

## 돈분에 볏짚 혼합 수준이 퇴비화 과정중 이화학적 성상 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향\*

황보순\* · 조익환\*\* · 손장호\*\*\*

### Effects of Mixing Ratios of Swine Manure and Rice Straw on Physico-Chemical Characteristics and Earthworm(*Eisenia foetida*) Survival

Hwangbo, Soon\* · Jo, Ik-Hwan\*\* · Son, Jang-Ho\*\*\*

This study was conducted to investigate the effect of different ratios of rice straw to swine manure as an earthworm feed on the change of physico-chemical characteristics and earthworm viability during composting, and further to provide the basic information for an efficient vermicomposting using the manure of livestock. Experimental earthworm used in this study was *Eisenia foetida* and the ratio of swine manure and rice straw was determined to 100:0(SM), 90:10(SRS10), 80:20(SRS20), 70:30(SRS30) and 60:40(SRS40) on the basis of volume. The results are summarized as follows. Earthworm appeared after 8 week of aging period, and it was possible for the earthworm to survive in all the treatments. C/N ratio was significantly higher ( $P<0.05$ ) in the treatments of rice straw mixture (SRS30 and SRS40) than swine manure alone (SM treatment). Appropriate C/N ratio for earthworm survival was the range of 10.43 to 11.16. During the period of aging, pH value and electrolyticconductivity (EC) were the highest in the treatment of swine manure alone. However, as the inclusion of rice straw was increased, pH value and EC showed a decreasing tendency. Appropriate pH value and EC for earthworm survival were 7.7 to 7.8, and 2.72 to 4.59mS/cm, respectively. The results from this study indicated that mixing swine manure with rice straw more improved more physico-chemical environment for earthworm growth in comparison with swine manure alone, and rice straw showed the sufficient possibility as a bulking agent for an efficient vermicomposting of swine manure.

Key words : *vermicomposting, earthworm, swine manure, ph, Ec, C/N ratio*

\* 대표저자 : 대구대학교 동물자원학과

\*\* 교신저자 : 대구대학교 동물자원학과 교수

\*\*\* 대구교육대학 실과교육과 교수

## I. 서 론

최근 육류소비 증가로 돼지 사육두수가 1997년 7,064천두에서 2007년 9월 현재 9,659천두로 증가되었고(농림부, 2007), 사육규모도 전업 또는 집단화로 인해 돈분뇨가 다량으로 발생되고 있어 환경·사회적 문제가 심각하게 대두되고 있다.

축산분뇨의 일반적인 처리 방법은 퇴적, 발효 또는 저류조에 일정기간 저류 후 유기질 비료로 경작지에 살포하는 것이 일반적인 방법이나(Schechtner 등, 1980), 이는 많은 노력과 시간이 필요하며 발효가 충분히 이루어지지 않았을 경우 악취가 심하고 취급하기가 어려우며, 가축분에 함유된 질소가 빗물에 씻겨 하천과 지하수의 오염원이 되는 등의 여러 가지 문제점이 발생된다(Frost 등, 1990).

또한, 가축분의 처리방법으로 사료화(손, 2005; McCaskey 등, 1994), 액비화(이, 2001), 혐기성 Biogas화(Sanchez 등, 2001) 등 많은 연구가 진행되고 있지만, 최근에 주목받고 있는 처리방법은 가축분을 지렁이의 먹이로 이용하는 vermicomposting에 의한 처리방법으로, 이 친환경적인 처리 방법은 2차 공해의 발생이 없고 냄새와 해충의 발생 및 병원성 미생물을 감소시킬 뿐만이 아니라(조 등, 1996; Loehr, 1985) 처리과정 중에 생산되는 지렁이는 가축의 동물성 사료원으로 이용가치가 높으며 분립 또한 유기/친환경 자재로써 토양 개량제와 상토의 이용이 가능하다(전과 조, 1995; Hilton, 1983).

