

우분에 깔짚 혼입 수준이 퇴비화 과정중 이화학적 성상 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

황보순* · 조익환** · 손장호***

Effects of Mixing Ratios of Cow Manure and Stall Bedding on Physico-Chemical Characteristics and Earthworm (*Eisenia foetida*) Survival

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

The present study was conducted to provide basic data for environmentally friendly treatment of manure using vermicomposting by investigating the influence of physiochemical property change during the composting period on the survival of earthworms after mixing cow manure in different levels (0(CSD0), 10(CSD10), 20(CSD20), 30(CSD30), and 40%(CSD40)) with the sawdust that is used bedding in livestock pens. As composting proceeds, earthworms were able to survive in all treatments after 3 weeks. In terms of the C/N ratio by treatment groups, the sawdust mix treatment was significantly higher than the CSD0 treatment ($p < 0.05$). The C/N ratio in the 3rd week when earthworms started surviving was 23.26-61.05. As composting progressed, pH and electrolytic conductivity were highest in the CSD0 treatment and tended to decrease with higher proportion of sawdust in the mix. It was found that pH and electrolytic conductivity that earthworms starting to survive are 7.4-7.7 and 0.28-1.17 mS/cm respectively. To summarize, when composting cow manure with various levels of sawdust mix, all physiochemical property changes turned out to allow the survival of earthworms, but the results suggest that efficient vermicomposting requires the tests to examine growth and reproduction according to the sawdust mix ratio.

Key words : C/N ratio, cow manure, earthworm, pH, vermicomposting

* 대구대학교 동물자원학과

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

*** 대구교육대학 실과교육과

I. 서 론

최근 유기성 폐기물 처리에 있어 vermicomposting 방법은 폐기물을 줄이고 자원을 재활용하는 친환경적 기술로 각광을 받고 있으며, 1992년 환경부는 지렁이를 “유기성 폐기물 처리 기술”로 고시하였고, 지렁이를 이용한 유기성 폐기물 퇴비화 연구도 다양하여 제지슬러지 이용방법(Kaushik and Garg, 2004), 하수슬러지 이용방법(Neuhauser et al., 1988), 음식물 쓰레기 이용방법(Edwards, 1995), 가축분이용방법(Loh et al., 2005) 등이 보고되고 있다.

한편, 우리나라는 1980년대 이후 경제성장과 국민소득 증대로 인한 식생활 개선으로 육류소비 증가와 함께 가축의 사육두수는 꾸준히 증가하였으며, 가축분뇨 발생량 또한 2011년 기준으로 4,368만 톤 내외이며, 이중 축종별로는 한우가 전체 분뇨 발생량의 약 34.1%로 가장 높은 비율을 차지한다(Livestock yearbook, 2012). 가축분뇨는 오래전부터 작물 생육에 매우 중요한 양분 공급원으로 활용되어 왔고, 최근에는 토양유기물 공급 및 토양개량제로 폐기물 보다는 자원으로 인식되고 있다.

가축분뇨 자원화의 가장 일반적인 방법은 퇴비화 또는 액비화 방법으로 가축분뇨 전체 발생량의 약 80% 이상이 부숙과정을 통해 농경지에 환원되고 있다(Livestock yearbook, 2012). 하지만 가축분뇨 퇴비를 과다하게 사용하게 되면 질산염을 포함한 토양 내 염류 직접 문제를 초래할 수 있으며, 인산의 과다사용으로 토양에 인산이 축적되고 인근 수계로 유입되거나 지하수로 침투되어 지하수의 오염을 초래하는 문제점이 발생되기도 한다(Sweeten, 1988). 또한, 부숙이 제대로 되지 않으면 악취가 심하고 병충해의 발생위험이 있으며, 토양으로 환원 후 급속히 분해되어 발효열에 의해 농작물의 피해가 입는 등 여러 가지 문제점이 있다.

