



줄지렁이(*Eisenia fetida*) 입식 밀도 및 먹이 급이량에 따른 지렁이 개체군 성장 및 먹이 섭식효율

배운환[†], 박광일

대진대학교 생명과학과

(2006년 10월 20일 접수, 2006년 12월 10일 채택)

Population growth and vermicomposting rate of earthworm (*Eisenia fetida*) according to amounts of feed supply and initial densities of earthworm populations

Yoon-Hwan Bae, Kwang-Il Park

Dept. Life Science, Daejin Univ.

ABSTRACT

Population growths of earthworms were investigated when the earthworm populations with different levels of initial densities per unit area were fed with cow dung mixed with paper mill sludge. The tested levels of earthworm densities were as follows; 1 kg/m², 2 kg/m², 3 kg/m², 5 kg/m². There were no significant differences in population growth rates 60 and 90 days after feed supply among the tested densities of earthworms. Therefore, it was suggested that initial densities of earthworm populations per unit area higher than 3 kg/m² should not be favorable because of the cost for purchasing earthworms. Vermicomposting rates of earthworm on feed were also investigated when different amounts of feed were supplied repeatedly to unit area of nursery bed with 5 kg/m² of initial densities earthworm populations. The tested amounts of feed at each supplying time were as follows; 16kg/m², 24kg/m², 32kg/m², 40kg/m². The more the amount of feed at each supplying time, the higher vermicomposting rate and population growth rate. Therefore, it should be more favorable for earthworm breeders to supply more than 40kg/m² of feed at each supplying time, because it would reduce time and labor cost.

Keywords : vermicomposting, earthworm, feeding rate, population density, growth rate

초 록

지렁이 사육상을 조성하는데 있어서 적절한 초기 지렁이 입식 밀도를 추정하기 위해서 단위 면적당 서로

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

다른 밀도의 지렁이(1m²의 사육상 면적당 지렁이 1, 2, 3, 5kg)를 입식하여 12kg의 먹이를 반복 급이하면서 그의 개체군 밀도 변화를 조사하였고, 효율적인 먹이급이량을 추정하기 위하여 최고 한계에 근접한 지렁이 밀도(5kg/m²)에서 먹이급이량을 달리하였을 때(1m²의 사육상 면적당 먹이 16, 24, 32, 40kg) 먹이섭식속도를 조사하였다. 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하였을 때, 지렁이 사육상을 조성하기 위한 초기 입식밀도는 사육상 면적 1m²당 2kg 이하로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 최고밀도에 근접한 이후에는 단위 사육 면적당 1회에 투입되는 먹이량은 40kg/m²정도인 것이 그 보다 적은 경우보다 지렁이 증식과 먹이급이를 위한 작업효율 측면에서 유리하였다.

핵심용어 : 지렁이 퇴비화, 지렁이, 섭식률, 개체군 밀도, 성장률

1. 서론

대량생산, 대량소비의 특징을 가지고 있는 현대산업사회에서 필연적으로 발생하는 폐기물, 특히 유기성 폐기물의 재순환 및 재활용에 지렁이가 매우 환경 친화적이고, 경제적으로 활용될 수 있음이 인식되고부터 지렁이의 활용을 위한 노력과 시도가 활발하게 이루어지고 있다^{1, 2)}. 특히 우리나라에서는 1992년도에 지렁이를 이용한 유기성 폐기물 처리가 환경부에 의해 환경기술로 공시된 바 있고, 2004년도에는 농림부에 의해 지렁이가 농가소득을 증대시킬 수 있는 가축류로 등록되어 있어 향후 지렁이를 이용한 폐기물 처리업 및 지렁이 양식업이 하나의 산업으로 발돋움할 수 있을 것으로 기대된다.

현재 전국에 150개 정도의 지렁이 농장이 운영되고 있는데, 환경친화적인 물자 생산 및 폐기물 처리의 사회적요구가 커질 것으로 예상되기 때문에 향후 지렁이 사육농장과 지렁이를 이용한 폐기물 처리 플랜트의 수는 더 늘어날 것으로 판단된다.