그러나 지렁이는 먹이를 자체적으로 소화하거나 양분을 분해, 흡수하는 소화 기능이 떨어지기 때문에 생가축분을 지렁이 먹이로 공급하였을 경우, 성장하지 못하고 사멸하는 문제점이 발생되므로 가축분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 적당기간의 부숙과정이 요구된다(Curry, 1976; Hartenstein 등, 1979).

따라서 본 연구는 가축의 퇴비화에 일반적으로 이용되는 볏짚을 수준별로 돈분과 혼합한 다음 부숙기간 중의 이화학적 성장 변화가 지렁이 생존에 미치는 영향을 조사함으로써 vermicomposting을 이용한 가축분의 친환경적 처리에 기초자료로 이용하고자 실시되었다.

## II. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 공시 지렁이는 우리나라에서 자생하는 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였으며, 지렁이 먹이는 돈분과 함께 볏짚을 이용하였다. 돈분과 볏짚의 혼합은 부피 대 부피의 비를 변화시킨 5가지(돈분 : 볏짚 = 100:0(SM), 90:10(SRS10), 80:20(SRS20), 70:30(SRS30), 60:40(SRS40))로 혼합하였다.

혼합된 지렁이 먹이는 수분을 65±5% 유지하면서 9주 동안 일주일에 3~4회 교반을 시켰으며 1주일 간격으로 시료채취 하여 분석에 사용하였다.

pH는 볏짚 혼합 돈분과 증류수의 비율 1 : 5로 하여 30분간 진탕한 후 토양화학분석법(농촌진흥청, 1988)에 준해 pH Meter로 측정하였으며, 전기 전도도(EC, Electrolytic conductivity)는 EC Meter를 이용하였고, 전질소(TN, total nitrogen) 함량은 Kjeldahl법(A.O.A.C. 1990), 총탄소(TC, total carbon) 함량은 (100-ash%)/1.8의 공식에 의한 California Univ., Berkeley method (1953)의 방법을 사용하였다.

지렁이의 생존성 실험은 1주일 단위로 플라스틱 용기에 볏짚을 수준별로 혼합한 돈분 200g과 지렁이 10마리씩 3반복으로 하여 투입한 다음 1주 경과 후 지렁이의 생존과 탈출 여부를 확인하였다.

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

실험에 이용된 돈분 및 볏짚의 이화학적 성상은 Table 1과 같다.

Table 1. The physico-chemical characteristics of swine manure and rice straw

	Swine manure	Rice straw
Moisture(%)	71.29	10.00
Total solids(TS, %)	28.71	90.00
Volatile solid(VS, %)	81.43	85.50
Fixed solid(FS, %)	18.57	14.50
Total Nitrogen(TN, %)	2.24	0.60
C/N ratio	20.47	79.17
pH	8.13	7.20
Ec(mS/cm)	4.07	-
Bulk density(kg/L)	0.86	0.06

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 부숙 경과에 따른 지렁이의 생존

볶짚을 수준별로 혼합한 돈분을 1주 간격으로 지렁이 생존 여부를 관찰한 입식 실험의 결과는 Table 2와 같다.

초기 부숙 과정에서는 모든구에서 지렁이가 생존하지 못하였으나, 부숙 8주부터 지렁이

가 50~70%의 생존하기 시작하여 9주차에는 96.7~100%의 생존율을 보였다.

Table 2. Survival rate of earthworm(*Eisenia foetida*) by feeding swine manure during aging period

Treatments <sup>1</sup>	Weeks of aging period(%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SM	0	0	0	0	0	0	0	66.7 ab	96.7
SRS10	0	0	0	0	0	0	0	70.0 a	100.0
SRS20	0	0	0	0	0	0	0	50.0 b	96.7
SRS30	0	0	0	0	0	0	0	70.0 a	100.0
SRS40	0	0	0	0	0	0	0	60.0 ab	100.0
SEM2	0	0	0	0	0	0	0	9.31	3.65

<sup>1</sup> SM : Swine manure 100%,

SRS10 : Swine manure 90%+rice straw 10%, SRS20 : Swine manure 80%+rice straw 20%

SRS30 : Swine manure 70%+rice straw 30%, SRS40 : Swine manure 60%+rice straw 40%

<sup>2</sup> Standard error of the mean

<sup>a-b</sup> Mean in the same columns with different superscripts differ (P<0.05).

