

# 전처리된 음식물 쓰레기와 인분케익의 혼합물 급이시 온도에 따른 줄지렁이 개체군의 생체량 및 먹이 섭취효율

배 윤 환 · 심 미 진\* · 나 영 은\*\*

(대전대학교 생명과학과, \*서울대학교 농생명공학부 대학원, \*\*농업과학기술원 환경생태과)

## Biomass and Feeding Rate of *Eisenia fetida* Populaton when Precomposted Mixture of Food Waste and Night Soil Sludge was Supplied as Food

Bae, Yoon-Hwan, Mijin Sim\* and Young Eun Na\*\*

(Department of Life Science, Daejin University,

\*School of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Suwon, 441-744,

\*\*Division of Agricultural Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea)

### ABSTRACT

Food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* populatlon at various temperatures (5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35°C). The biomass of earthworms one month after feeding at 20-32°C was about two times more than that of the introduced earthworms, increasing rate of which was much higher than them at the other tested temperatures. There were decreases at temperatures below 7°C, and less increases at temperatures of 8-10°C in biomass. Earthworms could not survive at temperatures at 34°C and 35°C. Feeding rates of earthworms were much higher at 20-32°C than them at the other tested temperatures, and there were no differences among them at temperatures of 20-32°C. But at 3 months after feeding, the biomass and feeding rate of earthworms decreased severely even at 20°C and 30°C, which was supposed to be due to the long term effect of salts, especially sodium chloride (NaCl) in the food wastes.

**Key words :** Vermistabilization, earthworm, biomass, feeding rate, *Eisenia fetida*

### 서 론

대량생산, 대량소비의 현대 산업사회에서 필연적 산물로 폐기물이 대량 생산된다. 이러한 폐기물은 생태계의 자연스러운 물질순환 과정의 구성인자로 작동하지 못하고 소위 환경오염물질로 남게된다. 폐기물의 화학적 성상이 주로 유기물로 이루어져 있는 것을 소위 '유기성 폐기물'이라고 하는데 음식물 쓰레기, 하수슬러지, 제지슬러지, 가축분뇨, 인분케익 각종 식품 슬러지 등이 이것에 해당된다.

우리 나라의 음식물 쓰레기는 2000년 기준으로 1일 발생량이 11,434톤에 이르고 있으며 이것의 55% 정도를 매립, 해양투기, 소각에 의해 처리하고 있다(2001 환경부). 그러나 이러한 처리 방법이 야기하는 침출수, 다이옥신, 악취 등과 같은 2차 오염 및 에너지 낭비의 문제는 매우 심각

한 상태에 있다.

부식성의 식성을 가진 지렁이가 유기성 폐기물을 섭취하는 자체가 폐기물 처리가 되고, 유기성 폐기물 섭취후 증식된 지렁이는 의약품과 화장품 원료, 사료첨가제 등으로 이용되며 지렁이가 배설한 분변토는 유기질 비료, 토양개량제 등으로 활용될 수 있어 지렁이를 이용하여 유기성 폐기물을 처리하는 것은 지금까지 제시된 어떤 처리방법보다 환경친화적인 처리법으로 인식되고 있다.

지렁이의 장점을 이용하여 현재 우리 나라의 몇몇 지자체(경기도 여주군, 경남 남해군)는 관내에서 발생하는 음식물 쓰레기를 처리하려는 시도가 이루어지고 있으나, 음식물 쓰레기를 지렁이 식성에 맞추어 주는 소위 '전처리' 기술 부족 및 우리 나라 여름철의 고온, 겨울철의 저온에 적응하지 못하는 지렁이의 생리적인 특성으로 인하여 그

다지 효율적인 처리가 이루어지지 않고 있다.

