

## 먹이조건의 차이가 지렁이 생육, 분립생산량 및 체조직으로의 유기물 전환효율에 미치는 영향

이 지 영\* · 이 주 삼\*\*

### The Effects of Different Feeding Conditions on Growth, Cast Production and Conversion Efficiency of Organic Matter to the Earthworm(*Eisenia foetida* L.)

Lee, Ji-Young · Lee, Ju-Sam

This experiment was carried out to investigate the effect of different feed conditions on growth, cast production and conversion efficiency of organic matter to the earthworm. The experiment was tested on cow manure(CM) mixed with rice hulls (RH) or rice straw(RS). The mixture ratios were designed as one time, two times and three times of cow manure volume, respectively. The CM and RH mixtures resulted better on growth rate, reproductive efficiency and wormcast production than those for CM and RS mixtures. Especially on three times of RH mixture showed the highest growth characteristics compared to the other mixtures. Although both were between 20 and 34 on carbon and nitrogen ratio, the result inferred that the difference on the growth might have been caused by feeding conditions. On the mixtures of cow manure with rice hulls(CM+RH) was significantly higher on values on the conversion rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues than the mixtures of cow manure with rice straw(CM+RS). The most concerned point of the mixture of earthworm feed is that high contents of volatile solid and total carbon that increases in conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues, and also causes the increase in growth rate and reproductive efficiency. The wormcast could be used as a valuable plant growth medium or soil conditioner for sustainable agriculture and it may be due to their high qualities of physico-chemical properties.

Key words : *feed condition, cow manure, rice hulls, rice straw, reproductive efficiency, conversion rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues*

\* 연세대학교 생명과학기술학부 석사(desireto82@hanmail.net)

\*\* 연세대학교 생명과학기술학부 교수(vermilee@hanmail.net)

## I. 서 론

우리나라는 지난 반세기 동안 국민경제의 급격한 성장과 산업화에 따른 도시로의 인구 집중, 물질의 대량 생산 및 소비현상으로 유기성 폐기물과 산업폐기물의 발생량이 크게 증가하였다. 이에 따라 유기성 자원의 다량배출과 물리적 성상이 다양화되었지만, 충분히 재활용되지 못하여 아직까지도 환경 오염원으로 작용하고 있는 실정이다(이 등, 2005). 일반적으로 다량으로 배출되는 유기성 자원은 가축분뇨, 음식물 쓰레기, 인분뇨, 하수슬러지 그리고 사업장 일반폐기물 중 유해성분의 문제가 없는 유기성 슬러지 등으로 구분할 수 있다. 이 중에서 가축분뇨의 연간 발생량은 2007년도 말 현재 약 3,500만 톤으로(농진청, 2008), 이를 비료성분으로 환산하면 질소 239천 톤, 인산 200천 톤, 칼리 172천 톤으로 총 611천 톤으로 추정된다.

다량으로 배출되고 있는 가축분의 생물학적 처리방법중의 하나로 지렁이에 의한 가축분의 퇴비화 방법(vermicomposting)은 처리과정에서 다량으로 생산되는 지렁이와 분립을 완전히 재활용할 수 있는 유용한 처리방법이라고 할 수 있다(Hartenstein, 1978; 이 등, 2005; 이와 김, 2006). 유기성 자원을 vermicomposting에 의하여 처리할 경우, 유기성 자원은 급속히 안정화되며(Loehr, 1985), 냄새와 해충 발생을 억제하고, 병원성 세균과 virus등을 감소시킨다(과학기술처, 1992). 또한 처리과정에서 다량으로 생산되는 지렁이는 동물성 단백질자원이므로서 이용가치가 높고(Sabine, 1988), 분립은 토양으로 안정적으로 환원하여 친환경 농업에 효과적으로 활용될 수 있다. 특히 지렁이 분립은 약 알칼리성을 나타내고(pH 7~8), peat moss와 같이 취급하기 좋고 입단구조(aggregate)로 되어있어 토양 공극량의 증가에 의한 통기성과 보수성을 높이는 등 토양의 물리성 개선에 공헌하고(渡邊 등, 1979), 식물체의 생육에 필요한 무기양분 함량과 양이온 치환능력이 높고(이 등 2005; 이와 김 2006), 식물생장조절제가 함유되어 있어(Tomati 등, 1987), 상토 재 또는 토양개량제로서 활용가능성은 매우 높다고 판단된다(김 등, 2005).

그러나 효율적인 vermicomposting 공정의 운용을 위해서는 적당한 온도와 수분조건(Hartenstein, 1982), 먹이의 탄질율(渡邊, 1979; 이, 1995), 사육밀도(이, 1995; Edwards, 1988) 및 지렁이와 분립의 수확시기의 추정(Edwards, 1988; 이와 이, 1996) 등 여러 가지 요인들이 복합적으로 관여하므로 이에 대한 종합적인 연구가 필요하다.

