

계분의 퇴비화 과정중 이화학적 성상 변화가 지렁이 생존에 미치는 영향

황보순 · 조익환
대구대학교 생명자원학부

Effects of the Utilization of Sawdust During Composting of Poultry
Manure on Physico-Chemical Characteristics and Earthworm
Survival(*Eisenia foetida*)

Soon Hwangbo, Ik-Hwan Jo
Division of Life Resources, Daegu University

목차	
ABSTRACT	IV. 고찰
I. 서론	V. 적요
II. 재료 및 방법	참고문헌
III. 결과	

ABSTRACT

This study was conducted to investigate effects of different ratios of sawdust to poultry 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 sawdust and poultry was determined to 100:0(A), 80:20(B), 70:30(C), 60:40(D) and

Corresponding author : Ik-Hwan Jo
Daegu University, 15 Naeriri, Jinryang-eup, Gyeongsan-si Gyeongbuk, 712-714 Korea,
Tel: 053-850-6725, Fax: 053-850-6729, E-mail: greunld@daegu.ac.kr

50:50(E) on the basis of volume.

The results are summarized as follows.

Earthworm appeared after 6 wk of aging period, and it was possible for the earthworm to survive in treatments of C, D and E including 30 ~ 50% of sawdust.

C/N ratio was significantly higher ($P < 0.05$) in treatments of sawdust mixture (B, C, D, and E) than poultry manure alone (A treatment). Appropriate C/N ratio for earthworm survival was the range of 16.9 to 20.7. During period of aging, pH value and electrolytic conductivity (EC) were the highest in the treatment of poultry manure alone. However, as the inclusion of sawdust was increased, pH showed decreasing tendency. Appropriate pH and EC for earthworm survival were 7.69 to 7.79, and 2.77 to 2.87mS/cm, respectively.

The results from this study indicated that the mixing of poultry manure with sawdust more improved physico-chemical environment for earthworm growth in comparison with poultry manure alone, and sawdust showed the sufficient possibility as a bulking agent for an efficient vermicomposting of poultry manure.

Key words : *vermicomposting, sawdust, earthworm, survival rate, poultry manure, ph, Ec, C/N ratio*

I. 서 론

경제성장으로 인한 육류소비 증가로 가축사육두수의 증가와 더불어 축산농의 경영형태도 차츰 기업화 및 집단화 되면서 가축분뇨의 발생량이 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이러한 가축분뇨의 처리를 위하여 물리적, 화학적 및 생물학적 연구가 많이 진행되고 있다.

일반적인 가축분의 처리는 퇴적, 발효 또는 저류조에 일정기간 저류 후 유기질 비료로 경작지에 살포하는 것이 일반적인 방법이다(22). 하지만 이는 많은 노력과 시간이 필요하며 발효가 충분히 이루어지지 않았을 경우 악취가 심하고 취급하기가 어려우며 빗물에 씻겨 하천과 지하수의 오염원이 되는 등의 여러 가지 문제점이 발생된다.

또한 가축분은 함수율이 높고 탄질비가 낮아 퇴비화에 영향을 주는 미생물의 활동이 부적당하기 때문에 가축분의 퇴비화에 있어서 수분 흡수와 공극을 확보하기 위하여 유기 탄소의 비율을 높이고 탄질비를 향상시켜 줄 수 있는 bulking agent 첨가가 일반적이다.

한편, 최근에 주목받고 있는 처리방법은 가축분을 지렁이의 먹이로 이용하는 생물학적 처리 방법인 vermicomposting에 의한 처리방법으로 이 방법은 2차 공해의 발생이 없고 냄새와 해충의 발생 및 병원성 미생물을 감소시킬 뿐만 아니라(3, 17) 처리과정 중에 생산되는 지렁이는 가축의 동물성 사료원으로 이용가치가 높으며 분립 또한 토양 개량제와 상토로서의 이용이 가능하다(2, 14).

그러나 지렁이는 먹이를 자체적으로 소화하거나 양분을 분해, 흡수하는 소화 기능이 떨어지기 때문에 생가축분을 지렁이 먹이로 공급하였을 경우, 성장하지 못하고 사멸하는 문제점이 있다. 따라서 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 적당기간의 부숙과정이 요구된다(10, 20).

