



제지슬러지 및 우분 급이시 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 섭식률, 배설률 및 증체율

배운환[†], 박광일

대진대학교 생명과학과

(2006년 8월 16일 접수, 2006년 9월 12일 채택)

Feeding rate, excreting rate and biomass increasing rate of earthworm (*Eisenia fetida*) fed with paper mill sludge and cow dung manure

Yoon-Hwan Bae[†], Kwang-Il Park

Dept. of Life science, Daejin University

ABSTRACT

Earthworms(*Eisenia fetida*) were fed with paper mill sludge produced from P&G or Yuhan Kimberly paper manufacturing factory, or cow dung manure. Turnover rate of feed into earthworm biomass and excreting rate on each feed were investigated on dry weight base. Biomass of earthworm population was increased on paper mill sludge, but it was fallen to death on cow dung manure, which had high electrical conductivity and low redox potential. When P&G paper mill sludge was supplied to adult, elder juvenile or younger juvenile for 84 days, turnover rate of feed into earthworm biomass was 0.48, 0.40 and 0.76%, respectively, and on Yuhan Kimberly paper mill sludge 0.26, 0.45, 0.42%. When P&G paper mill sludge was supplied to adult, elder juvenile or younger juvenile, excreting rate was 49.02, 54.32 and 55.39%, respectively and on Yuhan Kimberly paper mill sludge 32.22, 41.86, 40.69%, and on cow dung manure, 73.73, 57.89, 76.38%.

Keywords : Earthworm, *Eisenia fetida*, paper mill sludge, cow dung, biomass, excreting rate

초 록

쌍용 P&G 제지공장 및 유한김벌리 제지공장에서 발생한 제지슬러지 또는 우분을 줄지렁이의 먹이로 공급하면서 줄지렁이의 섭식률, 증체율 및 먹이에 대한 배설률을 조사하였다. 제지슬러지를 먹이로 공급하였을 경우에는 줄지렁이의 생체량이 증가하였으나, 우분을 먹이로 공급하였을 때는 먹이급이 70일 후에 지렁

[†]Corresponding author (yhbae@daejin.ac.kr)

이 개체군이 사멸하였다. 섭식한 먹이의 지렁이 생체로의 전환률은 먹이급이 84일후에 건중량 기준으로 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 0.48, 0.40, 0.76%로 유령유충이 입식된 사육상에서 높았고, 유한킴벌리 제지슬러지의 경우 0.26, 0.45, 0.42%로 성충이 입식된 사육상에서 가장 낮았다. 섭식한 먹이에 대한 지렁이의 배설률은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 49.02, 54.32, 55.39%이었고, 유한킴벌리 제지슬러지의 경우 32.22, 41.86, 40.69%로 P&G 제지슬러지에 대한 배설률이 유한 킴벌리에 대한 배설률보다 높았다. 우분에 대한 배설률은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 각각 73.73, 57.89, 76.38%로 제지슬러지보다는 높은 배설률을 나타내었다.

핵심용어 : 줄지렁이, 제지슬러지, 우분, 증체율, 배설률

1. 서론

오늘날 대량으로 쏟아지는 유기성 폐기물을 처리하고 재활용하는데 있어서 지렁이는 가장 환경친화적이고 효율적인 수단으로 인식되고 있어, 선진각국에서는 지렁이의 활용을 위한 기술개발에 노력을 기울이고 있다^{1, 2, 3)}. 우리나라의 경우 지렁이의 중요성을 최근에 인식하기 시작하여 나름대로의 활용을 위한 노력을 하고 있으나, 그 노력이 주로 사업과 관련된 지렁이 처리 시스템 제작에 집중되고 있어, 지렁이 이용의 근간이 되는 생물학적 기초연구는 세계 수준에 크게 못미치고 있다.

통상 지렁이가 유기성 폐기물을 먹게 되면 지렁이 장내로 들어간 유기물은 지렁이의 호흡, 증체, 증식에 쓰이고 나머지는 체외로 배출되게 된다. 환경공학적인 측면에서 지렁이를 이용하여 유기성 폐기물을 처리하고 그 부산물인 증식된 지렁이와 분변토를 재활용하기 위해서는 지렁이의 유기성 폐기물에 대한 단위 시공간당 섭식효율뿐만 아니라 섭식한 유기성 폐기물이 지렁이의 호흡이나 증체, 생식에 이용되고 배설되는 물질수지 관계를 정량화시키는 것이 매우 중요하다.