하지만, 생물학적 처리방법중의 하나인 지렁이를 이용한 퇴비화 방법은 가축분을 급속히 안정화 시키며 냄새와 병충해의 발생을 억제시켜 최종산물을 완전하게 이용할 수 있는 장점이 있다(Lee et al., 1992). 또한, 처리 과정 중 생산되는 지렁이는 동물성 단백질 자원으로 이용가치가 높고(Sabine, 1983), 지렁이 분립은 약 알카리성의 입단구조로 되어있어 토양 통기성과 보수성을 높여 토양의 물리성을 개선하여 토양개량제로 활용가능성이 우수하다(Tomati et al., 1985; Jo et al., 2003).

지렁이가 효율적으로 가축분을 처리하기 위해서는 지렁이의 먹이가 되면서 살아가는 환경이 되는 가축분의 온도와 수분, 먹이의 탄질율, 이화학적 성상(Stafform and Tacon, 1984; Lee, 1995) 등 여러 가지 요인들이 영향을 미치는데 특히, 지렁이는 소화기관이 발달하지 못하여 소화능력이 약하며, 지렁이를 이용하여 가축분을 처리하기 위해서는 지렁이가 안정적으로 섭취할 수 있도록 가축분의 이화학적 성상을 변화시켜주는 부숙 과정이 반드시 필요하다(Curry, 1976; Hartenstein et al., 1979).

따라서 본 연구는 가축의 축사에 깔짚으로 이용되는 톱밥을 수준별로 우분과 혼합한 다

음 부숙기간 중의 이화학적 성상 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 먹이로 사용된 가축분은 톱밥이 혼합된 우분을 이용하였다. 우분과 톱밥의 혼합은 부피 대 부피의 비를 변화시킨 5가지(우분 : 톱밥 = 100:0(CSD0), 90:10(CSD10), 80:20(CSD20), 70:30(CSD30), 60:40(CSD40))로 혼합하였다.

혼합된 지렁이 먹이는 수분을 65±5% 유지하면서 8주 동안 일주일에 3~4회 교반을 시켰으며 1주일 간격으로 시료채취 하여 분석에 사용하였다.

pH는 톱밥 혼합 우분과 증류수의 비를 1 : 5로 하여 30분간 진탕한 후 토양화학분석법(RDA, 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. 1995), 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 톱밥을 수준별로 혼합한 우분 200g과 지렁이 10마리씩 3반복으로 하여 투입한 다음 1주 경과 후 지렁이의 생존과 탈출 여부를 확인하였다.

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

	Cow manure	Sawdust
Moisture (%)	68.40	14.00
Total solids (TS, %)	31.60	86.00
Volatile solid (VS, %)	63.70	96.00
Fixed solid (FS, %)	36.21	4.00
Total Nitrogen (TN, %)	1.31	0.14
C/N ratio	27.10	380.9
pH	8.14	4.88
Electrolytic conductivity (mS/cm)	0.83	-
Bulk density (kg/L)	0.71	0.26

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

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

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 부숙 경과에 따른 지렁이의 생존

톱밥 혼입 수준이 다른 우분을 1주 간격으로 지렁이 생존 여부를 관찰한 입식 시험의 결과는 Table 2와 같다.

초기 부숙 과정에서는 모든구에서 지렁이가 생존하지 못하였으나, 부숙 3주부터 모든구에서 100%의 지렁이 생존율을 보였다.

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

Treatments ¹	Weeks of aging period(%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CSD0	0	0	100	100	100	100	100	100
CSD10	0	0	100	100	100	100	100	100
CSD20	0	0	100	100	100	100	100	100
CSD30	0	0	100	100	100	100	100	100
CSD40	0	0	100	100	100	100	100	100

¹ CSD0 : 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. 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화와 지렁이의 생존에 미치는 영향

1) 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량의 변화

우분의 부숙 경과에 따른 전 질소(TN) 함량의 변화는 Fig. 1과 같다.