특히 먹이조건에 따른 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율의 차이는 증체율과 증식효율 및 분립생산량에 미치는 영향이 크므로(Neuhauser, 1980; 이 등, 2005; 이와 김, 2006), 지렁이에 의한 가축분의 효율적 처리를 위해서는 양질의 먹이조제가 매우 중요하다고 판단된다.

따라서 본 실험에서는 먹이조건의 차이가 지렁이의 생육, 분립생산량 및 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율에 미치는 영향을 조사하여, 적정 먹이조건을 추정하려고 하였다.

## II. 재료 및 방법

공시 지렁이 먹이는 한우분, 왕겨, 볏짚을 사용하였고, 혼합비율은 한우분과 왕겨, 한우분과 볏짚을 각각 1:1, 1:2, 1:3(v/v)의 비율로 혼합하여 3개월간 발효시킨 후 사용하였다.

먹이량은 대조구(우분 100%)와 혼합비율별로 사육상자(14×14×16cm) 당 1kg(수분함량 65%) 썩을 충진한 후, 사육상자 당 줄 지렁이(*Eisenia foetida* L.) 25마리(평균 개체중 174.50 mg)를 방사하였다. 사육기간은 49일(7주)로 하였고, 실험기간 중의 실내 온도는 20±5℃, 먹이의 수분조건은 65±5%를 유지하였다. 또한 지렁이에 의한 유기물의 감소량을 측정하기 위해 지렁이 무 투입구를 만들어 처리구와 함께 7주간 방치하였다.

실험 전 혼합비율에 따른 먹이와 실험 종료 후 지렁이 분립의 이화학적 특성을 조사하였다(Table 1, 5). pH는 pH meter(Fisher Scientific AB15)로, 전기전도도(EC)는 conductivity meter(Fisher Scientific AB30)로 측정하였다. 총고형분 함량(TS)은 105℃에서 24시간 건조 후 측정된 건물 중으로 하였으며, 휘발성 고형분 함량(VS)은 550℃의 회화로에서 3시간 태운 후 남은 조회분량을 총고형분 함량 값에서 뺀 값으로 구하였다. 전질소함량(TN)은 kjeldahl 분석장치(J,P SELECTA s.a., Model PRO-NITRO II, Espana)를 사용하여 구하였다. 탄질율(C/N)은 조회분 량을 1.8로 나눈 총탄소함량을 구하여 총탄소함량과 전질소함량의 비율로 구하였다. 유효인산함량(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)과 양이온 치환용량(CEC) 및 치환성 양이온함량은 Lancaster법에 준하여 토양분석 분광광도계(Hanson technology Model KA-P, Korea)를 이용하여 측정하였다.

지렁이의 생육조사는 생존율, 실험 종료 후의 평균 개체중, 증체율, 난포수, 어린 지렁이 수, 분립생산량, 잔식량, 분립비율을 조사하였다. 생존율은 최초 방사한 지렁이의 개체수로부터 사육기간인 7주 후 치사 개체수를 뺀 값의 백분율로 하였다. 증체율은 단위기간 동안의 증체량을 나타낸 것으로 실험종료 후 평균 개체 중에서 실험 전 평균개체 중을 뺀 후 사육기간(49일×24시간)으로 나눈 값을 사용하였다. 난포수와 산자 수는 각각의 개체수를 조사하였다. 분립량과 잔식량은 건조기에서 105℃에서 24시간 건조 후 입경 2.0mm 채로 분리하여 고형물의 입자가 2.0mm 이하인 것을 분립량으로, 2.0mm 이상인 것을 잔식량으로 하여 각각의 건물 중을 측정하였다.

사육기간 중 자연 분해된 유기물 감소율(RR)과 지렁이 활동에 의해서 감소된 유기물의 무기화율(MR), 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 Neuhauser 등(1988)에 의한 공식, 그리고 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 이 등(2005)에 의한 공식으로 다음과 같이 계산하였다.

$$RR(\text{reduction rate, \%}) = \frac{\text{volatile solids content at final time(mg)}}{\text{volatile solids content at initial time(mg)}} \times 100$$

$$\text{MR}(\text{mineralization rate, \%}) = \frac{\text{volatile solids content reduced by earthworm}(\text{mg})}{\text{volatile solids content at initial time}(\text{mg})} \times 100$$

$$\text{CR}(\text{conversion rate, \%}) = \frac{\text{mean dry weight of worm tissue at final time}(\text{mg})}{\text{volatile solids content at initial time}(\text{mg})} \times 100$$

$$\text{CE}(\text{conversion efficiency, \%}) = \frac{\text{increased dry weight of worm tissue at final time}(\text{mg})}{\text{volatile solids content reduced by earthworm}(\text{mg})} \times 100$$

실험은 완전 임의 배치법(complete randomized design)으로 한 3반복으로 수행되었고, 측정된 자료들은 SAS(Statistical Analysis System 9.1)를 이용하여 LSD(최소유의차)값을 구하여 처리 간 차이를 비교하였다.