제지슬러지와 우분은 현재 배출되고 있는 여러 가지 유기성 산업폐기물 중 지렁이에게 가장 안정적인 먹이로 알려져 있다. 따라서 이러한 안정적인 먹이를 대상으로 상기한 물질수지 관계를 정량화시킬 경우 매우 바람직한 선도 연구가 될 뿐만 아니라, 제지슬러지와 우분을 지렁이로 처리하고 재활용하는데 있어서도 처리량과 부산물에 대한 정

보를 예측가능하게 할 것이다. 본 연구에서는 제지슬러지와 우분에 대한 줄지렁이의 섭식효율, 섭식 후 증체율, 배설률 등을 조사하여 지렁이를 이용한 유기성 폐기물 처리시스템 구성의 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 지렁이

대진대학교 생명과학과 환경제어실에서 제지슬러지를 먹이로 누대사육중인 줄지렁이(*Eisenia fetida*) 성충과 유충을 실험대상 지렁이로 이용하였다. 환대가 발생한 것을 성충으로 간주하였으며 환대 발생 후 경과 시간, 즉 성충의 나이는 고려하지 않았다. 성충 개체당 평균 무게는 $0.24 \pm 0.04g$ 이었다. 유충의 경우 개체 당 평균 무게가 $0.18 \pm 0.03g$ 인 것(노령 유충)과 $0.06 \pm 0.02g$ 인 것(유령 유충)을 구분하여 사용하였다.

2.2 급이 시료

제지슬러지와 우분을 지렁이 먹이로 공급하였다. 제지슬러지는 경기도 오산시 소재 P&G 제지공장과 경북 김천시 소재 유한 킴벌리 제지공장에서 발생한 것 두 종류를 이용하였다. P&G 제지슬러지는 30일 동안 부숙된 것을, 유한 킴벌리 제지슬러지는 발생 직후의 것을 이용하였다. 우분은 경기도 포천시 이동면 젓소농가의 축사 바닥에서 수거하여 30일 동안 부숙시킨 후 사용하였다. 축사 바닥에서 우분 수거 당시 우분은 톱밥과 노가 혼합되어 발효

가 진행되고 있는 상태였다.

2.3 지렁이 먹이 급이 및 사육환경

8.2cm×8.2cm×4.1cm(L×W×H)인 플라스틱 상자에 70g의 분변토를 깔아준 후 줄지렁이 성충, 노령 유충, 유령 유충을 각각 3g씩을 입식하였다. 지렁이 입식후 제지슬러지 또는 우분을 사육상자 당 12g씩 급이하였다. 24시간 간격으로 먹이 섭취 여부를 확인하면서 상자 내에 먹이가 떨어지면 다시 12g의 먹이를 공급하여 같은 방법으로 조사하였다. 사육상자에 깔아준 분변토와 공급된 먹이의 건조량을 환산해내기 위해서 분변토와 먹이의 수분을 측정해 두었다. 지렁이는 온도조건 23.5℃, 광주조건 L:D=24:0이 유지되는 환경제어실에서 사육하였다.

2.4 지렁이 생체량, 섭식량, 배설량, 지렁이 수분함량 조사

지렁이의 생체량 조사는 입식 후 2주 간격으로 84일간 실시하였다. 지렁이를 사육상자로부터 잡아내어 표피에 묻은 분변토를 제거하기 위해 물이 담긴 용기에 지렁이를 담귀 세척한 후, 탈지면으로 수분을 제거하여 무게를 측정하였다. 생체량 측정 후에는 지렁이를 다시 사육 상자에 넣어주었다. 섭식량은 매회 공급된 먹이량을 누적하여 산출하였다. 배설량은 생체량 조사시 사육상자 내의 분변토 증가량을 확인하여 측정하였다. 지렁이 생체량, 섭식량, 배설량은 건조량으로 환산하였다.

한편, 지렁이 생체의 수분함량 조사는 실험이 종료된 후 실험에 사용된 지렁이를 10g씩 3반복으로 dry oven에서 60℃로 24시간 건조하여 측정하였다.