일반적으로 양식에 이용되는 지렁이는 소위 'K-전략적' 개체군 성장 패턴을 갖는 것으로 알려져 있다³⁾. 즉, 서식공간이나 먹이와 같은 자원이 한정되어 있을 때 지렁이 개체군은 한정된 자원내에서 Sigmoid 형태의 성장곡선을 나타내며, 최대밀도에 도달한 후에는 더 이상 증식하지 않는 특성을 가지고 있다⁴⁾. 이것은 한정된 공간에서 지렁이가 반드시 서식밀도에 비례해서 증식하거나 먹이 섭식량이 증가하지 않는다는 의미가 된다. 따라서 초기에 지렁이 사육시설을 만든 후 효율적이고 경제적인

로 지렁이 사육상을 조성하기 위해서는, 이러한 지렁이 개체군 성장 패턴의 특성을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량 및 단위 면적당 먹이 급이량을 결정하여야 한다.

본 연구에서는 지렁이 사육상을 조성하는데 있어서 적절한 초기 지렁이 입식 밀도를 추정하기 위해서 단위 면적당 서로 다른 밀도의 지렁이를 입식하여 일정량의 먹이를 급이하면서 그의 개체군 밀도 변화를 조사하였고, 효율적인 먹이급이량을 추정하기 위하여 최고 한계에 근접한 지렁이 밀도에서 먹이급이량을 달리하였을 때 먹이섭식속도를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 지렁이

대진대학교 생명과학과 환경제어온실에서 체지슬러지를 먹이로 누대사육중인 줄지렁이 (*Eisenia fetida*)를 실험대상 지렁이로 이용하였다.

2.2 초기 입식량에 따른 지렁이 생체량변화

지렁이 사육상에 초기에 지렁이를 1kg/m², 2kg/m², 3kg/m², 5kg/m² 씩 입식한 후 매회 12kg/m²의 먹이를 급이하였다. 사육상의 먹이를 지렁이가 모두 섭식하면 같은 양의 먹이를 반복하여 급이하면서 30일 간격으로 지렁이 밀도 및 섭식량을 조사하였다. 지렁이 입식후 처음 30일간은 부숙된 우분만을 먹이로 공급하였고, 그 이후에는 우분에 체지슬러지를 3:1의 무게비로 혼합하여 급이하였다.

2.3 지렁이 사육상에 먹이 투여량에 따른 지렁이 밀도 변화

지렁이 사육상에 최고 한계밀도에 근접한다고 판단되는 5kg/m²의 지렁이를 입식하고, 먹이 급이량을 달리 하였을 때 지렁이의 밀도변화 및 섭식효율을 조사하였다. 먹이 급이량은 각 처리구에서 16kg/m², 24kg/m², 32kg/m², 40kg/m²이었다. 각 처리구에서 먹이를 다 먹으면 같은 양의 먹이를 같은 방법으로 반복해서 급이하였다. 지렁이 입식 후 처음 30일간은 부숙된 젖소분만을 먹이로 공급하였고, 그 이후에는 우분에 제지슬러지를 3:1의 무게비로 혼합하여 급이하였다. 지렁이 입식 후 90일 동안 30일 간격으로 지렁이 밀도, 분변도 적층높이 및 섭식량을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지렁이 사육상의 단위 면적당 지렁이 입식량에 따른 밀도 변화

3.1.1 지렁이 먹이로 사용된 우분과 제지슬러지의 이화학적 성상

지렁이 먹이로서 흔히 이용되고 있는 제지슬러지의 pH는 7.7로서 중성에 가까우나 젖소분의 경우는 8.7로서 알칼리성을 나타내고 있었다. 특히 전기전도도(EC)에 있어서는 제지슬러지가 1316.7 $\mu\text{s/cm}$ 이었는데 반해, 젖소분의 경우에는 11,783.6 $\mu\text{s/cm}$ 로 제지슬러지에 비해 9배가 높은 것으로 나타났다(Table 1). 이것은 젖소분내에 염류 집적도가 제지슬러지에 비해 현저하게 높다는 것을 의미하고, 지렁이 먹이로서 적합하지 않은 요인이 될 수 있으므로^{1, 5, 6)} 젖소분을 지렁이 먹이로 이용하기 위해서는 젖소분내 염류 제거를 위한 전처리 과

정이 필요함을 시사하는 것이다.