### III. 결 과

#### 1. 실험 전 먹이의 이화학성 분석 결과

실험 전 우분과 왕겨, 우분과 볏짚의 혼합비율을 달리한 먹이조건의 이화학성을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. The physico-chemical characteristics of mixtures of cow manure and organic wastes before vermicomposting

| Treatment      | pH                 | EC<br>(dS/m)        | TS<br>(%)          | VS<br>(%)          | FS<br>(%)          | TC<br>(%)          | TN<br>(%)          | C/N                 |
|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| CM             | 8.51 <sup>a</sup>  | 0.46 <sup>ab</sup>  | 35.80 <sup>a</sup> | 66.17 <sup>g</sup> | 33.83 <sup>a</sup> | 36.77 <sup>g</sup> | 1.87 <sup>a</sup>  | 19.37 <sup>d</sup>  |
| CM+RH 1:1      | 8.47 <sup>ab</sup> | 0.62 <sup>a</sup>   | 33.70 <sup>d</sup> | 71.28 <sup>d</sup> | 28.70 <sup>d</sup> | 39.60 <sup>d</sup> | 1.73 <sup>a</sup>  | 23.29 <sup>c</sup>  |
| CM+RH 1:2      | 8.35 <sup>bc</sup> | 0.55 <sup>a</sup>   | 32.40 <sup>e</sup> | 75.97 <sup>b</sup> | 24.00 <sup>f</sup> | 42.20 <sup>b</sup> | 1.37 <sup>b</sup>  | 30.15 <sup>b</sup>  |
| CM+RH 1:3      | 8.31 <sup>c</sup>  | 0.56 <sup>a</sup>   | 31.40 <sup>f</sup> | 78.64 <sup>a</sup> | 21.36 <sup>d</sup> | 43.67 <sup>a</sup> | 1.27 <sup>bc</sup> | 33.62 <sup>a</sup>  |
| CM+RS 1:1      | 8.59 <sup>a</sup>  | 0.44 <sup>abc</sup> | 34.30 <sup>c</sup> | 67.00 <sup>f</sup> | 33.00 <sup>b</sup> | 37.23 <sup>f</sup> | 1.77 <sup>a</sup>  | 20.68 <sup>cd</sup> |
| CM+RS 1:2      | 8.55 <sup>a</sup>  | 0.31 <sup>bc</sup>  | 34.90 <sup>b</sup> | 70.83 <sup>e</sup> | 29.2 <sup>c</sup>  | 39.37 <sup>c</sup> | 1.40 <sup>b</sup>  | 28.11 <sup>b</sup>  |
| CM+RS 1:3      | 8.27 <sup>c</sup>  | 0.28 <sup>c</sup>   | 31.00 <sup>g</sup> | 73.02 <sup>c</sup> | 26.98 <sup>e</sup> | 40.53 <sup>c</sup> | 1.17 <sup>c</sup>  | 33.81 <sup>a</sup>  |
| L.S.D (p≤0.05) | 0.16               | 0.18                | 0.52               | 0.29               | 0.29               | 0.19               | 0.15               | 3.00                |

CM: cow manure(control), RH: rice hulls, RS: rice straw, EC: electrolytic conductivity, TS: total solids, VS: volatile solids, FS: fixed solids, TC: total carbon, TN: total nitrogen and C/N: carbon/nitrogen ratio

모든 먹이조건에서 pH는 8.31~8.59의 범위를 나타내어 약 알칼리성이었다. EC는 우분과 벚짚 혼합구가 0.28~0.44dS/m의 범위, 우분과 왕겨 혼합구의 0.56~0.62dS/m의 범위를 나타내어 우분+벚짚 혼합구가 낮았다. 총 고형 분(TS)은 우분 100%가 35.80%로 유의하게 높았고, 휘발성 고형 분(VS)과 총탄소함량(TC)은 우분+왕겨 1:3 비율에서 각각 78.64%와 43.67%를 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았고, 고정 고형 분(FS)은 대조 구(우분 100%)에서 33.83%로 유의하게 높았다. 전질소함량(TN)은 대조구가 1.87%, 우분+왕겨 1:1과 우분+벚짚 1:1에서 각각 1.73과 1.77을 나타내어 유의하게 높았다. 탄질율(C/N)은 대조구가 19.37로 가장 낮았고, 왕겨와 벚짚의 첨가비율이 높을수록 증가하여, 우분+왕겨 1:3, 우분+벚짚 1:3에서 각각 33.62와 33.81로 유의하게 높았다.

## 2. 먹이조건의 차이가 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향

먹이조건의 차이가 지렁이 생육과 분립생산량의 변화에 미치는 영향은 Table 2와 같다.