우리 나라에서 발생하는 음식물 쓰레기내의 과도한 수분과 염분함량은 음식물 쓰레기 재활용에서 결정적인 걸림돌로 작용하고 있는데, 지렁이는 염분에 민감한 거부반응을 보이기 때문에 지렁이를 이용한 음식물 처리에서는 수분보다 염분의 문제가 더 심각하다. 음식물 쓰레기내 수분과 염분 농도를 낮추는 방법으로는 음식물 쓰레기를 파쇄, 탈수함으로써 수분과 염분을 배출시키는 방법과 다른 부자재를 섞어주는 방법이 이용될 수 있는데, 배와 강(2002)은 파쇄, 탈수된 음식물 쓰레기를 인분케익과 혼합하여 21일 동안 부숙시킨 먹이를 줄지렁이에게 1개월간 급이한 결과 부작용이 일어나지 않았음을 보고한 바 있다.

본 연구에서는 우리 나라와 같이 계절에 따른 온도변이가 심한 지역에서 폐기물 처리를 위한 지렁이 사양관리 기술 개발의 기초자료로 활용하고자 배와 강(2002)의 방법으로 제조된 음식물 쓰레기 및 인분케익 혼합물을 서로 다른 온도에서 장기간 먹이로 주었을 때, 줄지렁이 개체군의 온도에 따른 생체량 변화 및 먹이 섭식효율을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 혼합시료 제조

음식물 쓰레기는 서울시 도봉구청 음식물쓰레기 처리장에서 파쇄, 탈수된 것을 사용하였으며 인분케익은 난지도 분뇨처리장에서 발생된 것을 사용하였다. 음식물 쓰레기와 인분케익을 무게비 1:1로 혼합하였으며, 혼합된 시료 100 kg을 직경 85 cm, 높이 25 cm의 원통형 플라스틱용기에 담아 20±8°C의 온실에서 21일간 부숙시켰으며 부숙 과정 중 3일 간격으로 부숙물을 뒤집어 주었다. 부숙된 시료는 4°C 항온기에 보관하면서 먹이로 공급하였다.

### 지렁이의 섭식반응 조사

14π cm<sup>2</sup> × 7 cm (밑넓이 × 높이) 스티로폼 상자에 Bed material로서 분변토 150 g을 깔아준 후 대전대학교 환경재어실에서 누대사육중인 줄지렁이를 성충과 유충을 구분하지 않고 상자당 5g씩 입식하였다. 지렁이가 입식된 상자에 부숙시료 20g씩 먹이로 급이하였으며 상자내 먹이의 수분증발을 방지하기 위하여 사육상자 표면을 부직포로 덮어 주었다. 섭식정도를 24시간 간격으로 육안으로 조사하였으며 급이된 먹이를 100% 섭식하였을 때 다시 20g의 먹이를 급이하고 같은 방법으로 3개월간 조사를 계속하였다. 조사과정 중 먹이의 수분률이 65-75%가 유지되도록 소형 스프레이를 이용하여 수분을 공급하였다. 온도조건이 각각 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C로 유지되는 인큐베이터에 지렁이가 입식된 상자를 넣어 사육하였다. 광

조건은 L:D=0:24였고 반복수는 3개였다.

상기 실험완료후 6°C, 7°C, 8°C, 9°C의 저온 영역과 31°C, 32°C, 33°C, 34°C의 고온 영역에서 섭식반응을 조사하였으며 이 실험 역시 온도 조건 외에는 위의 시험과 동일한 조건 속에서 이루어졌다.

### 지렁이의 생체량 조사

상기 섭식속도 실험과정에서 지렁이의 입식후 1개월 간격으로 상자내 지렁이들을 수작업으로 분리하였다. 분리된 지렁이들은 수돗물에 담구어 지렁이 표피에 붙은 분변토를 제거한 후에 KIMTOWELS를 이용하여 지렁이 표피의 물기를 흡수시킨 후 생체량을 측정하였다. 생체량 측정후 지렁이는 다시 본래의 사육상자에 넣어주었다. 사육상자로 부터 지렁이 분리시 지렁이 난포는 제외하였다.