2.5 이화학적 성상 조사

지렁이에게 공급된 유기성 폐기물의 pH, 전기전도도(EC), 수분함량(%) 및 유기물함량을 측정하였다. pH는 시료와 증류수를 1:5 비율로 혼합하여 100rpm으로 1시간 교반한 후에 pH meter (Model: Orion 420A)를 이용하여 측정하였다. 전기전도도(EC)는 시료와 증류수를 혼합하

여 5B 여과지로 여과한 후 Conductivity meter (Model: Orion 130)로 측정하였다. 수분함량은 시료를 dry oven(104℃)에서 24시간 건조시켜 측정하였다. 유기물 함량은 dry oven(104℃)에서 건조된 시료를 muffle furnace(600℃)에서 8시간 연소 후에 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 제지슬러지 및 우분의 이화학적 성상

일반적으로 지렁이는 중성의 pH를 선호하며⁴⁾, 강산성이나 강알칼리성이 아니면 적응하여 생존할 수 있는 것으로 보고되었다^{1, 5)}. 지렁이 서식처나 먹이내의 염류농도가 높을 경우 전기전도도(EC)가 높게 나타나는데, 이 경우 지렁이는 체내의 삼투압을 적정 범위내로 조절하는 능력이 상실되어 생리적 장애를 초래하게 된다(Flack 1984). 최¹⁾는 전기전도도에 대한 지렁이의 내성 범위는 750~4885 μ s/cm로 보고한 바 있다. 산화환원전위(Eh)는 지렁이 먹이의 혐기, 호기 상태를 판단할 수 있는 지표로 이용될 수 있는데, 먹이의 Eh가 양의 값을 나타낼 경우 호기적 상태, 즉 지렁이가 섭식하기 유리한 상태로 되어 있다고 판단한다. 먹이의 수분함량에 대한 지렁이의 내성범위는 60~85%로 비교적 넓은 것으로 보고되었다^{2, 7)}.

P&G 및 유한 김벌리 공장에서 발생한 제지슬러지의 pH, EC, Eh 및 수분률은 모두 지렁이의 생존에 적절한 범위의 값을 나타내고 있다(Table 1). 그러나 우분의 경우 pH 및 수분함량은 적정 범위에 있으나 전기전도도 값이 12,570 μ s/cm으로 매우 높으며 산화환원전위는 -318.6mV로 낮아 우분내의 높은 염류농도 및 먹이의 혐기적 상태가 지렁이 섭식에 장애 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 나타났다. 한편 P&G 제지슬러지의 유기물 함량은 61.9%로 유기물 함량 44.1%였던 유한김벌리 제지슬러지보다 높았으며, 우분의 유기물 함량은 56.3%로 나타났다.

줄지렁이 성충 및 노령 유충(개체당 평균 몸무게 0.18g)과 유령 유충(개체당 평균 몸무게 0.06g) 생체의 수분함량은 각각 81.8, 82.5, 81.5%로 연

령간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 다시 말해서 지렁이 생체의 고형분 함량이 각각 18.2, 17.5, 18.5%로 연령간에 큰 차이가 없었으며, 이 값들은 지렁이가 섭식한 먹이의 고형분량이 지렁이 생체로 전환되는 Turnover rate를 환산하는데 활용되었다[Table 2].

3.2 지렁이 생체량 변화

[Fig. 1]은 사육상자에 3g의 줄지렁이 성충, 노령 유충, 유령 유충을 입식하고 P&G 제지슬러지를 먹이로 급이하면서 먹이 급이후 84일 동안 14일 간격으로 사육상자내 줄지렁이의 생체량을 조사한 것이다. 조사기간 동안 유령 유충의 생체량이 노령 유충이나 성충의 생체량보다 높게 유지되었는데, 마지막 조사 시기인 지렁이 입식 84일후의 생체량은 성충, 노령유충, 유령유충을 입식한 상자에서 각각 5.21, 5.02, 6.48g으로 나타났다 [Table 3]. 지렁이 입식 56일까지는 노령유충을 입식한 사육상자에서의 생체량이 성충을 입식한 사육상자에서의 밀도보다 높게 유지되었으나 이후

에는 차이가 없었다.