Table 2. The values on the measured growth characteristics of the earthworm in mixtures of cow manure with rice hulls(CM+RH), and with rice straw(CM+RS)

| Treatment      | growth characteristics |                     |                      |                      |                     |                    |                    |                     |                     |                     |
|----------------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                | SR (%)                 | NE                  | FW <sup>1</sup> (mg) | FW <sup>2</sup> (mg) | DW (mg)             | NYE                | IR (mg/hr)         | NC                  | CW (g)              | CW (%)              |
| CM             | 8.00 <sup>c</sup>      | 2.00 <sup>c</sup>   | 174.50 <sup>a</sup>  | 315.60 <sup>b</sup>  | 36.91 <sup>c</sup>  | 0.00 <sup>c</sup>  | 0.12 <sup>b</sup>  | 0.00 <sup>c</sup>   | 90.1 <sup>c</sup>   | 35.55 <sup>d</sup>  |
| CM+RH 1:1      | 48.00 <sup>b</sup>     | 12.00 <sup>b</sup>  | 174.50 <sup>a</sup>  | 409.70 <sup>b</sup>  | 69.45 <sup>ab</sup> | 12.33 <sup>b</sup> | 0.20 <sup>b</sup>  | 41.33 <sup>b</sup>  | 158.7 <sup>b</sup>  | 62.14 <sup>b</sup>  |
| CM+RH 1:2      | 73.33 <sup>ab</sup>    | 18.33 <sup>ab</sup> | 174.50 <sup>a</sup>  | 492.00 <sup>ab</sup> | 77.50 <sup>b</sup>  | 12.67 <sup>b</sup> | 0.27 <sup>ab</sup> | 85.67 <sup>a</sup>  | 187.2 <sup>a</sup>  | 68.50 <sup>a</sup>  |
| CM+RH 1:3      | 82.67 <sup>a</sup>     | 20.67 <sup>a</sup>  | 174.50 <sup>a</sup>  | 691.90 <sup>a</sup>  | 125.30 <sup>a</sup> | 34.33 <sup>a</sup> | 0.44 <sup>a</sup>  | 104.33 <sup>a</sup> | 171.8 <sup>ab</sup> | 67.71 <sup>ab</sup> |
| CM+RS 1:1      | 12.00 <sup>c</sup>     | 3.00 <sup>c</sup>   | 174.50 <sup>a</sup>  | 350.90 <sup>b</sup>  | 53.48 <sup>bc</sup> | 0.67 <sup>c</sup>  | 0.15 <sup>b</sup>  | 0.00 <sup>c</sup>   | 107.9 <sup>d</sup>  | 36.67 <sup>d</sup>  |
| CM+RS 1:2      | 10.67 <sup>c</sup>     | 2.67 <sup>c</sup>   | 174.50 <sup>a</sup>  | 386.20 <sup>b</sup>  | 59.48 <sup>bc</sup> | 0.33 <sup>c</sup>  | 0.18 <sup>b</sup>  | 0.67 <sup>c</sup>   | 101.2 <sup>de</sup> | 37.33 <sup>d</sup>  |
| CM+RS 1:3      | 16.00 <sup>c</sup>     | 4.00 <sup>c</sup>   | 174.50 <sup>a</sup>  | 362.70 <sup>b</sup>  | 52.00 <sup>bc</sup> | 2.67 <sup>c</sup>  | 0.16 <sup>b</sup>  | 5.00 <sup>c</sup>   | 133.3 <sup>c</sup>  | 45.44 <sup>c</sup>  |
| L.S.D (p≤0.05) | 29.95                  | 7.49                | 0.00                 | 201.95               | 33.86               | 6.24               | 0.22               | 23.06               | 16.25               | 6.17                |

SR: survival rate(%), NE: number of earthworms, FW<sup>1</sup>: mean fresh weight of adult worm at initial time (mg), FW<sup>2</sup>: mean fresh weight of adult worm at final time(mg), DW: mean dry weight of adult worm at final time(mg), NYE: number of young earthworm(mg), IR: increasing rate of adult worm(mg/hr), NC: number of cocoons, CW: dry weight of worm casts(g. <2.5mm), CW(%): ratios of worm casts

지렁이 생존율(SR)은 우분+왕겨 혼합구가 우분+벚짚 혼합구보다 유의하게 높았다. 특히

우분+왕겨 1:2와 1:3 비율에서 생존율은 73.33%와 82.67%로 높았다. 실험 종료 시 평균 개체중(FW2)과 건물 중(DW)은 생존율이 높았던 우분+왕겨 1:3 비율에서 각각 691.90mg과 125.00mg을 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 무거웠고, 산자 수(NYE)도 같은 경향이였다. 또한 증체속도(IR), 난포 수(NC), 분립 생산량(CW), 분립비율(CW%)은 우분+왕겨 1:2와 1:3의 비율에서 다른 처리 구보다 유의하게 높았다.

### 3. 먹이조건의 차이가 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율에 미치는 영향

먹이조건의 차이가 사육기간 중 유기물 감소량, 무기화율, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율에 미치는 영향을 나타낸 것이 Table 3이다.