### 이화학적 특성조사

부숙된 시료의 몇가지 이화학적 특성을 다음과 같이 조사하였다. 전기전도도는 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 5B여과지로 여과 후에 conductivity meter (Model: Orion 130)로 측정하였으며 pH는 전기전도도를 측정했던 시료에 대하여 pH meter (Model Orion 420A)를 사용하여 측정하였다. 유기물량은 시료를 dry oven (104°C)에서 24시간 건조후에 먹이로 갈아 분말로 만든 후 600°C의 전기로에서 8시간 동안 연소한 후 다음 식으로 계산하였다. 유기물(%) = ((소화 전 시료무게 - 소화 후 시료무게) / 소화 전 시료무게) \* 100

수분률은 dry oven (104°C)에서 24시간 건조 후 다음 식으로 산출하였다. 수분률(%) = ((건조전 시료무게 - 건조 후 시료무게) / 건조 전 시료무게) \* 100

## 결과 및 고찰

### 지렁이 먹이의 이화학적 성상

일반적으로 생물은 여러 가지 이화학적 환경요인에 대해 내성한계 범위를 가지고 있으며 구체적인 내성한계 범위는 생물의 종류에 따라 다르다. 지렁이를 이용한 폐기물 처리에 있어서 지렁이가 이화학적 환경요인에 대해서 나타내는 내성한계 범위에 관한 정보는 해당 폐기물의 지렁이 처리 가능성 여부를 판단하는 효율적인 지표(indicator)가 되기도 한다.

최(1992)는 붉은지렁이 (*Lumbricus rubellus*)의 경우 산성도에 대한 내성 범위는 pH 5.4-8.5이었고, 산화환원전위에 대한 내성범위는 -122-210 mV, 전기전도도(EC)에 대한 내성범위는 750-15,000 μs/cm이었다고 보고하였다. 또한 국내의 지렁이 농장에서 먹이로 이용하는 인분케익, 제지슬러지, 가축분 등의 이화학적 성상의 경우 pH 6.0-7.0, 산화

## Biomass and Feeding Rate of *Eisenia fetida* (Oligochaeta) Population

**Table 1.** Physiochemical properties of food waste which was mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w)

Physiochemical properties	Values
pH	8.2±0.08
EC (μs/cm)	3807±197
Water content (%)	73.6±0.16
VS (%)	79.8
NaCl (dried material)	1.70
NaCl (raw material)	0.45

환원전위 110-170 mV, 전기전도도(EC) 1,950-4,900 μs/cm의 범위를 나타내었다고 보고하였다. 지렁이가 잘 서식하고 있는 농장임을 고려할 때, 상기의 이화학적 성상 값들은 지렁이 생장에 적절한 범위가 될 수 있음을 시사한다. 한편 먹이의 수분함량에 대한 지렁이의 내성범위는 60-85%로 비교적 넓은 것으로 알려져 있으며 지렁이 먹이내 염류농도는 0.5% 이하가 되어야 한다고 하였다(Edwards와 Bohlen 1996).

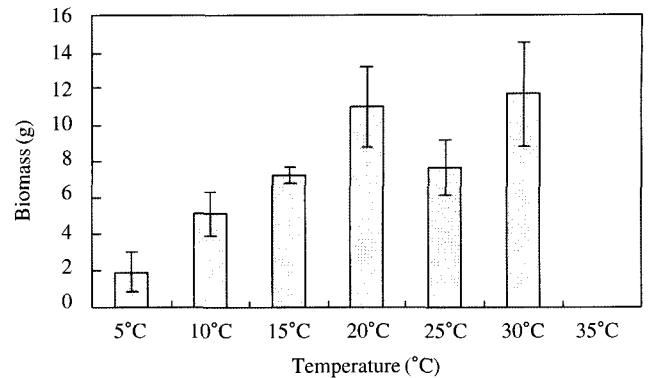
Rivero-Hernandez (1991)는 본 실험에서 사용된 줄지렁이(*Eisenia fetida*)에 대한 적정 pH 범위를 7.0-8.0이라고 하였으나, Edwards(1988)는 줄지렁이가 견딜 수 있는 pH 범위가 4.0-7.0라고 하여 연구자들 간에 이견을 보이고 있으나 일반적으로 줄지렁이의 pH에 대한 내성 범위는 넓은 것으로 알려져 있다 (Edwards와 Bohlen 1996).