따라서 본 연구에서는 가축분의 효율적인 vermicomposting을 위해서 계분에 톱밥을 수준별로 혼합한 후 부숙기간 중의 이화학적 성상을 조사하여 지렁이 먹이의 부, 적합 판단기준의 근거로 활용하기 위한 기초자료로 이용하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 2003년 3월부터 24주간 실시하였으며 공시 지렁이는 우리나라에서 자생하는 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다.

지렁이 먹이는 계분과 함께 톱밥을 이용하였다. 계분과 톱밥의 혼합은 부피 대 부피의 비를 변화시킨 5가지(계분 : 톱밥 = 100:0(A), 80:20 (B), 70:30 (C), 60:40(D), 50:50(E))로 혼합하였다.

혼합된 지렁이 먹이는 수분을 $65\pm 5\%$ 유지하면서 24주 동안 일주일에 3-4회 교반을 시켰으며 1주일 간격으로 시료채취 하여 분석에 사용하였다.

pH는 톱밥 혼합 계분과 증류수의 비를 1 : 5 로 하여 30분간 진탕한 후 토양화학분석법(5)에 준해 pH Meter로 측정하였으며, 전기 전도도(EC, Electrolytic conductivity)는 EC Meter를 이용하였고 전질소(TN, total nitrogen) 함량은 Kjeldahl법(7), 총탄소(TC, total carbon) 함량은 $(100-\text{ash}\%)/1.8$ 의 공식에 의한 California Univ., Berkeley method(23)의 방법을 사용하였다.

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

본 실험의 결과는 SAS package program(21)을 이용하였고, 처리 평균 간 유의성 검정은 Duncan's multiple range test(5% 수준)에 의하였다.

실험에 이용된 계분 및 톱밥의 이화학적 성상은 Table 1과 같다.

Table 1. The physico-chemical characteristics of poultry manure and sawdust.

	Poultry manure	Sawdust
Moisture(%)	61.4	14
Total solides(TS, %)	38.6	86
Volatile solid(VS, %)	67.25	96
Fixed solid(FS, %)	32.75	4
Total Nitrogen(TN, %)	3.64	0.14
C/N ratio	10.27	380.93
pH	8.27	4.88
Ec(μ S/cm)	7.30	-
Bulk density(kg/L)	0.74	0.26

Ⅲ. 결 과

1. 부숙 경과에 따른 지렁이의 생존

톱밥을 수준별로 혼합한 계분을 1주 간격으로 지렁이 생존 여부를 관찰한 입식 실험의 결과는 Table 2과 같다.

Table 2. The survival rate of earthworm during aging period(%).

Treatments	Aging period(weeks)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	12	16	20	24
A ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	72	100	100	100	100	100
D	0	0	0	0	0	0	82	100	100	100	100	100
E	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100

¹ A : Poultry manure 100% + sawdust 0%.

B : Poultry manure 80% + sawdust 20%, C : Poultry manure 70% + sawdust 30%.

D : Poultry manure 60% + sawdust 40%, E : Poultry manure 50% + sawdust 50%.

초기 부숙 과정에서는 모든구에서 지렁이가 생존하지 못하였으나 일정시간이 경과한 후 지렁이가 생존하는 것으로 나타났다. 즉, 톱밥을 50% 혼합한 E구에서는 6주부터 지렁이가 생존하기 시작하였고 점차적으로 톱밥을 30 및 40% 혼합한 C와 D구에서도 생존이 가능하였다. 그러나 순수 계분구와 톱밥을 가장 적게 혼합(30%)한 A와 B구에서는 24주가 경과해도 생존이 불가능하였다.

2. 부숙 경과에 따른 C/N비의 변화와 지렁이의 생존에 미치는 영향

1) 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

톱밥을 수준별로 혼합한 계분의 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량은 Fig 1과 같다. TN 함량은 부숙 전체 기간에 있어서 톱밥을 가장 많이 혼합한(50%) E구가 가장 낮았고 톱밥 혼합 비율이 낮을수록 전 질소 함량이 높아져서 톱밥을 혼합하지 않은 순수 계분구(A구)가 가장 높았다. 부숙 기간별로는 초기 0~2주까지 전질소 함량의 급격한 감소를 보였으며 그 이후로는 완만한 감소를 보였다.

지렁이가 생존하기 시작한 전 질소 함량은 톱밥을 50% 혼합한 A구가 1.80%, 톱밥을 30 및 40% 혼합한 C, D구가 각각 1.87과 1.81%부터 지렁이가 생존하기 시작하였다.