2. 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화와 지렁이의 생존에 미치는 영향

1) 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량의 변화

볏짚을 수준별로 혼합한 돈분의 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량은 Fig. 1과 같다. TN

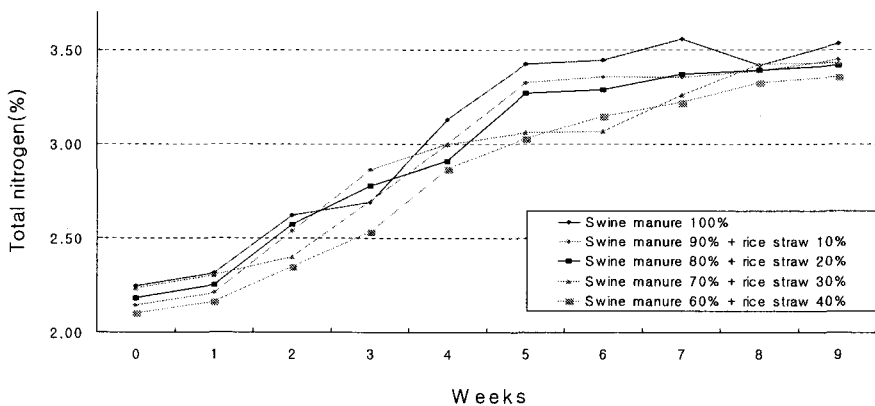


Fig. 1. Total nitrogen according to mixture ratios of swine manure and rice straw

함량은 부숙 전체 기간에 있어서 볏짚을 가장 많이 혼합한(40%) SRS40구가 가장 낮았고 볏짚 혼합 비율이 낮을수록 전 질소 함량이 높아져서 볏짚을 혼합하지 않은 순수 돈분구(SM구)가 가장 높았다. 부숙 기간별로는 초기 0~5주까지 전질소 함량의 급격한 감소를 보였으며 그 이후로는 완만한 감소를 보였다.

지렁이가 생존하기 시작한 8주차의 전 질소 함량은 순수 돈분구가 3.42%, 볏짚 혼합구가 3.32~3.42%로 나타났다.

2) 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC)함량의 변화

볶짚을 수준별로 혼합한 돈분의 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC) 함량의 변화는 Fig. 2와 같다.

부숙기간 동안 볏짚 혼합 수준이 높을수록 총 탄소 함량이 높은 경향을 나타내어 전 질소(TN) 함량과는 반대되는 경향을 나타냈으며, 부숙이 경과함에 따라 총탄소 함량은 점차 감소되어 마지막 주인 9주에서는 순수 돈분구가 35.93%로 볏짚 첨가구 보다 낮은 함량을 나타내었다.

지렁이가 생존하기 시작한 8주차의 총 탄소 함량은 순수 돈분구가 35.62%, 볏짚 혼합구가 36.01~37.10%로 나타났다.