Table 3. The values of conversion rate(CR) and conversion efficiency(CE) of earthworm in mixtures of cow manure and rice hulls, rice straw after vermicomposting

| Treatment      | RD(%)               | MR(%)              | CR(%)             | CE(%)                |
|----------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| CM             | 16.12 <sup>cd</sup> | 9.40 <sup>b</sup>  | 0.02 <sup>b</sup> | -3.41 <sup>cd</sup>  |
| CM:RH 1:1      | 16.69 <sup>cd</sup> | 11.61 <sup>a</sup> | 0.03 <sup>b</sup> | 1.31 <sup>bc</sup>   |
| CM:RH 1:2      | 18.73 <sup>bc</sup> | 11.52 <sup>a</sup> | 0.03 <sup>b</sup> | 3.35 <sup>ab</sup>   |
| CM:RH 1:3      | 18.10 <sup>bc</sup> | 12.15 <sup>a</sup> | 0.05 <sup>a</sup> | 7.33 <sup>a</sup>    |
| CM:RS 1:1      | 13.29 <sup>d</sup>  | 9.85 <sup>b</sup>  | 0.02 <sup>b</sup> | -1.48 <sup>bcd</sup> |
| CM:RS 1:2      | 23.61 <sup>a</sup>  | 10.90 <sup>b</sup> | 0.03 <sup>b</sup> | -1.21 <sup>bcd</sup> |
| CM:RS 1:3      | 21.54 <sup>ab</sup> | 7.02 <sup>c</sup>  | 0.02 <sup>b</sup> | -4.50 <sup>d</sup>   |
| L.S.D (p≤0.05) | 3.54                | 8.08               | 0.01              | 5.39                 |

RD: reduction rate(%) during the experimental periods, MR: mineralization rate(%) during the experimental periods, CR: conversion rate(%) during the experimental periods, CE: conversion efficiency(%) during the experimental periods

사육기간 중 유기물 감소율(RD)은 우분+뽕짚 1:2와 1:3에서 각각 23.61과 21.54를 나타내어 유의하게 높았고, 무기화율(MR)은 왕겨 혼합구가 11.61-12.15의 범위를 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았다. 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 우분+왕겨 1:3 혼합비율에서 0.05로 유의하게 높았고, 전환효율(CE)는 우분+왕겨 1:3에서 7.33, 1:2에서 3.35로 유의하게 높았다.

#### 4. 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR) 및 전환효율(CE)과 먹이의 이화학적 특성과의 상관관계

지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR) 및 전환효율(CE)과 먹이의 이화학적 특성과의 상관관계를 나타낸 것이 Table 4이다.

Table 4. Correlation coefficients of conversion rate and conversion efficiency of organic matter to the earthworm tissues with physico-chemical characteristics of the feeds before vermicomposting

|    | TS     | VS     | FS      | TN     | TC     | C/N   |
|----|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
| CR | -0.426 | 0.794* | -0.793* | -0.447 | 0.794* | 0.533 |
| CE | -0.404 | 0.767* | -0.767* | -0.288 | 0.768* | 0.390 |

Note. \* is significant at 5% level

CR: conversion rate(%) and CE: conversion efficiency(%) of organic matter to earthworm tissues TS: total solids, VS: volatile solids, FS: fixed solids, TN: total nitrogen, TC: total carbon and C/N: carbon/nitrogen ratio

지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)과 전환효율(CE)은 휘발성 고형 분(VS)과 전탄소 함량(TC)과는 5% 수준의 유의한 정 상관, 고정 고형분(FS)과는 5% 수준의 유의한 부(-)의 상관을 나타내었다.

#### 5. 먹이조건에 따른 분립의 이화학적 특성

우분과 왕겨, 우분과 벧짚의 혼합비율을 달리한 먹이조건에서 생산된 분립의 이화학적 특성은 Table 5와 같다.

Table 5. The chemical characteristics of worm casts in mixtures of cow manure with rice hulls(CM+RH), and with rice straw(CM+RS)

| Treatment | pH                 | EC (dS/m)         | VS (%)              | TC (%)              | C/N                | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/g) | CEC (cmol <sup>+</sup> /kg) | Ex. Cations(cmol <sup>+</sup> /kg) |                    |                     |
|-----------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|
|           |                    |                   |                     |                     |                    |  |                             | K <sup>+</sup>                     | Ca <sup>++</sup>   | Mg <sup>++</sup>    |
| CM        | 8.42 <sup>ab</sup> | 0.55 <sup>c</sup> | 59.96 <sup>c</sup>  | 33.31 <sup>c</sup>  | 18.10 <sup>c</sup> | 1047.40 <sup>ab</sup>                    | 36.72 <sup>a</sup>          | 23.97 <sup>a</sup>                 | 10.85 <sup>b</sup> | 1.65 <sup>bc</sup>  |
| CM+RH 1:1 | 8.16 <sup>c</sup>  | 0.71 <sup>b</sup> | 64.99 <sup>b</sup>  | 36.11 <sup>b</sup>  | 23.13 <sup>b</sup> | 1119.60 <sup>ab</sup>                    | 38.63 <sup>a</sup>          | 22.77 <sup>a</sup>                 | 10.84 <sup>b</sup> | 1.82 <sup>bc</sup>  |
| CM+RH 1:2 | 8.21 <sup>bc</sup> | 0.59 <sup>c</sup> | 65.37 <sup>ab</sup> | 36.32 <sup>ab</sup> | 28.50 <sup>a</sup> | 1298.80 <sup>a</sup>                     | 39.63 <sup>a</sup>          | 23.30 <sup>a</sup>                 | 12.13 <sup>a</sup> | 1.87 <sup>abc</sup> |