3.1.2 초기 입식량에 따른 지렁이 생체량변화 [Fig. 1]에서 나타난 바와 같이 우분만 급이한 초기 30일간은 지렁이의 밀도가 증가되지 않았으며, 특히 입식밀도가 5kg/m²인 처리구에서는 밀도가 급격하게 감소하였다. 입식 후 30일간 지렁이 밀도가 증가되지 않거나 감소한 것은 우분이 지렁이 먹이로서 적절한 이화학적 조건을 갖추지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 특히 높은 지렁이 밀도상태(5kg/m²)에서는 저밀도 상태에서보다 불량한 먹이의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

입식밀도 1kg/m², 2kg/m²인 처리구의 경우 우분과 제지슬러지를 혼합하여 먹이를 공급한 지렁이 입식 30일 이후부터는 입식 초기보다 높은 밀도수준을 나타내었고, 가장 낮은 입식밀도인 1kg/m² 처리구에서 지렁이 입식 60일후의 밀도가 가장 높았다. 지렁이 입식 90일후에는 지렁이 입식 3kg/m² 처리구의 밀도가 가장 높은 것으로 나타나 초기 입식량의 다소에 따른 경향성이 나타나지 않았다. 이것은 사육상의 초기 입식 밀도를 높게 하는 것이 이후의 지렁이 개체군의 증가율을 높게 하는 결정적인 요인이 아니라는 것을 의미한다. 이러한 현상은 한정된 자원(먹이, 서식공간, 온도 등) 내에서는 소위 'K-전략적' 개체군 증식 패턴을 가지는 지렁이의 생물학적 특성^{3, 5)}과 관련이 있는 것으로 판단된다.

초기 입식량에 따른 지렁이의 산란수[Table 2]에 있어서도 입식량이 가장 낮았던 1kg/m² 처리구에서는 조사기간 동안 지속적으로 산란을 하고 있었으나, 2kg/m², 3kg/m², 5kg/m² 씩 입식한 처리구에서는 입식 60일후까지 전혀 산란이 이루어지지 않고 있었다.

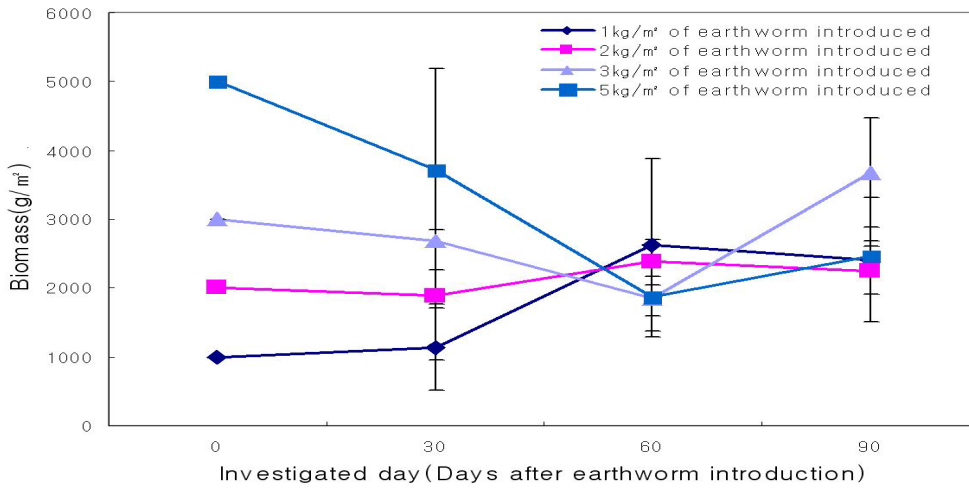
[Table 1] Several Physicochemical Properties of Cow Dung and Paper Mill Sludge

Materials analyzed	pH	EC ($\mu\text{s/cm}$)	Eh(mV)	Water content (%)	VS(%)
Cow dung	8.7 \pm 0.1	11,783.6 \pm 1,069.3	682.3 \pm 0.3	62.9 \pm 3.7	56.3 \pm 0.5
Paper mill sludge	7.7 \pm 0.1	1,316.7 \pm 20.2	376.7 \pm 11.3	72.8 \pm 0.4	61.9 \pm 0.5

이상의 결과에서 보았듯이 사육상에 지렁이를 입식하여 증식하고자 할 때, 초기 입식밀도에 따라 지렁이 개체군 밀도가 비례적으로 증식하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 단위 자원(먹이, 서식 공간, 온습도 등)당 지렁이 밀도가 높아지면 그만큼 환경저항도 높아져서 지렁이의 증식률도 저하되기 때문이다. Ndegwa 등(1999)⁷⁾은 지렁이 사육상의 적정 지렁이 밀도는 1.60kg/m²라고 보고한 바 있으나, 국내에서 조사된 자료에 의하면 먹이, 온도, 수

분 조건이 양호할 때 최대 지렁이 서식밀도는 6.5~7.5kg/m²인 것으로 알려져 있다^{8, 9, 10)}.