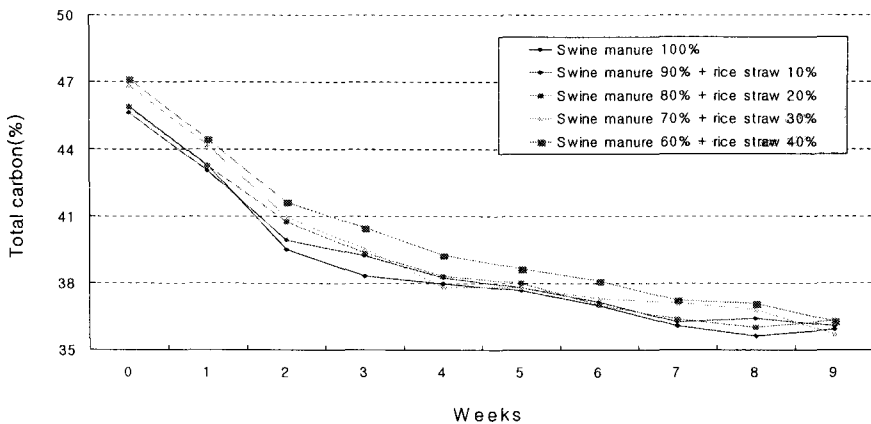


Fig. 2. Total carbon according to mixture ratios of swine manure and rice straw

3) 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

볶짚 수준별로 혼합한 돈분의 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화는 Table 3과 같다. 볏짚 혼합시(0주차) 순수 돈분구와 혼합 돈분구의 탄질비는 20.47~22.44%의 수준이었으며 부숙이 진행함에 따라 점차 낮아졌고, 처리구별 탄질비는 볏짚을 30~40% 혼합한 구(SRS30, SRS40)가 부숙 2~7주간에 순수 돈분구 보다 유의하게 높았다(P<0.05).

또한 지렁이가 생존하기 시작한 8주차의 탄질비는 10.43~11.16으로 나타났다.

Table 3. C/N ratio according to mixture ratios of swine manure and rice straw

Aging period (weeks)	Treatments <sup>1</sup>					SEM <sup>2</sup>
	SM	SRS10	SRS20	SRS30	SRS40	
0	20.47 A	21.31 A	21.02 A	20.99 A	22.44 A	2.17
1	19.66 AB	19.53 B	19.24 B	19.21 A	20.53 B	2.75
2	15.06 b BC	15.74 b C	15.83 b C	17.07 a B	17.75 a C	0.36
3	14.24 ab C	13.71 b D	14.16 ab D	14.65 ab C	16.01 a D	0.70
4	12.14 c C	12.75 bc DE	13.17 ab D	12.62 bc D	13.69 a E	0.29
5	11.02 c C	11.37 bc EF	11.63 b E	12.35 a DE	12.76 a EF	0.20
6	10.74 b C	11.07 b F	11.27 b E	12.16 a DE	12.11 a GF	0.22
7	10.16 c C	10.82 bc F	10.80 bc E	11.40 ab DE	11.57 a GF	0.25
8	10.43 C	10.75 F	10.64 E	10.76 DE	11.16 G	0.34
9	10.19 C	10.47 F	10.64 E	10.41 E	10.82 G	0.28
SEM <sup>2</sup>	2.17	0.65	0.54	0.89	0.67	

<sup>1</sup> SM : Swine manure 100%,

SRS10 : Swine manure 90%+rice straw 10%, SRS20 : Swine manure 80%+rice straw 20%

SRS30 : Swine manure 70%+rice straw 30%, SRS40 : Swine manure 60%+rice straw 40%

<sup>2</sup> Standard error of the mean

<sup>a-c</sup> Mean in the same rows with different superscripts differ (P<0.05)

<sup>A-G</sup> Mean in the same columns with different superscripts differ (P<0.05).

지렁이의 먹이의 성상은 먹이의 종류, 발효상태 및 미생물의 작용 등에 의해 달라지는데, 탄질비가 부, 적합 판단기준의 중요한 지표로 이용되고 있다(Fostage와 Babb, 1972).

본 실험에서 C/N비가 낮은 돈분에 유기 탄소의 함량을 높여 C/N비를 향상시키기 위해 볏짚을 수준별로 혼합하였을 때 부숙 초기 단계에서는 높은 발효열과 이화학적 성상이 지렁이의 생존에 적합하지 못하여 전 처리구에서 지렁이가 사멸하였으나 8주차부터 차츰 생존하기 시작하여 9주째에는 생존율이 96.7% 이상으로 높아졌다.