TN 함량은 0주차일 때 톱밥 혼입구에서 0.60~1.07%로 CSD0구의 1.31%에 비하여 유의하게 낮았으며(p<0.05), 특히 이러한 경향은 톱밥의 혼입 수준이 높을수록 TN 함량이 유의하

게 낮았다($p<0.05$). 한편, 부숙이 진행됨에 따라 TN 함량은 모든 구에서 점차 증가하여 8주차에서는 CSD0구와 톱밥 혼입구에서 각각 1.63과 0.94~1.25%로 증가하였다. 톱밥 혼입구에서 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 TN 함량은 0.72~1.16%로 CSD0구의 1.48%보다는 유의하게 낮았다($p<0.05$).

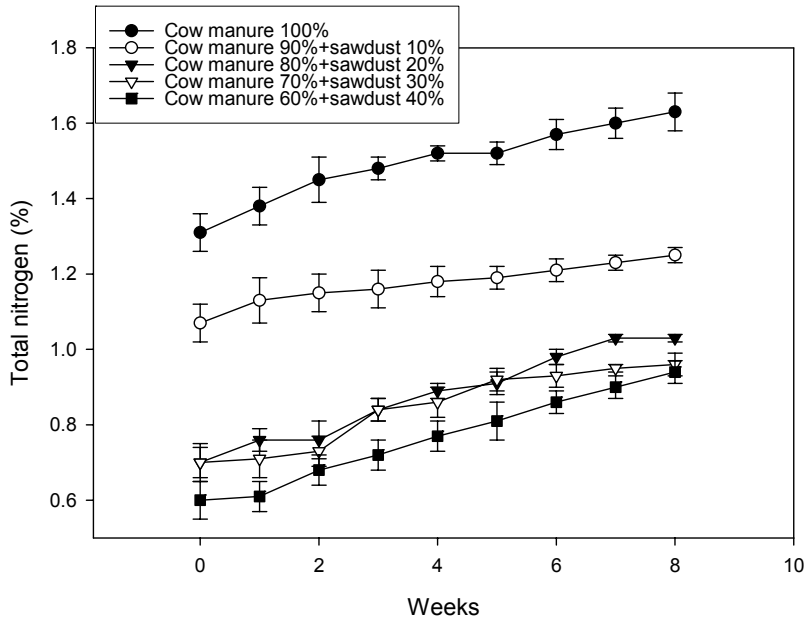


Fig. 1. Total nitrogen according to mixture ratios of cow manure and sawdust

2) 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC)함량의 변화

우분의 부숙 경과에 따른 총 탄소(TC) 함량은 Fig. 2와 같다.

TC 함량은 0주차일 때 톱밥 혼입구가 41.02~45.16%로 CSD0구의 35.44%에 비하여 유의하게 높았으며($p<0.05$), 톱밥 혼입구에서도 톱밥 혼입 수준이 높을수록 TC 함량이 높아 TN 함량과는 반대의 경향을 보였다. 부숙이 진행됨에 따라 TC 함량은 모든 구에서 점차 감소하여 CSD0구와 톱밥 혼입구의 0주차일 때 각각 35.44와 41.02~45.16%에서 8주차에는 각각 33.83과 37.97~42.82%로 감소하여 부숙이 진행됨에 따라 TN 함량이 증가하는 것과는 반대되는 경향을 보였다. 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 TC 함량은 톱밥 혼입구가 39.38~43.95%로 CSD0구의 34.38% 보다는 유의하게 높았다($p<0.05$).