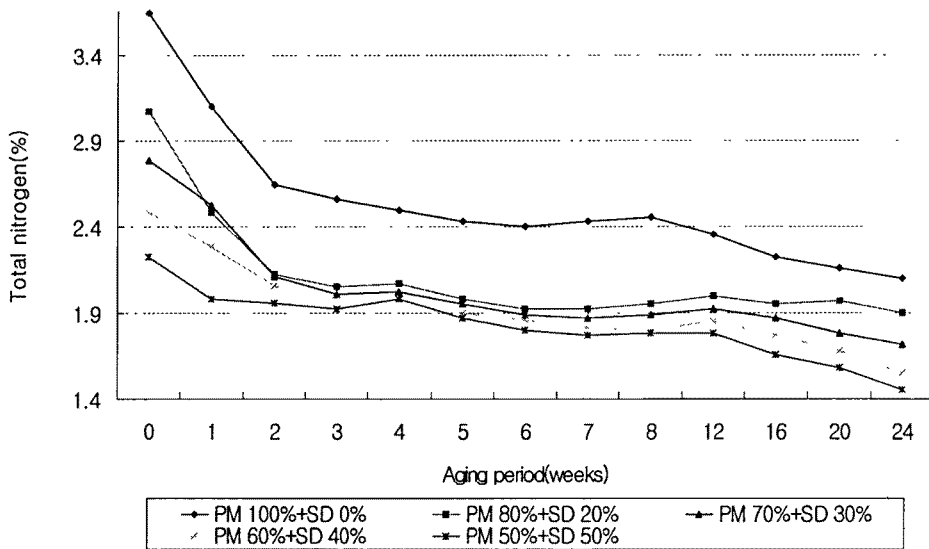


Fig. 1. The effect of aging period and varying ratios of poultry manure and sawdust on total nitrogen content (%)

2) 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC)함량의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

톱밥을 수준별로 혼합한 계분의 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC) 함량의 변

화는 Fig. 2와 같다.

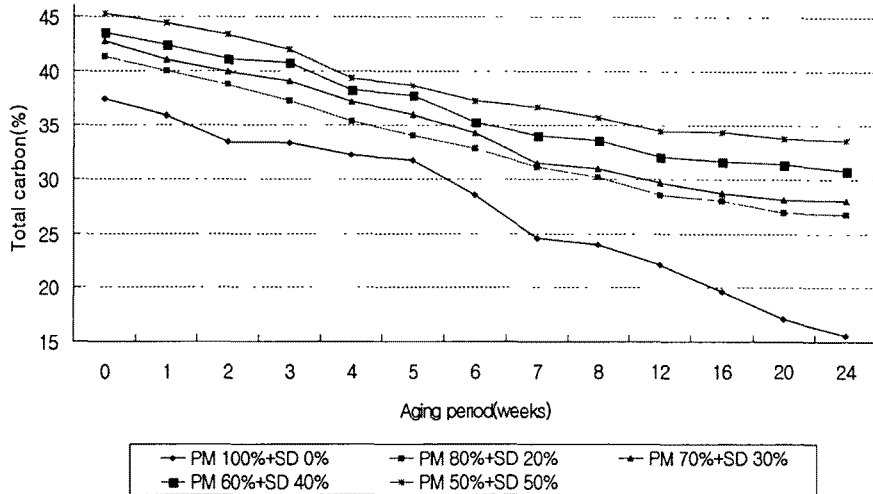


Fig. 2. The effect of aging period and varying ratios of poultry manure and sawdust on total carbon content(%)

부숙 전체 기간 동안 톱밥 혼합 수준이 높을수록 총 탄소 함량이 전기간 동안 높은 경향을 나타내어 전 질소(TN) 함량과는 반대되는 경향을 나타냈으며, 부숙이 경과함에 따라 총탄소 함량은 점차 감소되어 마지막 주인 24주에서는 순수 계분기가 15.5%로 톱밥 첨가구의 26.8~33.6% 보다는 낮은 함량을 나타내었다.

지렁이가 생존하기 시작한 총 탄소 함량은 톱밥을 30~50% 혼합한 C, D 및 E구가 31.5~37.2% 범위를 나타내었다.

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

톱밥 수준별로 혼합한 계분의 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화는 Table 3와 같다.

Table 3. The effect of aging period and varying ratios of poultry manure

and sawdust on C/N ratio.