| Treatment     | pH                  | EC<br>(dS/m)      | VS<br>(%)          | TC<br>(%)          | C/N                | Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg/g) | CEC<br>(cmol <sup>+</sup> /kg) | Ex. Cations(cmol <sup>+</sup> /kg) |                    |                    |
|---------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
|               |                     |                   |                    |                    |                    |   |                                | K <sup>+</sup>                     | Ca <sup>++</sup>   | Mg <sup>++</sup>   |
| CM+RH 1:3     | 8.89 <sup>d</sup>   | 0.58 <sup>c</sup> | 67.77 <sup>a</sup> | 37.65 <sup>a</sup> | 28.17 <sup>a</sup> | 769.30 <sup>b</sup>                         | 39.47 <sup>a</sup>             | 19.53 <sup>abc</sup>               | 12.37 <sup>a</sup> | 1.57 <sup>c</sup>  |
| CM+RS 1:1     | 8.48 <sup>a</sup>   | 0.83 <sup>a</sup> | 60.58 <sup>c</sup> | 33.65 <sup>c</sup> | 17.87 <sup>c</sup> | 906.10 <sup>ab</sup>                        | 37.26 <sup>a</sup>             | 21.37 <sup>ab</sup>                | 10.73 <sup>b</sup> | 2.27 <sup>a</sup>  |
| CM+RS 1:2     | 8.48 <sup>a</sup>   | 0.73 <sup>b</sup> | 58.74 <sup>c</sup> | 32.63 <sup>c</sup> | 17.77 <sup>c</sup> | 1279.10 <sup>a</sup>                        | 38.23 <sup>a</sup>             | 14.9 <sup>bc</sup>                 | 10.66 <sup>b</sup> | 2.25 <sup>a</sup>  |
| CM+RS 1:3     | 8.36 <sup>abc</sup> | 0.69 <sup>b</sup> | 63.49 <sup>b</sup> | 35.27 <sup>b</sup> | 18.80 <sup>c</sup> | 871.90 <sup>b</sup>                         | 37.38 <sup>a</sup>             | 14.4 <sup>c</sup>                  | 10.63 <sup>b</sup> | 2.04 <sup>ab</sup> |
| L.S.D(p≤0.05) | 0.22                | 0.10              | 2.73               | 1.52               | 2.53               | 393.16                                      | 6.24                           | 7.08                               | 0.57               | 0.41               |

EC: electrolytic conductivity, VS: volatile solids, TC: total carbon, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av.:available phosphorus, CEC: cation exchange capacity and Ex.cations: exchangeable cations.

pH는 8.16~8.89의 범위로 약알칼리성이었고, 전기전도도(EC)는 0.55~0.73dS/m의 범위였다. 휘발성 고형분(VS)은 58.74~67.77의 범위였는데, 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 유의하게 높았다. 총탄소함량(TC)은 32.63~37.65 범위였다. 탄질율(C/N)은 우분+왕겨 혼합구가 23.13~28.50의 범위를 나타내어, 우분+볏짚 혼합구의 17.77~18.80 범위보다 높았다.

유효인산함량(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 769.30~1298.80의 범위를 나타내었지만, 먹이조건에 따른 일정한 경향은 없었다. 양이온 치환용량(CEC)은 36.72~39.47의 범위였다. 치환성 양이온 함량은 칼리(K<sup>+</sup>)가 우분+볏짚 1:2와 1:3 비율에서 유의하게 낮은 14.90과 14.40을 나타내었다. 칼슘(Ca<sup>++</sup>)은 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 12.13과 12.37로 유의하게 높았고, 마그네슘(Mg<sup>++</sup>)은 우분+볏짚 혼합 구에서 2.04~2.27범위를 나타내어 우분+왕겨 혼합구보다 높았다.

#### IV. 고 찰

한우분에 왕겨와 볏짚을 1:1, 1:2, 1:3의 부피비율로 혼합한 먹이조건의 차이가 지렁이의 생육과 분립생산량, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율을 조사하여, 적정 먹이조건을 추정하려고 하였다.