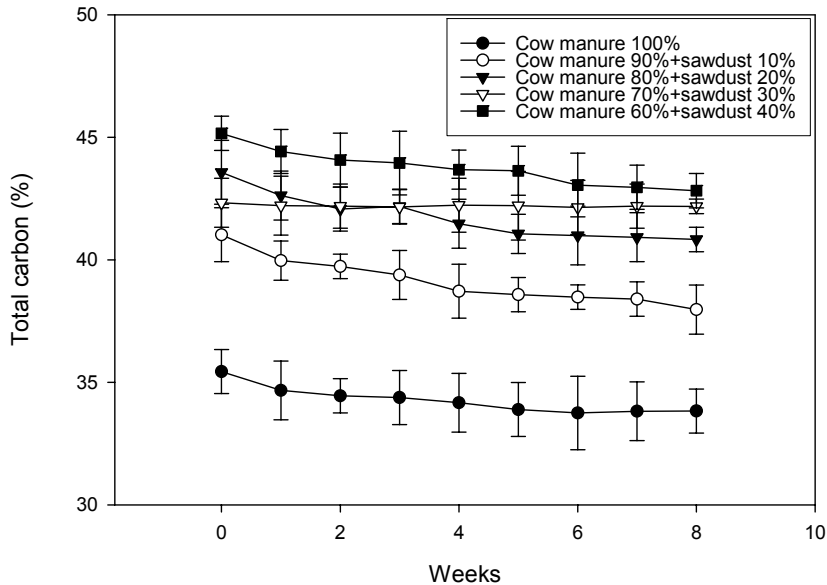


Fig. 2. Total carbon according to mixture ratios of cow manure and sawdust

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

우분의 부숙 경과에 따른 탄질비(C/N)의 변화는 Table 3과 같다.

시험기간 중 CSD0구의 탄질비는 0주차일 때 27.10이었으나 8주차일 때는 20.76으로 부숙이 경과함에 따라 유의하게 낮아졌으며($p < 0.05$), 톱밥 혼입구는 톱밥 혼입 수준에 따라 0주차와 8주차일 때 각각 38.35~75.81과 30.38~45.56의 범위로 톱밥 혼입 수준이 많을수록 탄질비가 유의하게 높았고($p < 0.05$), CSD0구와 같이 부숙이 경과함에 따라 탄질비가 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$). 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 탄질비는 CSD0구에서는 23.26이었으나 톱밥 혼입구에서는 톱밥 혼입 수준에 따라 CSD10구는 33.95, CSD40구는 61.05로 나타났다.

지렁이의 먹이의 성상은 먹이의 종류, 발효상태 및 미생물의 작용 등에 의해 달라지는데, 탄소와 질소의 비율인 탄질비가 부, 적합 판단기준의 중요한 지표로 이용되고 있다(Fostage and Babb, 1972). 가축분의 퇴비화 과정 중 미생물은 활동에 필요한 에너지원을 탄소로부터 이용하며, 질소로부터 성장과 단백질 합성 등에 필요한 영양원을 충족한다(Garcia et al., 1993). 따라서 가축분이 부숙되기 위해서는 탄소와 질소의 비율이 적합해야 하는데 일반적으로 부숙 초기에 적합한 탄질비는 25~35수준이고, 탄질비가 낮을 경우 부숙 속도를 지연시키고 악취가 발생하며 높은 탄질비는 미생물의 영양원인 질소의 부족으로 유기물 분해 및 부숙 속도가 늦어진다고 알려져 있다(Baker et al., 1999).

Table 3. C/N ratio according to mixture ratios of cow manure and sawdust

Aging period (weeks)	Treatments ¹				
	CSD0	CSD10	CSD20	CSD30	CSD40
0	27.10 c A	38.35 c A	62.26 b A	60.53 b A	75.81 a A
1	25.14 c AB	35.50 c AB	56.39 b AB	59.47 b A	73.24 a A
2	23.77 d BC	34.61 c BC	55.48 b AB	57.85 ab A	65.04 a AB
3	23.26 d BCD	33.95 c BCD	50.22 b BC	50.22 b B	61.05 a BC
4	22.48 d CD	32.83 c BCD	46.67 b CD	49.22 b BC	56.83 a BCD
5	22.01 d CD	32.42 c BCD	45.13 b CD	45.90 b BCD	53.89 a BCD
6	21.50 d CD	31.81 c BCD	41.84 b D	45.34 b BCD	50.14 a CD
7	21.14 e CD	31.22 d CD	39.75 c D	44.46 b CD	47.76 a D
8	20.76 d D	30.38 c D	39.66 b D	43.96 a D	45.56 a D