유한 김벌리 제지슬러지를 먹이로 급이하였을 때 조사 기간동안 지렁이 생체량은 노령 유충을 입식한 사육상자가 성충이나 유령 유충을 입식한 사육상자보다 높게 유지되었다[Fig. 2]. 마지막 조사 시기인 지렁이 입식 84일후의 생체량은 성충, 노령 유충, 유령유충을 입식한 상자에서 각각 4.13, 5.14, 4.74g으로 나타났다[Table 3].

우분을 먹이로 급이하였을 경우에는 지렁이 입식 70일후에 모든 입식 지렁이가 사멸하였는데 [Fig. 3], 이것은 우분이 높은 전기전도도와 낮은 산화환원전위를 나타내었던 것[Table 1]으로 미루어 보아 우분내의 높은 염류농도와 우분의 혐기적 상태가 지렁이 생육을 저해하였기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 우분이 혐기적 상태를 유지하였던 것은 측사에 배출된 우분이 우노와 혼합된 상태에서 충분히 발효되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

유령 유충의 경우 입식 28일후까지는 생체량이 증가하다가 이후 감소하였으며 노령유충은 입식

[Table1] Several Physicochemical Properties of Organic Waste Materials

Organic materials	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Eh (mV)	VS (%)	Water content (%)
Paper mill sludge from P & G ¹	6.9 \pm 0.10	2,096.7 \pm 82.8	584.3 \pm 4.53	61.9 \pm 0.5	72.8 \pm 0.47
Paper mill sludge from Yuhan ²	7.1 \pm 0.10	1,059.2 \pm 109.3	276.1 \pm 12.43	44.1 \pm 0.1	57.3 \pm 0.16
Cow dung manure	6.7 \pm 0.08	12,570.0 \pm 972.2	-318.6 \pm 16.32	56.3 \pm 0.5	75.3 \pm 0.25

¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory

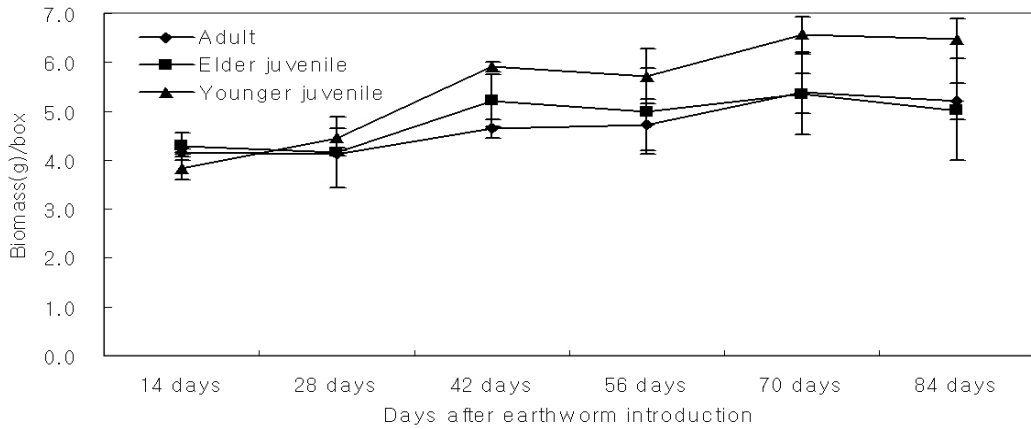
²Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory

[Table2] Water Content in the Biomass of Earthworm(Eisenia fetida)