Treatments		A ¹	B	C	D	E
weeks						
	0	10.27±0.55eBC	13.45±0.13dE	15.40±0.57cC	17.57±0.72bC	20.36±0.59aDEF
	1	11.58±0.44dAB	16.13±0.04cBC	16.31±0.64cC	18.61±0.76bBC	22.42±0.33aAB
	2	12.70±0.78cA	18.29±0.86bA	18.99±1.10bA	20.03±1.60abAB	22.12±0.30aAB
	3	13.02±0.42dA	18.17±0.49cA	19.46±0.73bcA	20.61±0.66abA	21.90±0.64aBC
	4	12.93±0.62cA	17.08±0.28bAB	18.39±0.89abA	19.03±0.41aABC	19.91±0.78aEF
Aging period	5	13.03±0.19dA	17.22±1.41cAB	18.45±0.56bcA	19.86±0.64abAB	20.67±0.23aCDE
	6	11.88±0.47dA	17.07±0.01cAB	18.14±0.04bcAB	18.99±0.73bABC	20.69±0.54aCDE
	7	10.11±0.55dBC	16.20±1.04cBC	16.85±0.84cBC	18.80±0.05bBC	20.71±0.72aCDE
	8	9.76±0.20dC	15.49±0.08cCD	16.36±0.28cC	18.67±0.03bBC	20.08±0.71aDEF
	12	9.44±1.04dCD	14.26±0.14cDE	15.47±0.78cC	17.33±0.88bC	19.35±0.15aF
	16	8.85±1.14dCDE	14.38±0.80cDE	15.37±0.54cC	17.84±0.27bC	20.70±0.48aCDE
	20	7.89±0.91eDE	13.66±0.12dE	15.81±0.60cC	18.68±0.17bBC	21.36±0.67aBCD
	24	7.41±0.81eE	14.09±0.18dDE	16.29±0.28cC	19.87±0.93bAB	23.18±0.21aA

¹ A : Poultry manure 100% + sawdust 0%,

B : Poultry manure 80% + sawdust 20%, C : Poultry manure 70% + sawdust 30%,

D : Poultry manure 60% + sawdust 40%, E : Poultry manure 50% + sawdust 50%,

^{a-e} Mean±SD in the same rows with different superscripts differ(P<0.05)

^{A-F} Mean±SD in the same columns with different superscripts differ(P<0.05).

톱밥을 혼합한 계분 및 순수 계분구의 탄질비는 0주차에서는 10.3~20.4의 수준이었으나 부숙초기 1~5주차까지는 점차 증가하여 13.0~22.4로 높아졌으나 그 이후부터는 점차 감소하는 경향을 보였다. 한편, 톱밥 30~50%인 C, D 및 E구에서는 16~20주부터 다시 증가하여 24주에는 15.4~23.2의 수준을 나타내었다. 처리구별 탄질비는 톱밥 혼합 수준이 높을수록 탄질비가 유의하게 높았다(P<0.05).

또한 지렁이가 생존하기 시작한 C, D 및 E(톱밥 30~50%)구 6~7주의 탄질비는 16.9~20.7로 나타났다.

3. 부숙 경과에 따른 pH의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

톱밥을 수준별로 혼합한 계분의 부숙 경과에 따른 pH 변화는 Fig. 3과 같다.

부숙 전체 기간에 있어서 순수 계분구가 가장 높았고 톱밥혼합 수준이 높을수록 낮아지는 경향을 보였다. 부숙이 경과함에 따라 pH 값의 변화는 초기 부숙 단계인 3주째까지는 다소 낮아지는 경향을 보였으나 이후 4~5주째에는 잠시 증가하는 경향을 보였으며 부숙 단계 후반부에는 다시 낮아져 점차 안정화되는 경향을 보였다.

각 처리구별로 지렁이가 생존하기 시작한 6~7주째의 pH는 7.69~7.79 이었다.