¹ CSD0 : 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-e} Mean in the same rows with different superscripts differ(p<0.05)

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

본 시험에 이용된 우분의 탄질비는 27.1 수준으로(Table 1, 3) 부숙되기 위해 적당한 탄질비로 나타났으며, 지렁이 먹이에 알맞은 탄질비인 15~30의 범위 이었으나(EPA, 1980), 부숙 초기 1, 2주차에는 지렁이가 생존하지 못하였다(Table 2). 지렁이 생존에 가장 중요한 요인인 탄질비가 알맞게 나타났는데도 불구하고 지렁이가 부숙 초기에 생존하지 못했던 이유는 본 시험에서는 퇴비화 과정 중 온도변화를 조사하지 않았지만 퇴비화가 진행됨에 따라 부숙 초기에는 발효열이 60℃ 이상 상승이 된다고 보고하여(Poincelot, 1975), 높은 온도와 함께 발생하는 가스에 의해 지렁이 생존이 적합하지 못했던 것으로 사료된다.

한편, 부숙과정 중의 가축분의 유기물은 미생물 호흡을 통해 대기 중에 CO₂로 배출이 되어 총 탄소가 지속적으로 감소되며, 가축분속의 질소는 일부는 암모니아 가스로 소실되기도 하지만 대부분 미생물에 의해 흡수되거나 NO₃-N으로 전환이 되어 가축분속에 존재함으로 부숙이 진행됨에 따라 탄질비는 점차 감소한다고 보고하여(Garcia et al., 1993) 본 시험에서도 이와 유사한 결과가 나타났으며, 본 시험에서 지렁이 생존이 가능한 탄질비는 23~61로 기준에 알려진 지렁이 먹이로 적합한 탄질비 25 전후 보다(Lee, 1995), 상당히 높은 수준까지 생존이 가능한 것으로 나타났다.

3. 부숙 경과에 따른 pH의 변화와 지렁이 생존에 미치는 영향

우분의 부숙 경과에 따른 pH의 변화는 Fig. 3과 같다.

pH는 0주차일 때 CSD0구 8.14, 톱밥 혼입구 7.53~7.69로 톱밥 혼입구가 CSD0구에 비하여 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 이후 부숙이 진행됨에 따라 pH는 부숙 초기인 1~2주차일 때 높아졌다가 3주차부터 낮아져 8주차일 때 CSD0구와 톱밥 혼입구의 pH가 각각 7.73과 7.42~7.65로 안정화 되었다. CSD0구와 톱밥 혼입구에서 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 pH는 각각 7.74와 7.42~7.68로 나타났다.