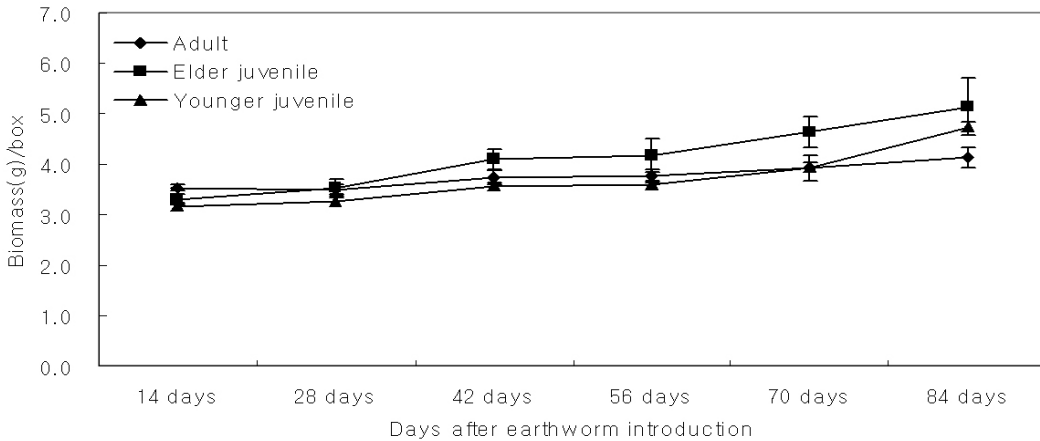
Life stage	Water content (%)	Total solid (%)
Adult	81.8 \pm 0.02	18.2 \pm 0.02
Elder juvenile	82.5 \pm 0.03	17.5 \pm 0.03
Younger juvenile	81.5 \pm 0.00	18.5 \pm 0.00

Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g

Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g



[Fig. 1] Changes in biomass of earthworms(*Eisenia fetida*) when 3 grams of earthworms was introduced into the nursery box and fed with paper mill sludge of P&G¹.
¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory
 Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g
 Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g



[Fig. 2] Changes in biomass of earthworms(*Eisenia fetida*) when 3 grams of earthworms was introduced into the nursery box and fed with paper mill sludge of Yuhan¹.
¹Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory
 Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g
 Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

14일까지는 약간 증가하였으나 이후 지속적으로 감소하였다. 성충의 경우는 입식 후부터 지속적으로 감소하다가 사멸하였다. 따라서 지렁이의 유충 기간이 적정온도에서 약 30일 정도임을 감안할 때, 급이된 먹이에 대하여 유충은 성충이 될 때까지 어

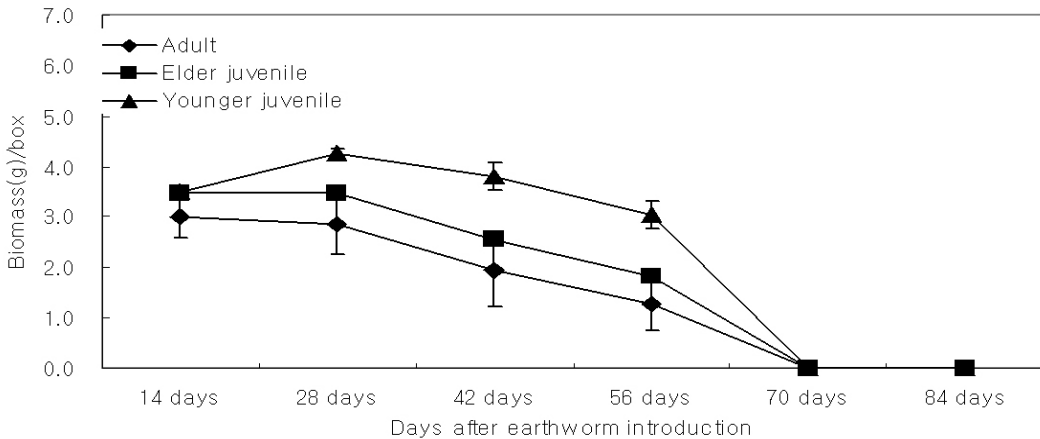
느 정도는 영양 생장을 하나 성충으로 성장한 후에는 전혀 생식 생장이 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

전반적으로 지렁이의 생체량이 P&G 제지슬러지를 먹이로 급이한 경우가 유한 김벌리 제지슬러지

[Table 3] Biomass of Earthworms(*Eisenia fetida*) on 84 Days After 3 Grams of Earthworms was Introduced Into the Nursery Box and Fed With Organic Wastes

Organic waste material	Life stage of introduced earthworm		
	Adult	Elder juvenile	Younger juvenile
Paper mill sludge from P & G ¹	5.21 ± 0.38	5.02 ± 1.04	6.48 ± 0.42
Paper mill sludge from Yuhan ²	4.13 ± 0.20	5.14 ± 0.57	4.74 ± 0.10

¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory
²Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory
 Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g
 Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g



[Fig. 3] Changes in biomass of earthworms(*Eisenia fetida*) when 3 grams of earthworms was introduced into the nursery box and fed with cow dung manure.
 Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g
 Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

를 급이한 경우보다 높게 유지되는 경향을 나타내었는데[Fig. 1과 2, 이것은 P&G 제지슬러지가 유한 김벌리 제지슬러지보다 유기물 함량이 높았던 것[Table 1]과 관련이 있는 것으로 생각된다. 이러한 경향은 지렁이 입식 56일후의 성충이나 유충 입식 상자내의 생체량[Table 4]이 P&G 제지슬러지, 유한 김벌리 제지슬러지, 우분을 먹이로 급이한 순으로 낮아지는 것에서 뚜렷하게 알 수 있다.

3.3 줄지렁이의 증체율 및 배설물

지렁이가 섭취한 먹이는 지렁이의 증체, 생식 및 호흡에 이용되고 나머지는 체외로 배설된다. 유기

성 폐기물을 지렁이에게 먹여 지렁이와 분변토를 생산한다는 측면에서 먹이에 대한 지렁이의 생장률 및 배설물은 지렁이 사육 산업의 경제성을 평가 하는데 매우 중요한 정보를 제공한다.

3g의 줄지렁이 성충, 노령 유충 및 유령 유충에 P&G 제지슬러지와 유한 김벌리 제지슬러지를 84 일 동안 공급하면서 먹이 섭취량, 줄지렁이의 증체율 및 배설물을 건중량 기준으로 조사하였다 [Table 5, 6].

84일 동안 줄지렁이가 섭취한 제지슬러지의 건중량은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 85.86, 85.89, 87.00g, 유한

[Table 4] Biomass of Earthworms(*Eisenia fetida*) on 56 Days After 3 Grams of Earthworms was Introduced Into the Nursery Box and Fed With Organic Wastes

Organic waste material	Life stage of introduced earthworm		
	Adult	Elder juvenile	Younger juvenile
Paper mill sludge from P & G ¹	4.72 ± 0.54	4.99 ± 0.87	5.72 ± 0.56
Paper mill sludge from Yuhan ²	3.77 ± 0.14	4.16 ± 0.33	3.60 ± 0.08
Cow dung manure	1.27 ± 0.50	1.83 ± 0.05	3.03 ± 0.27

¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory

²Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory

Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g

Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

[Table 5] Turnover Rate of Paper Mill Sludge Into Earthworm(*Eisenia fetida*) Biomass When 3 Grams of Earthworms was Fed With Paper Mill Sludge For 84 Days

Feeding material	Life stage of earthworms introduced	Gross amount of organic material consumed (g, d.w.)	Increased biomass of earthworms (g, d.w.)	Turnover rate into biomass (%)
Paper mill sludge from P & G ¹	Adult	85.86 ± 1.61	0.41 ± 0.07	0.48
	Elder juvenile	85.89 ± 1.57	0.34 ± 0.18	0.40
	Younger juvenile	87.00 ± 0.00	0.66 ± 0.08	0.76
Paper mill sludge from Yuhan ²	Adult	79.65 ± 2.50	0.21 ± 0.04	0.26
	Elder juvenile	79.65 ± 2.50	0.36 ± 0.10	0.45
	Younger juvenile	81.42 ± 0.00	0.34 ± 0.02	0.42

¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory

²Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory

Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g

Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

김벌리 제지슬러지의 경우 79.65, 79.65, 81.42g으로 초기 입식된 지렁이의 연령에 따라 섭식량 차이가 없었으나, P&G 제지슬러지에 대한 섭식량이 유한 김벌리에 대한 섭식량보다 높았다. 섭식한 먹이의 지렁이 생체로의 전환률[Table 5]은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 0.48, 0.40, 0.76%로 유령유충이 입식된 사육상에서 가장 높았고, 유한김벌리 제지슬러지의 경우 0.26, 0.45, 0.42%로 성충이 입식된 사육상에서 가장 낮았다. 전반적으로 P&G 제지슬러지보다 유한 김벌리 제지슬러지에서 생체전환률이 낮았던 것은 P&G 제지슬러지보다 유한 김벌리 제지슬러지의 유기물 함량이 낮았던 것[Table 1]과