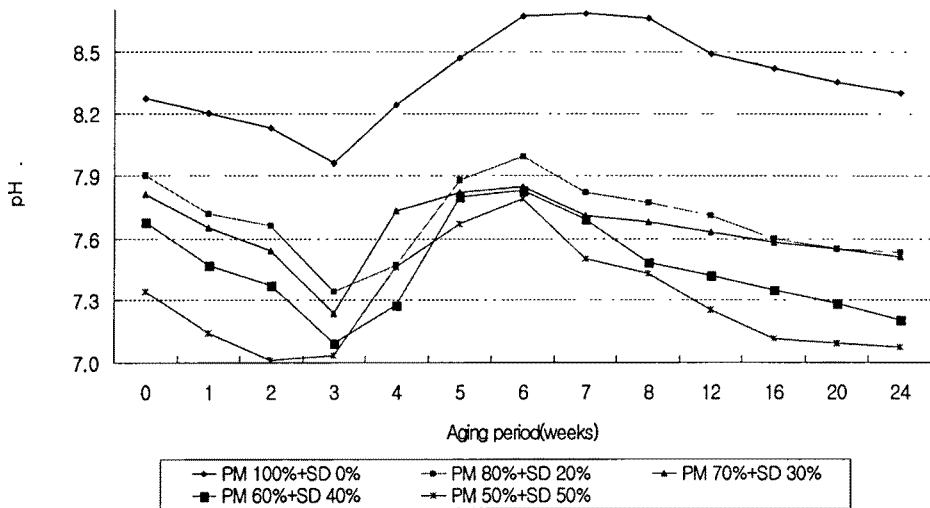


Fig. 3. The effect of aging period and varying ratios of poultry manure and sawdust on pH value.

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

톱밥을 수준별로 혼합한 계분의 부숙 경과에 따른 전기 전도도의 변화는 Fig. 4과 같다.

부숙 경과에 따른 계분의 전기 전도도는 부숙 초기인 3주까지 증가하는 경향을 보였으나 이후 점차 감소하여 안정화 되는 경향을 보였다. 처리구간 별 차이에서는 순수 계분구에서 뚜렷하게 높게 나타났으며 톱밥 혼합 수준이 높을수록 낮은 경향을 보였고 톱밥 혼합 수준별에 따른 전기 전도도의 값은 크게 차이가 나지 않았다.

한편, 각 구별로 지렁이가 생존하기 시작한 6~7주째의 전기 전도도는 톱밥 50% 혼합한 E구가 2.87mS/cm 이었고 다음으로 톱밥 30과 40%인 C와 D구가 각각 2.77과 2.85mS/cm로 나타났다.

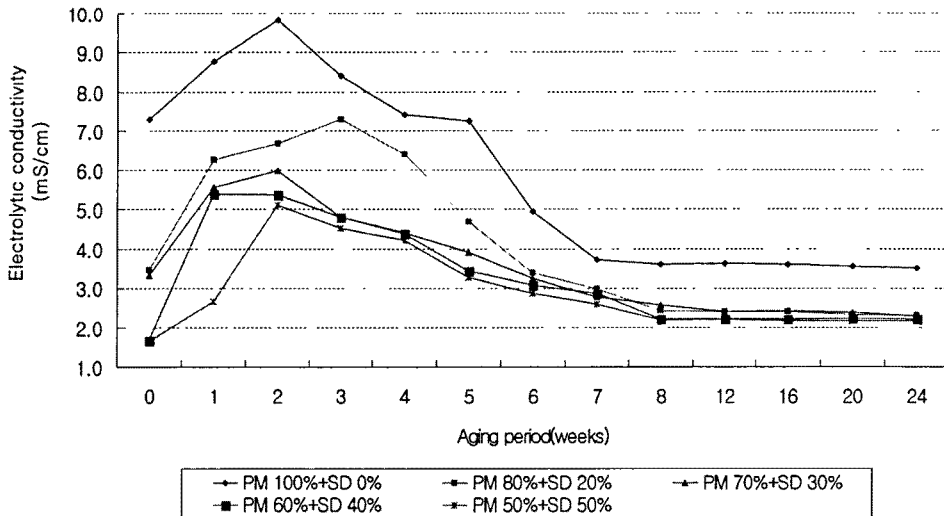


Fig 4. The effect of aging period and varying ratios of poultry manure and sawdust on EC value.

IV. 고찰

일반적으로 지렁이는 먹이를 자체적으로 소화하거나 양분을 분해, 흡수하는 소화 기능이 떨어지기 때문에 충분히 부숙 되지 않은 먹이는 직접 소화하지 못하고 사멸하기 때문에 지렁이를 이용한 vermicomposting의 효율을 높이기 위해선 먹이가 충분히 부숙 되어 소화와 함께 지렁이 생존과 성장에 적합하여야 한다(10). 지렁이의 먹이의 성상은 먹이의 종류, 발효상태 및 미

상물의 작용 등에 의해 달라지는데, C/N비, pH, Ec 등으로 부, 적합 판단기준의 지표로 이용되고 있다(6, 13, 18).