가축분이 부숙되기 위해서는 미생물이 에너지원으로 이용되는 탄소와 미생물의 증식에 필요한 단백질 구성성분인 질소의 비율이 적합해야 하는데 일반적으로 부숙 초기에 적합한 탄질비는 25~35 수준이고, 탄질비가 낮을 경우 부숙 속도를 지연시키고 악취가 발생하며 높은 탄질비는 미생물의 영양원인 질소의 부족으로 유기물 분해 및 부숙 속도가 늦어진

다고 알려져 있다(Baker 등, 1999). 본 실험에서는 볏짚을 혼합한 구가 20.99~22.44로 적정 비율보다 다소 낮았으나 볏짚 첨가로 인해 순수 돈분구의 20.47보다는 탄질비가 향상되었다(Table 3). 한편, 부숙이 진행됨에 따라 가축분숙의 유기물은 미생물 호흡을 통해 대기 중에 CO<sub>2</sub>로 배출이 되어 유기물의 감소에 직접적인 영향을 미치는데 본 실험에서도 부숙 경과에 따라 같이 총탄소(TC)의 감소를 가져왔다(Fig. 2).

가축분숙의 질소는 암모니아 가스로 소실되기도 하고 미생물에 의해 흡수되거나 NO<sup>3</sup>-N으로 전환이 되어 가축분숙에 존재하게 된다. 따라서 부숙이 진행됨에 따라 탄질비는 점차 감소하게 되는데 본 실험에서도 감소하는 결과가 나타났다. 지렁이가 생존하기 시작한 탄질비는 10.43~11.16으로 Vermicomposting에 알맞은 먹이의 탄질비 15~30의 범위(EPA, 1980)보다 낮은 것으로 나타났다.

### 3. 부숙 경과에 따른 pH의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

볏짚을 수준별로 혼합한 돈분의 부숙 경과에 따른 pH 변화는 Fig. 3과 같다.

부숙 전체 기간에 있어서 순수 돈분구가 높은 경향이었고 볏짚 혼합 수준이 높을수록 낮아지는 경향을 보였다. 부숙이 경과함에 따라 pH 값의 변화는 부숙이 진행됨에 따라 낮아지는 것으로 나타났다.

각 처리구별로 지렁이가 생존하기 시작한 8주차의 pH는 7.7~7.8이었다.

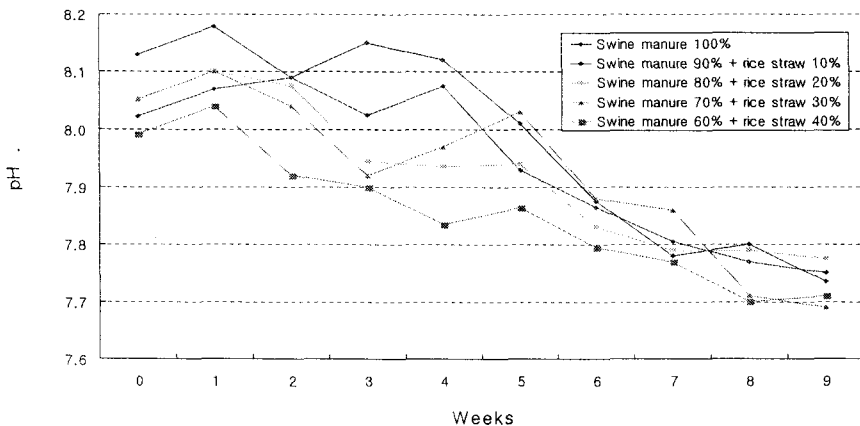


Fig. 3. pH value according to mixture ratios of swine manure and rice straw

지렁이의 먹이조건에서 pH는 중요한 요인으로 작용을 하고 있으며 지렁이의 생육을 위한 pH 조건은 지렁이 종과 연구자에 따라 약간의 차이가 있으나 일반적으로 pH 5.0~9.0이 적정 수준으로 알려져 있다(Edwards, 1988). 본 실험에서도 지렁이가 생존하기 시작한 pH가

7.7~7.8로 이러한 범위에 속하였다. 한편, 부숙 과정중 pH는 발효초기에 유기산 등의 방출로 인해 감소하다가 호기성 조건이 되면 유기산 등이 부숙에 다시 이용되거나 암모니아 등의 영향을 받아 점차 상승하고 부숙이 경과할수록 안정화 되어 pH가 7~8 정도가 된다 (Cardenas와 Wang, 1989; Inbar 등, 1990)고 보고하였는데, 본 실험에서도 볏짚을 10~30% 혼합한 구에서 이러한 경향과 함께 9주차에 pH가 7.69~7.78로 나타나 부숙이 안정화가 이루어졌다고 사료된다.