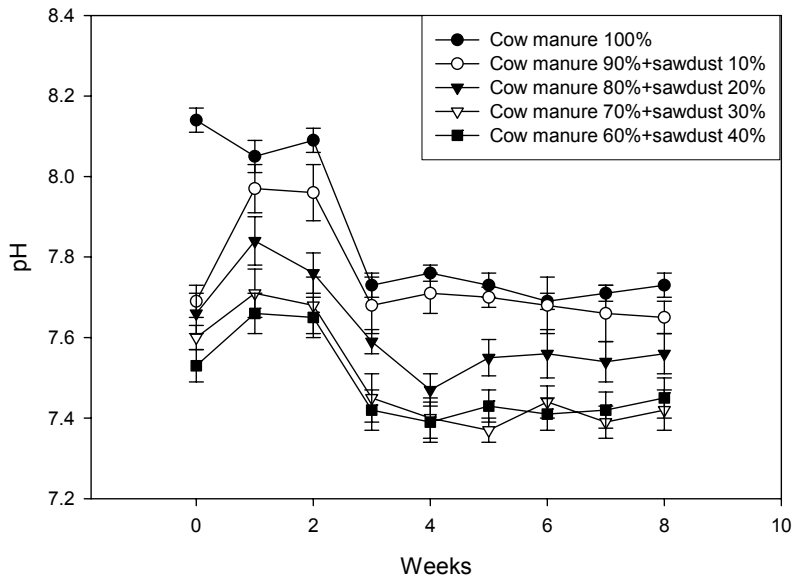


Fig. 3. pH value according to mixture ratios of cow manure and sawdust

가축분 퇴비화 과정 중 초기 pH 변화는 암모니아 발생에 따라 pH가 증가하며(Lee et al., 2005), 퇴비화 부숙 단계에 따라 미생물 활성에 의해 다양한 pH 변화가 나타나는데, 이러한 변화는 유기산과 암모니아 발생의 영향이며(Cardenas and Wang, 1989), 부숙이 경과되면 pH가 7~8 수준으로 안정화가 된다고 보고 하였다(Inbar et al., 1990). 본 시험에서도 톱밥 혼입 수준에 관계없이 지렁이가 생존하기 시작한 3주차부터 pH 값이 안정되는 결과를 보였다.

한편, 지렁이의 생육을 위한 pH 조건은 지렁이 종과 연구자에 따라 다양한 연구결과가 보고되고 있는데 생존이 가능한 pH는 4.0~7.0이며(Edwards, 1988), 줄지렁이의 경우 pH 7.0~8.0이 적정 수준이고(Rivero-Hernandez, 1991), 가장 선호하는 범위는 pH 5.5~6.5라고 보고하여(Na et al., 2000) 약간의 차이가 있으나 일반적으로 중성의 pH를 좋아하는 것으로 나타났다. 본 시험에서도 지렁이가 생존이 가능한 3주차의 pH는 7.42~7.74로 나타나 이러한

범위에 속하였다.

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

우분의 부숙 경과에 따른 전기 전도도의 변화는 Fig. 4와 같다.

우분의 EC는 0주차일 때 CSD0구 0.83mS/cm로 톱밥 혼입구의 0.27~0.78mS/cm 보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 이러한 경향은 톱밥의 혼입 수준이 높을수록 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$). 부숙이 진행됨에 따라 EC는 부숙 초기인 3주차 때 CSD0구와 톱밥 혼입구가 각각 1.17과 0.28~1.00mS/cm으로 높아졌다가 이후 8주차일 때는 각각 0.63과 0.20~0.64mS/cm로 점차 안정화 되었다. CSD0구와 톱밥 혼입구에서 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 EC는 각각 1.17과 0.28~1.00mS/cm이었다.

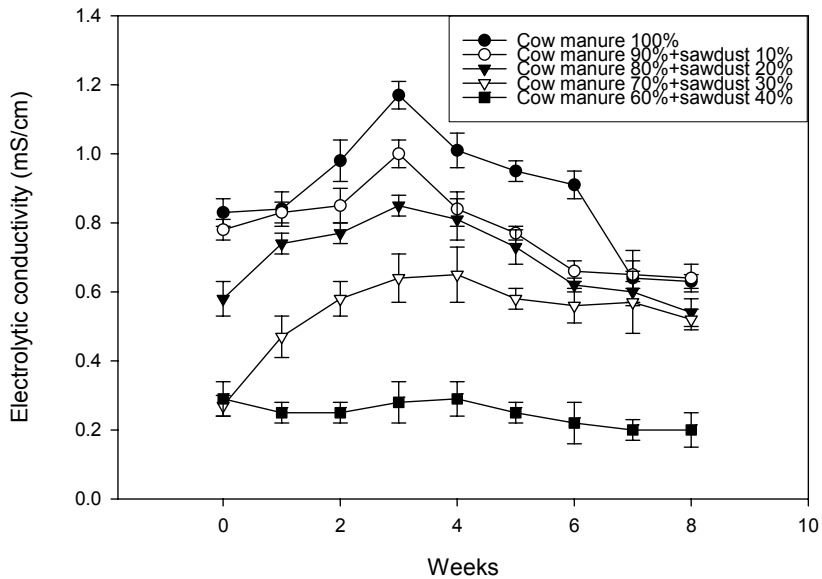


Fig. 4. Electrolytic conductivity value according to mixture ratios of cow manure and sawdust