상기의 보고들을 고려하였을 때, 본 실험에서 줄지렁이에게 급여된 ‘음식물 쓰레기+인분케익 혼합’ 부숙물의 이화학적 성상 중 pH, 전기전도도, 수분률, 유기물함량 등은 내성한계에서 벗어나 있지 않았음을 알 수 있다(Table 1). 다만 먹이내 수분량을 고려한 NaCl의 농도가 0.45로서 Edwards와 Bohlen (1996)이 내성 한계로서 제시한 염류 농도 0.5%에 육박하고 있었다.

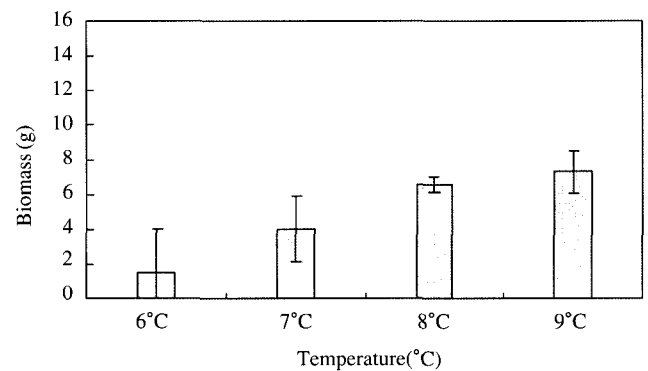
### 온도에 따른 생체량

일반적으로 온도는 생물의 행동, 대사, 호흡, 성장, 생식 등 생명활동 전반에 걸쳐 중요한 제한 요인으로 작용한다. 줄지렁이의 성장 최적온도는 25°C이고(Edwards 1988), 10-25°C에서 온도가 올라갈수록 난포 생산수는 증가하였으나 난포당 부화충수는 25°C에서보다 20°C에서 더 많아(Reincke and Kriel 1981), 지렁이의 성장속도 및 활동성이 큰 온도와 지렁이 개체군이 증식할 수 있는 온도와는 반드시 일치하지 않을 수도 있음을 시사하고 있다(Edwards와 Bohlen 1996).

음식물쓰레기와 인분케익을 혼합하여 1개월 부숙시킨 시료를 서로 다른 온도에서 5g의 줄지렁이에게 급여한 후 1개월 후의 생체량을 측정하였을 때, 15-30°C에서는 생체량이 증가하였으나, 10°C에서는 거의 증가하지 않았고 5°C에서는 오히려 감소하였으며, 35°C에서는 모두 사멸하였다



**Fig. 1.** Biomass of earthworms one month after feed supply. Food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population at various temperatures.



**Fig. 2.** Biomass of earthworms one month after feed supply. Food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population at several temperatures lower than 10°C.

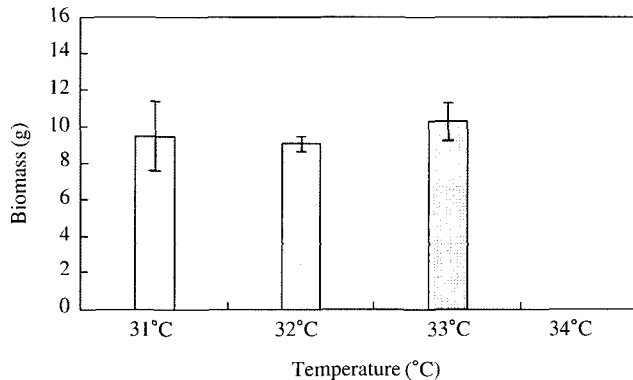
(Fig. 1). 줄지렁이의 최적 성장온도가 25°C라고 보고된 것(Edwards 1988)과는 달리 본 조사에서는 25°C에서의 생체량이 20°C나 30°C에서의 생체량보다 현저히 작은 것으로 나타났는데, 이는 25°C의 조건이 주어진 인큐베이터의 모타 진동과 소음, 내부 건조 등 기계적인 결함과 관련이 있었던 것으로 판단된다. 일반적으로 지렁이는 진동이나 소음을 싫어하는 것으로 알려져 있다(Edwards와 Bohlen 1996). 먹이 급여 1개월 후 20°C와 30°C에서의 생체량은 11-12 g으로 1개월 동안 처음 입식량의 약 2배 정도 증가한 것으로 나타났다.