본 실험에서 C/N비가 낮은 계분에 유기 탄소의 함량을 높여 C/N비를 향상시키기 위해 톱밥을 수준별로 혼합하였을 때 부숙 초기 단계에서는 높은 발효열과 이화학적 성상이 지렁이의 생존에 적합하지 못하여 전 처리구에서 지렁이가 사멸하였으나 6주부터 톱밥을 50% 혼합한 E구부터 차츰 생존하기 시작하여 7주째에는 톱밥을 30 및 40% 혼합한 C와 D구에서도 지렁이의 생존이 가능하였다. 하지만 톱밥을 혼합하지 않은 A구와 톱밥 혼합 수준이 적은 B구(톱밥 20%)에서는 24주까지도 생존이 불가능 하였다(Table 2). 지렁이 생존이 톱밥 혼합 수준이 높은 구(톱밥 30-50%)에서 가능한 것은 유기 탄소의 공급으로 인하여 C/N비를 향상시켜 부숙을 촉진시키는 호기성 미생물 활성 증가에 도움을 준 결과로 사료된다(19, 16)

가축분이 부숙되기 위해서는 미생물이 에너지원으로 이용되는 탄소와 미생물의 증식에 필요한 단백질 구성성분인 질소의 비율이 적합해야 하는데 일반적으로 부숙 초기에 적합한 탄질비는 25~35수준이고, 탄질비가 낮을 경우 부숙 속도를 지연시키며 악취를 발생하며 높은 탄질비는 미생물의 영양원인 질소의 부족으로 유기물 분해 및 부숙 속도가 늦어진다고 알려졌다(8). 본 실험에서는 톱밥을 혼합한 구가 13.5~20.4로 적정 비율보다 다소 낮았으나 톱밥 첨가로 인해 순수 계분구의 10.2 보다는 탄질비가 향상되었다(Table 3). 한편, 부숙이 진행됨에 따라 가축분속의 유기물은 미생물 호흡을 통해 대기 중에 CO₂로 배출이 되어 유기물의 감소에 직접적인 영향을 미치는데 본 실험에서도 부숙 경과에 따라 같이 총탄소(TC)의 감소를 가져왔다(Fig. 2).

가축분속의 질소는 암모니아 가스로 손실되기도 하고 미생물에 의해 흡수되거나 NO³-N으로 전환이 되어 가축분속에 존재하게 된다. 따라서 부숙과정 동안의 탄질비는 점차 감소하게 되는데 본 실험에서는 부숙 초기에 탄질비가 높아지는 결과가 나타났다. 이는 부숙초기 탄소의 손실보다도 암모니아 가스 휘발로 인한 질소의 손실의 비율이 높았기 때문이다(Fig. 1). 부숙 후기 12주부터 순수 계분구의 C/N을 감소와는 달리 톱밥을 혼합한 구에서 C/N율이 높아지는 것은 톱밥의 탄소 손실이 둔화되기 때문으로 사료된다(Fig 2). 지렁이가 생존하기 시작한 C/N율은 16.9~20.7로 Vermicomposting에 알맞은 먹이의 탄질비 25전후(1)에 비해서는 다소 낮지만 15~30의 범위(12)에는 적

합한 것으로 나타났다.

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(11). 본 실험에서도 지렁이가 생존하기 시작한 pH가 7.69~7.79으로 이러한 범위에 속하였다(Fig. 3). 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(9, 15)고 하였으며 본 실험에서도 톱밥을 혼합한 구에서는 이러한 현상이 뚜렷하게 나타났으며 부숙이 경과함에 따라 pH가 7.07~7.53로 안정화가 이루어졌다고 사료된다(Fig. 3).