본 실험의 결과, 우분+왕겨 혼합구, 특히 우분+왕겨 1:2와 1:3의 혼합비율에서 거의 모든 성장요인들과 분립생산량이 우분+볏짚혼합구보다 유의하게 높았다(Table 2). 특히 우분에 왕겨를 혼합했을 때 볏짚을 혼합한 처리 구에 비하여 휘발성 고형분 함량과 전탄소함량이 높았다(Table 1). 이와 관련하여 Frederickson과 Knight(1988)는 먹이의 영양가와 이화학적 특성의 차이가 지렁이 생육에 영향을 미치는데, 특히 분해 가능한 탄소화합물이 많은 먹이 조건에서 지렁이 생육이 좋았다고 하였다. 이 등(2005)은 휘발성 고형분 함량이 높은 먹이 조건에서 증체량, 증체속도 및 분립생산량이 많았다고 보고하여, 본 실험의 결과와 일치한

다(Table 2).

탄질율은 우분+왕겨, 우분+볏짚 혼합구에서 20~34의 범위였지만, 같은 탄질율의 범위 내에서 생육결과에 차이가 인정된 것은 먹이의 물리적 특성과도 밀접한 관련이 있다고 생각된다. 전 등(2005)은 우분에 왕겨혼합수준이 높아질수록 탄질비도 증가하여 증체량과 증식효율이 높아졌다고 하였고, 이(1995)는 우분의 탄질율이 25일 때 지렁이의 생육이 가장 좋았다고 하였다. 또한 황과 조(2005)는 우분단독보다는 우분에 톱밥을 혼합할 경우, 증체량이 높았는데 이는 먹이의 물리성이 개선되었기 때문이라고 보고하였다. 본 실험에서는 왕겨 혼합이 볏짚 혼합보다 먹이의 물리성 개선에 도움이 되었다고 추정된다. 따라서 먹이의 물리성을 정량적으로 평가할 수 있는 조사항목의 설정이 필요하다고 생각된다.

지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 먹이의 유기물 중에서 체조직으로 전환된 비율을 나타내어(Neuhauser 등, 1988), 자연 상태의 무기화에 의한 유기물 감소량까지 포함하는 개념이라고 할 수 있다(이와 김, 2006). 그러나 전환효율(CE)은 지렁이 활동에 의하여 감소된 유기물 중에서 체조직으로 전환된 비율을 나타내어 전환율(CR)보다 훨씬 정량적이라고 할 수 있다(이 등, 2005; 이와 김, 2006).

본 실험에서 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율(CR)은 0.02~0.05의 범위였지만, 우분+왕겨 1:3 비율에서 0.05로 유의하게 높았다. Frederickson과 Knight(1988)는 우분 고품분을 42일간 혐기성 조건과 호기성 조건에서 처리하였을 때, 전환율은 2.9와 3.0이었다고 하였고, Neuhauser 등(1988)은 4~10%의 범위, 이와 이(2002)는 0.25~0.41%의 범위, 이 등(2005)은 음식물쓰레기+우분 혼합구에서 1.48, 음식물 쓰레기+돈분 혼합구에서 0.57이었고, 이와 김(2006)은 3.86~5.64의 범위였다고 보고하여, 먹이조건에 따라서 유기물 전환율은 큰 차이가 인정된다. 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 우분+왕겨 1:2와 1:3에서 각각 3.35와 7.33을 나타내어 다른 처리구보다 유의하게 높았고(Table 3), 휘발성 고품분 함량과 전탄소함량은 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율과는 유의한 정 상관을 나타내어(Table 4), 먹이 중의 휘발성 고품분 함량이 높은 조건에서 체조직으로의 전환율과 전환효율이 높아졌다는 것을 의미한다. 이 등(2005)은 음식물쓰레기와 우분 혼합구에서 전환효율은 2.84이었다고 하였고, 이와 김(2006)은 돈분과 음식물쓰레기 혼합처리에서 전환효율은 4.61~10.85%의 범위였는데, 유기물 함량이 높은 먹이조건에서 전환효율이 높았다고 보고하여 본 실험의 결과와 일치한다. 따라서 휘발성 고품분 함량이 높은 먹이조건을 보다 정량적으로 평가하기 위해서는 먹이 중의 Fiber analysis가 필요하다고 판단된다(Frederickson과 Knight, 1988).

분립의 이화학적 특성에서 pH는 8.16~8.89의 범위로 약알칼리성이었고, 유효인산함량은 769.3~1298.8ppm의 범위, CEC는 36.72~39.63의 범위로 높았고, 치환성 양이온 함량이 모두 높아서(Table 5), 토양개량제 또는 상토재로서 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

이상의 결과를 종합하면, 적정 탄질율(20~30 범위)에서 휘발성 고품분 함량과 전탄소 함

량이 높았던 우분+왕겨 혼합구(Table 1)에서 지렁이의 증체량, 증식효율 및 체조직으로의 유기물 전환율, 전환효율이 높았다(Table 2, 4).

따라서 지렁이의 먹이를 조제할 경우, 휘발성 고형분 함량과 전탄소 함량이 높은 먹이와의 혼합처리를 통하여 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율을 증가시켜, 증체속도와 증식효율을 높이는 것이 중요하다고 판단된다(이 등, 2005). 또한 먹이조건에 따른 분립의 이화학적 특성을 분석하여, 친환경 농자재로 안전하게 활용될 수 있는 시용기준의 설정이 필요하다고 판단된다.