10°C 미만의 저온 영역(6°C, 7°C, 8°C, 9°C)에서 1개월 후 생체량의 경우 7°C 이하에서는 감소하였고, 8°C, 9°C에서는 1-2 g 정도 증가하였다(Fig. 2). 한편 10°C에서 생체량(Fig. 1)보다 8°C, 9°C에서의 생체량이 약간 높은 것으로

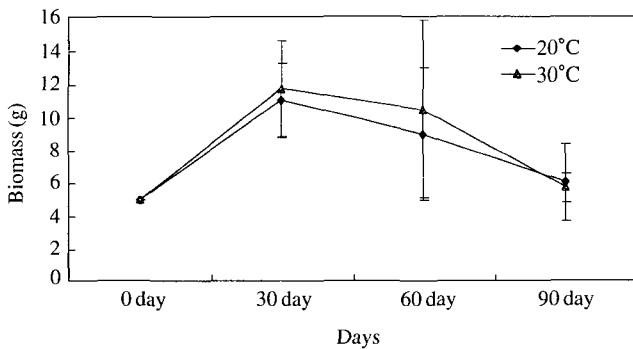
나타났는데, 이는 두 실험의 수행시기가 달랐던 것에 기인한 것으로 판단된다.

31°C 이상의 고온 영역(31°C, 32°C, 33°C, 34°C)에서 1개월 후 생체량이 경우 31-33°C에서는 9-10 g으로(Fig. 3) 30°C에서 생체량보다 약간 낮은 생체량을 나타내었다. 그러나 34°C에서는 35°C에서와 마찬가지로 전 개체가 사멸하여 줄지렁이의 고온에 대한 내성한계온도가 33-34°C일 것임을 시사하고 있다.

그러나 먹이급이 1개월 후 생체량이 높았던 20°C, 30°C에서 먹이 급이 2개월 후에는 생체량이 1개월 후보다 감소하였고 먹이 급이 3개월 후에는 감소폭이 더 커져 처음 입식밀도 5g보다 약간 높은 약 7g 정도의 생체량을 나타내었다(Fig. 4). 이것은 먹이 급이 기간이 길어짐에 따라 먹이내에 존재하는 염분의 체내 축적에 의한 중독 증상인 것으로 생각된다. 실제로 먹이내 NaCl 농도는 Edwards와



**Fig. 3.** Biomass of earthworms one month after feed supply. Food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population at several temperatures between 31°C and 34°C.



**Fig. 4.** The amounts of feed stuffs eaten out by the earthworms each month when food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population for three months.

Bohlen (1996)이 내성 한계로서 제시한 염류 농도 0.5%에 육박하는 0.45% (Table 1)로서 장기간 먹이 급이시 염분에 의한 만성중독 증상을 나타낼 수 있는 농도였다고 판단된다. 따라서 본 실험에 적용된 음식물 전처리 방법, 즉 파쇄, 탈수된 음식물 쓰레기를 인분케익과 무게비 1:1로 혼합하여 21일 부숙시킨 먹이는 장기적으로 지렁이에게 부작용을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 음식물 쓰레기의 지렁이 처리를 위한 전처리 방법 개발을 위해서는 음식물 쓰레기의 파쇄, 탈수 강도를 높이는 것, 음식물 쓰레기와 혼합용 유기물의 양을 증가시키는 것, 다른 종류의 혼합물을 이용하는 것 등에 대한 복합적인 검토가 있어야 할 것이다.