관련이 있는 것으로 판단된다. 통상 우분, 돈분의 생체 전환률이 10%, 오리분의 경우 1%로 보고된 것^{8, 9)}에 비하면 본 조사에서 제지슬러지의 생체전환률은 0.76% 미만으로 현저하게 낮은 것으로 나타났다. 이것은 제지슬러지의 영양적인 측면, 2주간격으로 사육상자를 뒤엎어 지렁이를 골라내고 세척하는 조사과정이 지렁이에게 가한 스트레스 등이 작용하였기 때문인 것으로 판단된다.

섭식한 먹이에 대한 지렁이의 배설물[Table 6]은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 49.02, 54.32, 55.39%이었고, 유한김벌리 제지슬러지의 경우 32.22, 41.86, 40.69%로 P&G 제지슬러지에 대한 배설물이 유

[Table 6] Excreting Rate of Earthworms(*Eisenia fetida*) When 3 Grams of Earthworms Was Fed With Paper Mill Sludge For 84 Days

Feeding material	Life stage of earthworm introduced	Gross amount of organic material consumed (g, d.w.)	Gross amount of organic material excreted (g, d.w.)	Excreting rate (%)
Paper mill sludge from P & G ¹	Adult	85.86 ± 1.61	42.08 ± 0.50	49.02 ± 0.34
	Elder juvenile	85.89 ± 1.57	46.66 ± 0.69	54.32 ± 0.19
	Younger juvenile	87.00 ± 0.00	48.19 ± 0.00	55.39 ± 0.00
Paper mill sludge from Yuhan ²	Adult	79.65 ± 2.50	25.53 ± 3.39	32.22 ± 5.38
	Elder juvenile	79.65 ± 2.50	33.34 ± 2.13	41.86 ± 2.35
	Younger juvenile	81.42 ± 0.00	33.13 ± 3.05	40.69 ± 3.75

¹Paper mill sludge produced from Ssangyong P & G paper manufacturing factory

²Paper mill sludge produced from Yuhan Kimberly paper manufacturing factory

Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g

Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

[Table 7] Increased biomass and excreting rate of earthworms(*Eisenia fetida*) when 3 grams of earthworms was fed with cow dung manure for 58 days

Feeding material	Life stage of earthworm introduced	Gross amount of organic material consumed (g, d.w.)	Increased biomass of earthworms (g, d.w.)	Gross amount of organic material excreted (g, d.w.)	Excreting rate (%)
Cow dung manure	Adult	23.44 ± 3.08	-0.30 ± 0.11	15.66 ± 2.74	73.73 ± 2.47
	Elder juvenile	27.88 ± 2.48	-0.22 ± 0.06	20.67 ± 3.30	57.89 ± 1.43
	Younger juvenile	33.38 ± 1.47	0.04 ± 0.01	28.67 ± 1.54	76.38 ± 2.37

Elder juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.18g

Younger juvenile : Average individual biomass of introduced earthworm was 0.06g

한 킴벌리에 대한 배설률보다 높았다. 그리고 유충 보다는 성충의 배설률이 낮게 나타났는데, 그것이 연령에 따른 소화율의 차이에 기인한 것인지에 대해서는 보다 정밀한 검토가 요망된다.

한편, 3g의 줄지렁이 성충, 노령 유충 및 유령 유충에 우분을 58일 동안 공급하였을 때, 줄지렁이의 증체율은 각각 -0.30, -0.22, 0.04%로 생체량이 감소하거나 거의 증가하지 않았는데, 먹이 급이 당시 우분의 이화학적 성상이 지렁이에게 부적합한 상태(Table 7)로 있었기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 우분에 대한 배설률은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 각각 73.73, 57.89, 76.38%로 제지슬러지에서보다는 높게 나타났다.

4. 결론

쌍용 P&G 제지공장 및 유한 킴벌리 제지공장에서 발생한 제지슬러지와 우분을 줄지렁이의 먹이로 공급하면서 줄지렁이의 섭취량, 생체량 증가율 및 먹이에 대한 배설률을 조사하였다.