#### 4. 부숙 경과에 따른 전기 전도도(EC)의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

볏짚을 수준별로 혼합한 돈분의 부숙 경과에 따른 전기 전도도의 변화는 Fig. 4와 같다. 부숙 경과에 따른 돈분의 전기 전도도는 순수 돈분구에서는 별다른 경향이 나타나지 않았으나, 볏짚을 혼합한 돈분에서는 점차 낮아지는 경향이 나타났으며, 이러한 경향은 볏짚 혼합 수준이 높을수록 뚜렷하게 나타났다.

한편, 각 구별로 지렁이가 생존하기 시작한 8주차의 전기 전도도는 순수 돈분구가 4.59 mS/cm이었고 볏짚 혼합구는 2.72~3.52mS/cm로 나타났다.

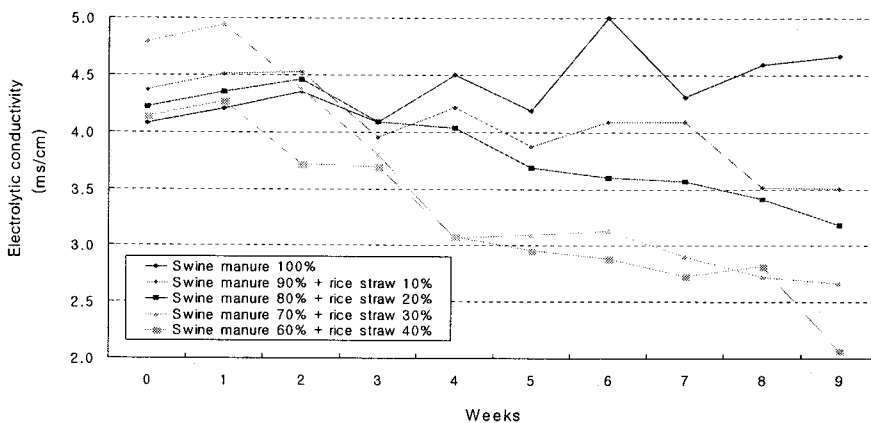


Fig. 4. EC value according to mixture ratios of swine manure and rice straw

지렁이는 체표면 호흡을 하는데 원활한 호흡작용을 위해서는 체표면에 적당한 수분이 있어야 하며 먹이에 용존염이 많을 경우 생존이 불가능하다. 따라서 전기전도도(Electrolytic conductivity)의 측정이 지렁이의 먹이조건의 부, 적합 판단기준의 지표로 이용되고 있다(최, 1992). EC는 분자가 이온화됨에 따라 증가하며 그 값은 이온의 성격에 의해 좌우되는데 부숙과정에서의 EC의 주요요인은 Cl-과 같은 여러 기타 이온 등이며 이 이온들의 조성에 따라 EC 값이 결정된다. 본 실험에서 부숙 경과에 따른 EC의 값은 부숙이 경과함에 따라 점



차 안정화되는 경향을 나타내었고, 처리구별 차이에서는 순수 돈분구(SM구) 보다는 볏짚 혼합구에서 낮은 값을 보였는데 이는 볏짚이 수분 조절제로서 돈분의 수분을 흡수하여 통기를 양호하게 하였기 때문이라고 사료된다. 그리고 지렁이가 생존하기 시작한 EC는 2.72~4.59mS/cm으로 최(1992)의 연구에서의 지렁이 생존 가능한 0.75~4.89mS/cm의 범위에 속하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 지렁이 먹이로써 돈분에 볏짚을 수준별로 혼합하여 부숙을 시켰을 경우 순수 돈분보다 이화학적 성상이 양호한 것으로 나타나 돈분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다. 그러나 다양한 가축분과 bulking agent 및 혼합비를 달리 한 실험과 이를 바탕으로 한 지렁이의 생육과 증식 실험이 필요하다고 사료된다.