따라서 지렁이 사육농장을 운영하고자 하는 농가에서 지렁이 사육상을 조성할 때, 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1m²당 2kg 이하로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.



[Fig. 1] Changes in biomass of earthworm populations per m² of nursery bed when cow dung mixed with paper mill sludge had been fed to earthworm populations with different levels of initial densities.

* 12 kg of feed had been supplied to earthworm populations repeatedly.

[Table 2] Cumulative Number of Cocoons per m² of Nursery bed Produced by Earthworm Populations When Cow Dung Mixed With Paper Mill Sludge Had Been Fed to Earthworm Populations With Different Levels of Initial Densities

Investigated day \ Initial density (kg/m ²)	30 days after feeding	60 days after feeding	90 days after feeding
1	265.0±91.8	636.0±550.8	689.0±815.9
2	0.0±0.0	0.0±0.0	53.0±91.8
3	0.0±0.0	0.0±0.0	212.0±91.8
5	0.0±0.0	0.0±0.0	106.0±183.6

* 12 kg of feed per m² of nursery bed had been supplied to earthworm populations repeatedly.

3.2 지렁이 사육상의 단위 면적당 먹이 급여량에 따른 지렁이 생체량 및 섭식량

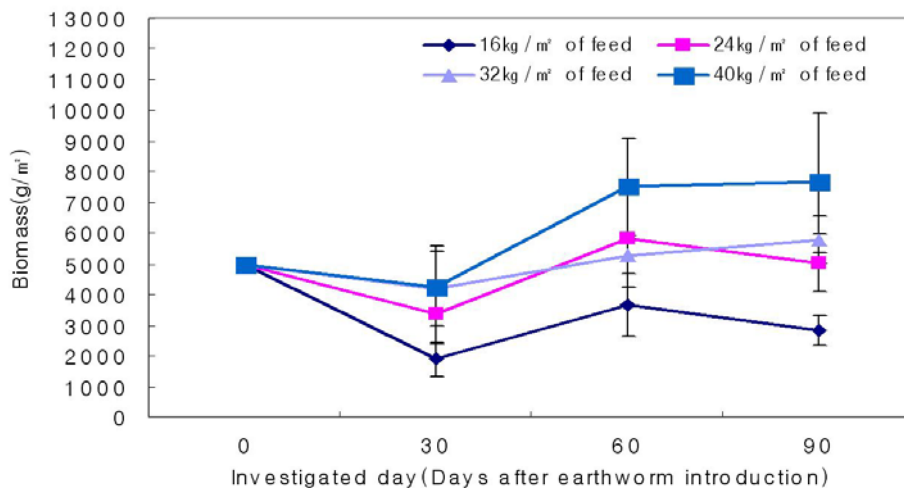
3.2.1 지렁이 사육상에 먹이 투입량에 따른 지렁이 밀도 변화

[Fig. 2]는 지렁이 입식 후 먹이급여량을 달리 하였을 때, 사육상에서 지렁이 밀도 변화를 나타낸 것이다. 젖소분만 급여한 초기 30일간은 지렁이 밀도가 전반적으로 감소하였는데 먹이급여량이 적을수록 감소율도 증가하였다. 반면 젖소분과 체지슬러지를 혼합하여 급여하기 시작한 지렁이 입식 30일 이후에는 전반적으로 밀도가 증가하였는데, 증가율은 먹이급여량이 많을수록 높아지는 경향을 나타내었다. 특히 지렁이 입식 90일후에 40kg/m²을 먹이로 급여한 처리구에서의 밀도는 7.5kg/m²로 다른 처리구보다 현저하게 높았다. 그리고 먹이급여량이 가장 낮았던 16kg/m²처리구에서는 지렁이 입식 90일후까지의 밀도가 3.0kg/m²으로 초기 입식밀도인 5kg/m²보다 낮은 수준을 유지하였다.