퇴비화 과정 중 전기전도도 값은 분자가 이온화됨에 따라 증가하며 그 값은 이온의 성격에 의해 좌우되는데 가축분의 부숙과정에서 Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , P 등의 증가는 전기전도도 값을 상승시키는 요인이 된다(Inbar et al., 1993). 가축분이 퇴비화가 진행이 되면 부숙초기 2주차에 가장 높은 전기전도도 값을 보이게 되며 이후 점차 감소하여 안정화 된다고 보고하였는데(Huang et al., 2001), 본 시험에서도 유사한 경향이 나타났으며, 처리구별 차이에서는 우분 보다 톱밥혼입율이 높을수록 낮은 값을 보였는데 이는 톱밥이 부숙과정에서 발

생되는 용존염의 농도를 희석시켰기 때문에 사료된다.

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 (Choi, 1992). 지렁이에 대한 전기전도도 내성 값을 보면, 붉은 지렁이의 경우 1.95~4.9mS/cm이며(Choi, 1992), 팔딱이 지렁이는 0.75~15mS/cm 라고 보고하여 본 시험에서 지렁이 먹이로 사용된 우분은 용존염의 농도가 지렁이 체내 삼투압 조절에 영향을 미치는 수준은 아닌 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면 우분에 다양한 수준의 톱밥이 혼입되어 부숙시켰을 경우 이 화학적 성상 변화는 모두 지렁이 생존이 가능한 이화학적 성상으로 나타났으나, 우분의 효율적인 vermicomposting을 위해서는 톱밥 혼입 비율에 따른 지렁이의 생육과 증식 조사를 위한 시험이 필요하다고 사료되어 진다.

IV. 적 요

본 연구는 가축의 축사에 깔짚으로 이용되는 톱밥을 수준별(0(CSD0구), 10(CSD10구), 20(CSD20구), 30(CSD30구) 및 40%(CSD40구))로 우분과 혼합한 다음 부숙기간 중의 이화학적 성상 변화가 지렁이 생존에 미치는 영향을 조사함으로써 vermicomposting을 이용한 가축분의 친환경적 처리에 기초자료로 이용하고자 실시되었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 부숙이 경과함에 따라 3주부터 모든 구에서 지렁이의 생존이 가능하였다. 처리구별 탄질비는 톱밥 혼합구가 CSD0구 보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). 지렁이가 생존하기 시작한 3주차의 탄질비는 23.26~61.05로 나타났다. 부숙이 경과함에 따라 pH와 전기전도도는 CSD0구에서 가장 높았고, 톱밥의 혼입 비율이 높을수록 pH와 전기전도도는 낮은 경향이 있었다. 지렁이가 생존하기 시작한 pH와 전기전도도는 각각 7.4~7.7과 0.28~1.17mS/cm으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면 우분에 다양한 수준의 톱밥을 혼합하여 부숙시켰을 경우 이화학적 성상 변화는 모두 지렁이 생존이 가능한 범위로 나타났으나, 우분의 효율적인 지렁이 퇴비화를 위해서는 톱밥 혼입 비율에 따른 지렁이의 생육과 증식 조사를 위한 시험이 필요하다고 사료되어 진다.