## V. 적 요

우분에 왕겨와 벚짚을 1:1, 1:2, 1:3의 부피비율로 혼합한 먹이조건이 지렁이의 생육, 분립생산량, 체조직으로의 유기물 전환율 및 전환효율을 조사하여, 적정 먹이조건을 추정하였다.

1. 우분+왕겨 혼합구가 우분+벚짚 혼합구보다 지렁이의 증체속도, 증식효율 및 분립생산량이 많았다. 특히 우분+왕겨 1:3 혼합비율이 지렁이 생육에 가장 알맞은 먹이조건이었다(Table 2).
2. 우분+왕겨 혼합 구에서 지렁이 체조직으로의 유기물 전환율과 전환효율이 높았던 것은 먹이 중의 휘발성 고형분과 전탄소함량이 높았기 때문이었다(Table 1, 4).
4. 지렁이 분변토는 약알칼리성이고, 전질소함량, 유효인산함량, CEC 및 치환 성 양이온 함량이 높아서 친환경 농자재로 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다(Table 5).

## 감사의 말

본 연구는 2005년도 농림기술관리센터(ARPC) 연구과제 “지렁이에 의한 유기성자원의 처리와 이용”에 관한 연구의 일부로 수행되었다. 본 연구의 수행에 협력해주신 관계 업체 및 관련자 여러분들께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

[논문접수일 : 2008. 6. 25. 논문수정일 : 2008. 8. 28. 최종논문접수일 : 2008. 9. 5.]

## 참 고 문 헌

1. 과학기술처. 1992. 토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리기술 개발에 관한 연구. 1 : 67-81.
2. 농촌진흥청. 2008. 2007년도 가축사육두수 및 분뇨 발생량 현황.
3. 김인수·김성진·이지영·이주삼. 2005. 지렁이 분립이 엽채류의 생육에 미치는 영향. -분립의 최적흡합비율의 추정-. 한국유기농업학회지 13(4): 413-422.
4. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리- 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 1(1): 65-75.
5. 이주삼·이무춘. 1996. Vermicomposting에 의한 분뇨 슬러지의 처리. 한국유기성폐자원학회지 4(2): 35-45.
6. 이필원·이주삼. 1999. Plant growth media로서 지렁이 분립이 orchardgrass 생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 7(2): 179-188.
7. 이주삼·이필원. 2002. 지렁이의 생육과 분립생산을 위한 적정인과 칼슘수준의 추정. 한국유기성폐자원학회지 10(3): 96-102.
8. 이주삼·김만중·김남천. 2005. Vermicomposting에 의한 음식물 쓰레기의 처리. 한국유기성자원학회지 13(3): 51-62.
9. 이주삼·김만중. 2006. Vermicomposting에 의한 돈분의 처리- 음식물 쓰레기와의 혼합처리. 축산시설환경 12(2): 75-84.
10. 전하준·황보순·조익환. 2006. 우분에 왕겨 혼합수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 14(4): 421-431.
11. 황보순·조익환. 2005. 우분에 톱밥 혼합 수준이 지렁이의 생육과 분립 생산에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 13(4): 423-433.
12. 渡邊弘之. 森 忠洋. 平田俊道. 1979. ミミズのと 有効利用とその技術. サイエティスト社.
13. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworm. In Earthworm in waste and environmental management. (eds) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser, pp. 21-31. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp. 21-31.
14. Hartenstein, R. 1978. "Utilization of soil organisms in sludge management". Natl Tech. Inf. Services, PB286932. Springfield, Virginia.
15. Frederickson, J. and D. Knight. 1988. The use of anaerobically digested cattle solids for vermiculture. In Earthworm in waste and environmental management. (des) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser, pp. 33-47.
16. Hartenstein, R. 1982. Metabolic parameters of the earthworm *Eisenia foetida* in relation to

- temperature. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. XXIV pp. 1803-1871.
17. Neuhauser, E. F., D. L. Kaplan, M. B. Malecki, and R. Harteinstein. 1980. Material supporting weight gain by the earthworm *Eisenia foetida* in waste conversion system. *Agricultural Wastes* 2(1): 43-60.
  18. Neuhauser, E. F., R. C. Loehr, and M. R. Malecki. 1988. "The potential of earthworm for managing sewage sludge" In *Earthworm and Waste Management*. (eds.) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser., SPB Academic Publishing, The Netherlands. pp. 9-20.
  19. Loehr, R. C. 1985. Factors Affecting The Vermistabilization Process, *Water Res.* 19(10): 1311-1317.
  20. Sabine, J. 1988. Earthworms as animal feed: An overview. In *Earthworm in waste and environmental management*(eds.) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser. pp. 165-167.
  21. Tomati, U., A. Grapelli, and E. Galli. 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes. *Selected Symposia and Monographs U.Z.I.* 2: 423-435.