이상의 결과로부터 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정 정도 이상(본 실험에서는 5kg/m²) 형성된 이후에는 단위 사육 면적당 1회에 투입되는 먹이량이 40kg/m²정도인 것이 그 보다 적은 경우보다 지렁이 증식과 먹이급여를 위한 작업효율 측면에

서 유리하다는 것을 알 수 있다. 다만 1회에 급여하는 먹이량이 많기 위해서는 먹이의 이화학적 상태가 지렁이 먹이로서 적합할 때에 한해서 가능할 것으로 판단된다. 통상 부숙이 덜 된 유기성 폐기물을 사육상에 급여하게 되면 사육상에서 발효가 일어나 암모니아, 황화수소, 메르캅탄 등의 가스가 발생하여 지렁이에게 치명적인 영향을 미치게 된다. 한편, 1회에 투입되는 먹이량이 40kg/m²이상 일 경우의 섭식반응 및 지렁이 밀도에 미치는 영향은 추가로 검토되어야 할 사항이다.

지렁이 밀도가 감소한 입식 30일후에 각 처리구 내 지렁이 개체군의 연령구성은 유충이 84.3~99.4%로 개체군의 대부분을 차지하고 있었다. 그리고 지렁이의 증식이 잘 이루어지지 않았던 먹이급여 16kg/m² 처리구에서는 입식 60일후에도 유충이 92.0%로 다른 처리구의 51.7~60.4%보다 현저하게 높았다[Table 3]. 입식 90일후에 먹이급여 40kg/m² 처리구의 유충비율은 28.8%로 다른 먹이급여 처리구보다 현저하게 낮았다. 일반적으로 지렁이 증식률이 양호할수록 유충비율이 낮았는데 이것은 지렁이 개체군을 구성하고 있던 유충의 발육상태가 상대적으로 양호하여 성충으로의 성장률이 높았기 때문인 것으로 판단된다. 먹이급여량에 따른 지렁이 입식 90일후 지렁이의 산란수



[Fig. 2] Changes in biomass of earthworm populations per m² of nursery bed when different amounts of cow dung mixed with paper mill sludge had been fed to earthworm populations repeatedly

에 있어서도 먹이 급이 40kg/m² 처리구가 다른 처리구에 비해 현저하게 높았다(Table 4).

3.2.2 먹이 투입량에 따른 분변토 적층속도 [Fig. 3]은 사육상에 5kg/m²의 지렁이를 입식하고 1회에 투입되는 먹이량을 달리 하였을 때 사육상에서의 분변토 적층 높이를 나타낸 것이다. 1회에 투입되는 먹이량이 많을수록 분변토 적층높이도 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 일정한 서식

공간에서 먹이량이 충분할 때, 'K-전략적' 증식 패턴을 가지고 있는 지렁이 개체군의 개체들간에 경쟁이 감소한 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 지렁이 입식 90일후에 먹이 급이 40kg/m² 처리구에서 분변토 적층 높이는 28cm이었다.

먹이 투입량에 따른 사육기간 별 우분 처리량은 먹이 급이 40kg/m² 처리구에서 높았으며, 지렁이 입식 30일 이후에는 그 차이가 더 커졌다 [Table 5].

[Table 3] Adult and Juvenile Biomasses of Earthworm Populations Per m² of Nursery Bed and Their percental Composition When Different Amounts of Cow Dung Mixed With Paper Mill Sludge Had Been Fed to Earthworm Populations Repeatedly