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

Reference

1. A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington D. C.
2. 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.
3. Cardenas, R. R. and L. K. Wang. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity : A review. *Biological Wastes*. 27: 115-142.
4. Choi, H. K. 1992. A study on sludge feed and breeding condition in vermicomposting of organic sludge. Ph. D. Thesis. University of Seoul.
5. Curry, J. P. 1976. Some effect of animal manures on earthworms in grassland. *Pedobiologia*. Bd. 16: 425-438.
6. 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.
7. Edwards, C. A. 1995. Commercial and environmental potential of vermicomposting: A historical overview. *BioCycle*, June, 62-63.
8. EPA. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-80-033.
9. Fostage, O. T. and M. R. Babb. 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*. *J. Dairy Sci*. 55: 870-872.
10. Garcia. G., T. Hernandez. F. B. Costa, and G. Masciandaro. 1993. Kinetics of phosphatase activity in organic wastes. *Soil Biol, Biochem*. 25(5): 561-565.
11. Hartenstein, R., Edward F. Neuhauser, and David L. Kaplan. 1979. Reproductive Potential of the Earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia (Berl.)* 43: 329-340.
12. Huang, G. F., M. Fang, O. T. Wu, L. X. Zhou, and J. W. C. Wong. 2001. Co-composting of pig manure with leaves. *Environ, Technol*. 22: 1203-1212.
13. 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.
14. Inbar, Y., Y. Hadar, and Y. Chen. 1993. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of minority. *J. Environ. Qual*. 22: 857-863.
15. Jo, I. H., H. J. Jun, and J. S. Lee. 2003. Utilization of Earthworm Cast as a Component of Plant Growth Medium for Tomato. *Korean J. Organic Agri*. 11(1): 55-66.

16. Kaushik, P. and V. K. Garg. 2004. Dynamics of biological and chemical parameters during vermicomposting of solid textile mill sludge mixed with cow dung and agricultural residues. *Bioresource Technology* 94: 203-209.
17. Lee, J. S., J. C. Jung, and I. H. Jo. 1992. Treatment of Industrial Waste by Vermicomposting - I. Effects of mixture ratio of paper mill sludge and cow manure on the growth of *Lumbricus rubellus* and the chemical composition of worm casts -. *Journal of Korea society of waste management*. 9(2): 19-26.
18. Lee, J. S. 1995. Treatment of Cow Manure by Vermicomposting -Effects of population density and C/N ratios of feed on the growth and cast production of the earthworm (*Eisenia foetida*) -. *Journal of livestock housing and environment* 1(1): 65-75
19. Lee, J. E., J. H. Hong, K. W. Chang, and J. Y. Hwang. 2005. Effect of pyroligneous acid liquor on the maturity of pig manure compost. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(2): 101-107.
20. Livestock yearbook (The Agriculture, Fisheries, Livestock News). 2012. Livestock excretions.
21. Loh, T. C. and Y. C. Lee, J. B. Liang and D. Tan. 2005. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. *Bioresource Technology*. 96: 111-114.
22. Na, Y. E., S. B. Lee, M. S. Han, S. G. Kim, and D. R. Choi. 2000. Soil properties influencing on earthworm habitation in upland. *Korean journal of soil zoology*. 5(2): 165-168.
23. Neuhauser, E. F., R. C. Loehr, and M. B. Malecki. 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge. In *Earthworms and Waste Management*. C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (eds.). SPB Academic Publishing, The Netherlands. pp. 9-20.
24. Poincelot, R. P. 1975. The biochemistry and methodology of composting. Bull. 754. The connecticut AGr. Expt. Station. New Haven, CT.
25. RDA. Agricultural Technology Research Institute. 1988. Soil Chemical Analysis. Suwon. Korea.
26. Rivero-Hernandez, R. 1991. Influence of pH on the production of *Eisenia foetida*. *Avanc. Aliment. Anim.* 31(5): 215-217.
27. Sabine, J. R. 1983. Earthworms as a source of food and drugs-in Earthworm ecology, Chapman and Hall, London, pp. 285-296.
28. SAS. 2013. User's Guide Statistics. Statistical Analysis System Institute Inc. Cary. NC.
29. Stafforn, E. A. and A. G. J. Tacon. 1984. Nutritive value of the earthworm *Dendrodrilus subrubicundus*, Grown on domestic sewage, in Trout Diets, *Agricultural wastes*. 9: 249-266.
30. 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.
31. Tomati, U., A. Grapelli, and E. Galli. 1985. The alternative earthworm in organic wastes recycle, In the organic sludge and liquid agricultural wastes(ed.) by P. L'Hermite. Reidel, Dordrecht. pp. 510-512.
 32. University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal Refuse by composting. Tech. Bull. No. 9. Sanitary Engineering Research Project.