#### IV. 적 요

본 연구는 돈분에 볏짚을 0(SM), 10(SRS10), 20(SRS20), 30(SRS30) 및 40(SRS40)의 수준으로 혼합하여 부숙기간별 이화학적 변화를 측정하고 이를 바탕으로 생존율을 조사하여 가축분의 효율적인 vermicomposting의 기초자료로 이용하고자 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

부숙이 경과함에 따라 지렁이가 생존하기 시작하여 8주부터 지렁이의 생존이 가능하였다. 처리구별 탄질비는 볏짚 혼합구(SRS30과 SRS40)가 순수 돈분구보다 유의하게 높았다 ( $P < 0.05$ ). 지렁이가 생존하기 시작한 8주째의 탄질비는 10.43~11.16으로 나타났다. 부숙이 경과함에 따라 pH와 전기전도도는 순수 돈분구에서 가장 높았고, 볏짚의 혼합 비율이 높을수록 pH와 전기전도도는 낮은 경향이였다. 지렁이가 생존하기 시작한 pH와 전기전도도는 각각 7.7~7.8과 2.72~4.59mS/cm으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면 지렁이 먹이로써 돈분에 볏짚을 수준별로 혼합하여 부숙을 시켰을 경우 순수 돈분보다 이화학적 성상이 양호한 것으로 나타나 돈분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다.

[논문접수일 : 2007. 11. 15. 최종논문접수일 : 2007. 12. 10.]

#### 참 고 문 헌

1. 농림부. 2007. 농림통계연보

2. 농촌진흥청 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법.
3. 손장호. 2005. 생계분을 이용한 미꾸리 양식에 관한 연구. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 13(1): 113-122.
4. 이명규. 2001. 유기성 폐기물(가축분뇨)의 액비 자원화 기술. 한국폐기물학회. 한국폐기물학회지 18(8): 41-54.
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. 최훈근. 1992. 유기성 슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육 조건에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위논문.
8. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
9. Baker, M., B. Knoop, S. Quiring, A. Beard, B. Lesikar, J. Sweeten, and R. Burns. 1999. Composting Guide Index. Prepared by the Texas Agricultural Extension Service Solid and Hazardous Waste Management Initiative Team. Chap. 1. The Decomposition Process.
10. Cardenas, R. R. and L. K. Wang. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. Biological Wastes. 27: 115-142.
11. Curry, J. P. 1976. Some effect of animal manures on earthworms in grassland. pedobiologia. Bd. 16: 425-438.
12. 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.
13. EPA. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-80-033, Aug. 1980
14. Fostage, O. T. and M. R. Babb, 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*, J. Dairy Sci., 55: 870-872.
15. Frost, J. P., R. J. Stevens, and R. J. Laughlin. 1990. Effects of separation and acidification of cattle slurry on ammonia volatilization and on the efficiency of slurry nitrogen for herbage production. England Cambridge J. Agric. Sci. 115: 49-56.
16. Hartenstein, R., Edward F. Neuhauser and David L. Kaplan. 1979. Reproductive Potential of the Earthworm *Eisenia foetida*. Oecologia(Berl.) 43: 329-340.
17. Hilton, J. W. 1983. Potential of free dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. Aquaculture 32: 277-283.

18. Inbar, Y., Y. Chen, and Y. Hadar. 1990. Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 1316-1323.
19. Loehr, R. C. 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10): 1311-1317.
20. McCaskey, T. A., Britt, S. N., Ruffin, B. G. and J. T. Eason, 1994. Performance and economic value of a poultry litter-based diet for beef stocker production. *J Anim Sci.* 72(Suppl. 1): 137.
21. Sanchez, E., R. Borja, P. Weiland, L. Travieso, and A. Martin. 2001. Effect of substrate concentration and temperature on the anaerobic digestion of piggery waste in a tropical climate, *Process Biochemistry.* 37: 483-489.
22. SAS. 2002. *Statistical Analysis System Ver., 6.12.* SAS Institute Inc., Cary, NC.
23. Schechtner, G., H. Tuney, G. H. Arnold, and J. A. Keuning, 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.
24. University of California at Berkeley. 1953. *Reclamation of municipal Refuse by composting.* Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.