제지슬러지를 먹이로 공급하였을 경우에는 줄지렁이의 생체량이 증가하였으나(Fig. 1), [Fig. 2], [Table 3], 우분을 먹이로 공급하였을 때는 먹이급이 56일 이후에 지렁이가 개체군이 사멸하였다(Fig. 3). 우분에서 지렁이가 사멸한 것은 우분의 높은 전기전도도 및 낮은 산화환원전위(Table 1)와 관련이 있었던 것으로 판단된다. 따라서 우분

을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 우분을 충분히 부숙시키거나 다른 부자재와 혼합하여 우분내 염류농도를 저하시키고 호기적 상태로 변환시키는 과정이 필요한 것으로 생각된다.

P&G 제지슬러지에 대한 지렁이의 섭식량이 유한 킴벌리 제지슬러지에 대한 섭식량보다 높았으며, 초기 입식 지렁이의 연령에 따른 섭식량의 차이는 없었다(Table 5).

섭식한 먹이의 지렁이 생체로의 전환률(Table 5)은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 0.48, 0.40, 0.76%로 유령 유충이 입식된 사육상에서 가장 높았고, 유한 킴벌리 제지슬러지의 경우 0.26, 0.45, 0.42%로 성충이 입식된 사육상에서 가장 낮았다. 전반적으로 P&G 제지슬러지보다 유한 킴벌리 제지슬러지에서 생체 전환률이 낮았던 것은 P&G 제지슬러지보다 유한 킴벌리 제지슬러지의 유기물 함량이 낮았던 것 [Table 1]과 관련이 있는 것으로 판단된다.

섭식한 먹이에 대한 지렁이의 배설물(Table 6)은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 순으로 P&G 제지슬러지의 경우 49.02, 54.32, 55.39%이었고, 유한 킴벌리 제지슬러지의 경우 32.22, 41.86, 40.69%로 P&G 제지슬러지에 대한 배설물이 유한 킴벌리에 대한 배설물보다 높았다. 그리고 유충보다는 성충의 배설물이 낮게 나타났는데, 그것이 연령에 따른 소화율의 차이에 기인한 것인지에 대해서는 보다 정밀한 검토가 요망된다. 그러나 우분에 대한 배설물은 성충, 노령 유충 및 유령 유충 각각 73.73, 57.89, 76.38%로 제지슬러지보다는 높은 배설물을 나타내었다(Table 7).

사사

이 논문은 대전대학교의 연구지원금에 의해 수행되었습니다. 대전대학교 당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최훈근, “유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이

를 이용한 퇴비화 슬러지급이와 사육조건에 관한 연구”, 서울시립대학교 환경공학과 박사학위논문. p. 106 (1992).

2. Edwards C. A., P.J. Bohlen, “Biology and Ecology of earthworm” p. 426. Chapman and Hall (1996).

3. Sun J., “Vermiculture & Vermiprotein”, p. 366, China Agricultural University Press, China (2003).

4. Rivero-Hernandez, R. “Influence of pH on the production of *Eisenia fetida*.” *Avanc. Animent. Anim.* 31(5), pp. 215-21, (1991).

5. 나영은, 이상범, 한민수, 김세근, 최동로, “밭 토양에서 지렁이 서식에 영향을 주는 토양특성에 관한연구”, *한국토양동물학회지*, 5(2), pp. 165~168 (2000).

6. Flack, M., R. Hartenstein, “Growth of the earthworm *Eisenia foetida* on microorganism and cellulose”, *Soil Biology and Biochemistry*, 16, pp. 491~495.

7. Gunad, B., C. A. Edwards, C. Blount, “The influence of different moisture levels on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida*(Savigny) in cattle and pig manure solis”, *European journal of Soil biology*, 39(1), pp. 19~24 (2003).

8. Edwards, C A., “Breakdown of animal, vegetable, and industrial organic wastes by earthworms. *Agric. Ecosys. Environ.*, 24, pp. 21~31 (1988).

9. Neuhauser, E. F., R. C. Loehr, M. R. Malecki, “The potential of earthworms for managing sewage sludge, in *Earthworms and Waste management*, SPB Acad. Publ, The Netherlands, pp. 9~20. 