한편, 지렁이는 체표면 호흡을 하는데 원활한 호흡작용을 위해서는 체표면에 적당한 수분이 있어야 하며 먹이중에 용존염이 많을 경우 생존이 불가능하다. 따라서 전기전도도(Electrolytic conductivity)의 측정이 지렁이의 먹이조건의 부, 적합 판단기준의 지표로 이용되고 있다(4). 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 부숙초기(0-4주)에 유기물의 분해되면서 유리되는 이온들의 활성으로 증가되었으나 부숙이 경과함에 따라 점차 안정화되는 경향을 나타내었다. 처리구별 차이에서는 순수 계분구(A구) 보다는 톱밥 혼합구에서 낮은 값을 보였는데 이는 톱밥이 수분 조절제로서 계분의 수분을 흡수하여 통기를 양호하게 하였기 때문이라고 사료된다(Fig. 4). 그리고 지렁이가 생존하기 시작한 EC는 2.77~2.87mS/cm으로 최(4)의 연구에서의 지렁이 생존 가능한 0.75~4.89mS/cm의 범위에 속하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 지렁이 먹이로써 계분에 톱밥을 수준별로 혼합하여 부숙을 시켰을 경우 순수 계분보다 이화학적 성상이 양호하여 지렁이 생육이 가능한 것으로 나타나 계분의 효율적인 vermicomposting을 기대할 수 있었다. 하지만 다양한 가축분과 bulking agent 및 혼합비를 달리한 실험과 이를 바탕으로한 지렁이의 생육과 증식 실험이 필요하다고 사료되어 진다.

V.적 요

본 연구는 계분에 톱밥을 0(A), 20(B), 30(C), 40(D) 및 50(E)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 6주부터 톱밥을 50%로 혼합한 E구와 7주째부터 D와 C구(톱밥 30~40%)에서 지렁이의 생존이 가능하였다. 처리구별 탄질비는 톱밥 혼합구(B, C, D and E)가 순수 계분구 보다 유의하게 높았다. 지렁이가 생존하기 시작한 6주~7주째의 탄질비는 16.9~20.7로 나타났다. 톱밥을 수준별로 혼합한 계분의 pH 변화는 부숙이 경과함에 따라 점차 낮아지는 경향을 보였으며 지렁이가 생존하기 시작한 pH는 7.69~7.79으로 나타났다. 전기 전도도(EC)는 처리구간에서 순수 계분구가 가장 높았으며 지렁이가 생존하기 시작한 Ec는 2.77~2.87mS/cm으로 나타났다.

참고문헌

- 1) 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 - 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향 -. 축산시설환경 1(1):65~75
- 2) 전하준, 조익환. 1995. 지렁이 분립의 혼합상토가 고추유묘의 생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 4(1):75~84.
- 3) 조익환, 이주삼, 전하준. 1996. Vermicomposting에 의한 유기성 폐기물의 처리. 한국유기농업학회. 한국유기농업학회지 5(1):125~135.
- 4) 최훈근. 1992. 유기성 슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육 조건에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위논문.
- 5) 토양화학분석법. 1988. 농촌진흥청 농업기술연구소
- 6) 황보순, 조익환, 박창일, 손장호. 2002. 돈분과 톱밥의 혼합비율이 지렁이

생존에 미치는 영향. 대구대학교 생명과학연구소. 생명과학연구 1(2):207~216.

- 7) A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
- 8) 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.
- 9) Cardenas, R. R. and L. K. Wang. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : A review. *Biological Wastes*. 27:115-142.
- 10) Curry, J. P. 1976. "Some effect of animal manures on earthworms in grassland" *pedobiologia*. Bd. 16:425-438.
- 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) Fostage, O. T. and Babb, M. R. 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*, *J. Dairy Sci.*, 55:870-872.
- 14) Hilton, J. W. 1983. Potential of free dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. *Aquaculture* 32:277-283.
- 15) Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y. 1990. Humic substances formed during the composting of organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1316-1323.
- 16) Lo. K. V. and A. K. Liao. 1993. Composting of separated solid swine waste. *J. Agri. Engin Res.* 54:307-317.
- 17) Loehr, R. C. 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10):1311-1317.

- 18) 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
- 19) Robert Rynk, Maarten van de Kamp, George B. Wilson, Mark E. Singley, Tom L. Richard, John J. Kolega, Francis R. Gouin, Lucien Laliberty Jr., David Kay, Dennis W. Murphy, Harry A. J. Hoitink, William F. Brinton. 1992. On-farm composting Handbook, Northeast Regional agricultural Engineering Service 54:6-11.
- 20) Roy Hartenstein, Edward F. Neuhauser and David L. Kaplan. 1979. "Reproductive Potential of the Earthworm *Eisenia foetida*". *Oecologia*(Berl.) 43:329-340.
- 21) SAS. 2002. Statistical Analysis System Ver., 6.12. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- 22) 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.
- 23) University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal Refuse by composting. Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.