**온도에 따른 섭식량**

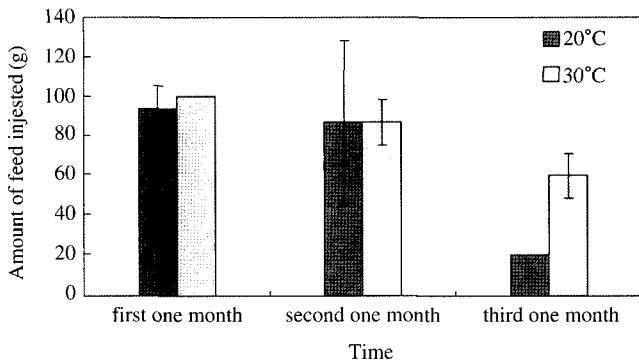
향후 유기성 폐기물의 종류, 지렁이 종에 따른 섭식효율에 관한 실험적 평가가 이루어져야 하겠지만, 지렁이 사육가들의 경험에 의하면 줄지렁이의 유기성 폐기물 처리량은 하루동안 지렁이 체중의 0.5-1.0배라고 한다. 따라서 경험적 처리량을 기준으로 한다면, 5g의 줄지렁이는 하루에 2.5-5.0g의 폐기물을 처리할 수 있으며 5g의 지렁이가 20g의 먹이를 섭식하는데 걸리는 시간은 4-8일 정도로 추산할 수 있다.

음식물 쓰레기를 인분케익과 혼합하여 21일 부숙시킨 먹이 20g을 서로 다른 온도에서 5g의 줄지렁이가 섭식하는데 걸린 시간 (Table 2)은 25°C를 제외하면 20-31°C에서 146.0-156.7시간 (6.1-6.5일)으로 다른 온도에서보다 높은 섭식 속도를 나타내었다. 15°C에서는 268.8시간 (11.2일)으로 20°C에서보다 현저하게 섭식속도가 떨어져 있으며 10°C에서는 564.0시간 (23.5일)이었고 9°C 이하에서는 실험기간내에 20g의 먹이를 다 섭식하지 못하여 적어도 10°C 이하의 온도에서는 줄지렁이를 이용한 유기성 폐기물 처리

**Table 2.** Time (hours) needed to eat out the 20 g of feed stuffs for the *Eisenia fetida* population at various temperature when food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population

Temperature	Hours/20 g feed/5 g earthworms	Days/20 g feed/5 g earthworms
5, 6, 7, 8, 9°C	Feeding impossible	
10°C	564.0 ± 67.90	23.5
15°C	268.8 ± 8.31	11.2
20°C	148.1 ± 22.08	6.2
25°C	178.0 ± 7.55	7.4
30°C	146.0 ± 6.43	6.1
31°C	156.7 ± 40.40	6.5
32°C	200.0 ± 0.00	8.3
33°C	164.0 ± 3.46	6.8
34, 35°C	Feeding impossible	

## Biomass and Feeding Rate of *Eisenia fetida* (Oligochaeta) Population



**Fig. 5.** Changes in biomasses of earthworms when food waste which had been mixed with night soil sludge and composted for 21 days (mixing ratio = food waste/paper mill sludge = 1, w/w) was supplied to the 5 g of *Eisenia fetida* population for three months.

는 현실성이 없는 것으로 판단된다.

32°C에서는 200.0시간(8.3일)으로 31°C에서보다 오랜 시간이 걸렸으며, 34°C, 35°C에서는 지렁이가 사멸하여 아예 섭식 자체가 불가능하였다. 33°C에서는 164.0시간(6.8일)으로 오히려 32°C에서보다 섭식속도가 빨라졌는데, 이것이 고온의 스트레스에 대한 생리적 보상작용에 의한 섭식자극의 결과인지, 인큐베이터의 온도설정 오류인지는 좀더 검토해봐야 될 것으로 생각된다. 그리고 섭식속도 또는 단위 시간당 섭식량(Table 2)과 1개월후의 생체량(Figs. 1, 2, 3)과는 상당한 양의 상관관계가 있는 것으로 보인다. 이상의 결과에서 20-31°C의 온도에서는 전처리된 음식물 쓰레기에 대한 지렁이의 섭식이 효율적으로 이루어질 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 보다 효율적인 지렁이 사양관리를 위해서는 15°C와 2°C 사이에서의 섭식속도 변화양상도 평가될 필요가 있는 것으로 생각된다.

