘지 않은 것으로 나타나 토양 개량제와 유기질 비료 자원으로써 안전성이 충분히 확보되었다고 사료된다.

이상의 결과에서 볼 때, 왕겨 혼합수준을 달리한 우분을 지렁이 먹이로 이용하였을 때 왕겨 혼합수준이 높을수록 지렁이의 생육과 증식이 향상되어 우분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다. 또한 지렁이가 배설한 분립은 유기질 비료 자원으로 활용되어 지속가능한 친환경 농업을 가능케 하여 환경과 생태계 보전에 크게 기여할 것으로 사료된다.

IV. 적 요

본 실험에서는 우분과 왕겨의 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 20.43~31.16으로 왕겨 혼합수준이 증가함에 따라 탄질비도 높아졌으며 실험기간 동안 지렁이의 생존율은 97.6~98.4%로 나타났다. 산자수는 왕겨혼합구가 824~844마리로 순수 우분구의 769마리보다는 유의하게 높게 나타났다($P<0.05$). 산자중은 8.00~11.80g으로 왕겨 혼합수준이 높을수록 유의하게 높아져 왕겨 40% 혼합구가 가장 높았다($P<0.05$). 지렁이 분립생산은 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮게 나타났으며 소화량은 이와는 반대로 왕겨 혼합수준이 높을수록 높은 경향이였다. 분립의 탄질율은 왕겨 혼합수준이 높을수록 높아져 왕겨 40% 혼합구가 다른 구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 중금속 함량은 왕겨 혼합수준이 높을수록 낮아지는 경향이였다.

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 - 먹이의 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. 2005. 우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 13(4): 423-433.
9. 황보순·조익환·손장호. 2003. 돈분의 퇴비화 과정 중 이화학적 성상 변화가 지렁이 생존에 미치는 영향. 한국유기농업학회. 하반기 학술대회 89-102.
10. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
11. 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.
12. EPA. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-80-033, Aug. 1980.
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. 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.
20. University of california at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal Refuse by composting. Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.