한편 처음 입식된 5g의 지렁이가 20°C와 30°C에서 3개월간 섭식한 먹이량을 월별로 표시하였을 때(Fig. 5), 입식 후 1개월후부터 2개월 사이에 섭식량이 처음 1개월간 섭식량보다 감소하는 경향을 보였으며, 입식 후 2개월 후부터 3개월 사이에는 그 감소폭이 더 현저하게 나타났다. 이것은 3개월간 먹이 급이시 지렁이의 생체량이 시간이 경과함에 따라 감소했던 것(Fig. 4)에 대한 설명이 될 수 있으며, 음식물 쓰레기내 염분의 체내축적에 의한 생리활성 저하에 기인한 것으로 판단된다.

## 적 요

서울시 도봉구 음식물 처리장에서 파쇄, 탈수된 음식물 쓰레기를 서울시 난지도 하수처리장에서 발생한 인분케익

과 무게비 1:1로 혼합하여 21일간 부숙시킨 부숙물을 먹이로 급이하면서, 서로 다른 온도(5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30, 31, 32, 33, 34, 35°C)에서 지렁이의 생체량 및 섭식속도를 조사하였다.

먹이 급이 1개월 후 지렁이의 생체량이 20-32°C에서는 약 2배 정도 증가했으며, 34°C 이상에서는 지렁이가 사멸하였고, 8-10°C에서는 증가량이 현저히 작아졌으며, 7°C 이하에서는 생체량이 오히려 감소하였다. 그러나 시간이 경과함에 생체량이 감소하였는데 이것은 음식물 쓰레기내 염분이 지렁이 체내에 축적되어 나타난 부작용인 것으로 판단된다.

20-31°C에서 지렁이의 섭식속도는 온도에 따른 차이가 없었으며 15°C 이하에서의 섭식 속도보다 월등하게 높았으며 34°C 이상에서는 지렁이 사멸로 섭식이 불가능하였다.

따라서 지렁이를 이용하여 음식물 쓰레기와 인분케익을 혼합하여 전처리한 유기성 폐기물을 처리하고자 할 경우 20-31°C의 온도 조건이 15°C 이하나 34°C 이상보다 훨씬 효율적인 것을 알 수 있었다. 그러나 전처리된 음식물 쓰레기를 3개월째 급이하였을 때 생체량과 섭식속도가 현저하게 줄어들었다. 이것은 음식물 쓰레기내의 염분이 지렁이 체내 축적되어 생긴 생리적 부작용으로 판단되며, 향후 음식물 쓰레기 전처리시 음식물 쓰레기내의 염분농도를 저하시키는 문제를 고려하여야 할 것이다.

## 인 용 문 헌

- 배윤환, 강석창. 2002. 지렁이 급이를 위한 dmatraf 쓰레기의 전처리 방법에 관한 연구. 대전대학교 기초과학연구소 논문집. (인쇄중)
- 최훈근. 1992. 유기질슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화의 슬러지 급이와 사육조건에 관한 연구. 서울시립대학교 박사학위 논문. 106pp.
- Cotton, D.C.F. 1980. The effect of cattle and pig slurry fertilizers on earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in grassland managed for silage production. *Pedobiologia* **20**: 181-188.
- Dominguez, J. and C.A. Edwards. 1997. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biol. Biochem.* **29**(3): 743-746.
- Edwards, C.A. 1988. Breakdown of animal, vegetable, and industrial organic wastes by earthworms. *Agric. Ecosyst. Environ.* **25**: 299-307.
- Edwards, C.A. and P.J. Bohlen. 1996. Biology and Ecology of earthworms. 426pp. Chapman & Hall.
- Hand, P., W.A. Hayes, J.C. Frankland and J.E. Satchell. 1988. Vermicomposting of cow slurry. *Pedobiologia* **31**: 199-209.
- Reinecke, A.J. and J.R. Kriel. 1981. Influence of temperature on the reproduction of the earthworms *Eisenia foetida* (Oligochaeta). *S. Afr. J. Zool.* **16**: 96-100.
- Rivero-Hernandez, R. 1991. Influence of pH on the production of *Eisenia foetida*. *Avanc. Aliment. Anim.* **31**(5): 215-217.