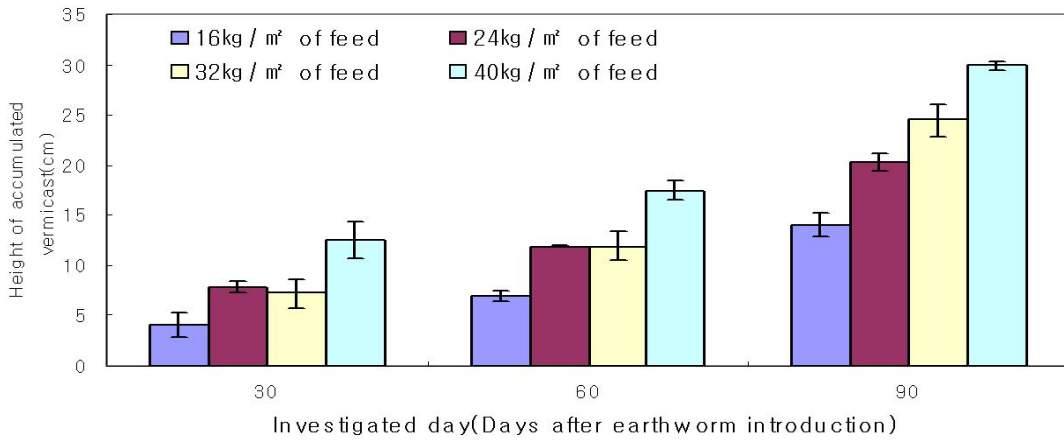
Investigated day Amount of feed (kg/m ² /each time)		30 days after feeding		60 days after feeding		90 days after feeding	
		g/m ²	%	g/m ²	%	g/m ²	%
16	Adult	29.7±51.4	1.6	293.1±289.2	8.0	634.4±381.0	22.4
	Juvenile	1,855.0±538.0	98.4	3,365.5±962.0	92.0	2,197.4±210.1	77.6
24	Adult	21.2±36.7	0.6	2,311.3±896.7	39.6	2,077.6±469.9	41.3
	Juvenile	3,359.1±982.7	99.4	3,526.1±1193.4	60.4	2,958.5±515.5	58.7
32	Adult	238.5±139.7	5.7	2,545.6±430.0	48.3	2,420.5±286.3	41.9
	Juvenile	3,954.9±1,126.4	84.3	2,724.2±134.7	51.7	3,356.0±489.1	58.1
40	Adult	447.3±234.8	10.5	4,314.7±1578.9	57.4	5,455.8±3255.8	71.2
	Juvenile	3,812.3±1,254.7	89.5	3,200.1±589.0	42.6	2,207.5±982.2	28.8

* Initially introduced biomass of earthworm population was 5kg per m² of nursery bed.

[Table 4] No. of Cocoons Per m² of Nursery Bed When Different Amounts of Cow Dung Mixed With Paper Mill Sludge Had Been Fed to Earthworm Populations Repeatedly

Investigation day Amount of feed (kg/m ² /each time)		30 days after feeding	60 days after feeding	90 days after feeding
16		0.0±0.0	106.0±193.6	0.0±0.0
24		106.0±183.6	106.0±183.6	106.0±91.8
32		0.0±0.0	0.0±0.0	954.0±0.0
40		0.0±0.0	0.0±0.0	7,155.0±5,015.5

*Initially introduced biomass of earthworm population was 5kg per m² of nursery bed.



(Fig. 3) Height of accumulated vermicasts produced by earthworm population in the nursery bed when different amounts of cow dung mixed with paper mill sludge had been fed to earthworm populations repeatedly.

*Initially introduced biomass of earthworm population was 5kg per m² of nursery bed

(Table 5) The Amount of Earthworm Feed Vermicomposted When Different Amounts of Cow Dung Mixed With Paper Mill Sludge Had Been Fed to Earthworm Populations Repeatedly

Amount of feed supplied each time (kg/m ²)	Amount of feed vermicomposted for 0~30 days (kg/m ²)	Amount of feed vermicomposted for 30~60 days (kg/m ²)	Amount of feed vermicomposted for 60~90 days (kg/m ²)
16	48.0 ± 0.0	48.0 ± 0.0	37.3 ± 9.2
24	88.0 ± 13.9	80.0 ± 13.9	64.0 ± 13.9
32	64.0 ± 0.0	96.0 ± 0.0	64.0 ± 0.0
40	93.3 ± 23.1	120.0 ± 0.0	120.0 ± 0.0

*Initially introduced biomass of earthworm population was 5kg per m² of nursery bed

단위 시간당 분변토 적층속도는 먹이급이 16kg/m², 24kg/m², 32kg/m², 40kg/m²처리구에서 각각 0.27, 0.34, 0.38, 0.44cm/일/m²로서 1회 먹이 투입량이 많을수록 분변토 적층속도가 빨라졌다 [Table 6]. 그러나 단위 먹이량에 따른 분변토 적층률은 16kg/m², 24kg/m², 32kg/m², 40kg/m²처리구에서 각각 0.10, 0.09, 0.10, 0.09cm/kg/m²로서

차이가 없었다.

이상의 결과로부터 지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정수준으로 높아졌을 때(5kg/m²이상)에는 지렁이 사육상에 매회 투입되는 먹이량을 40kg/m² 이상으로 하는 것이 가축분 처리, 지렁이 밀도 증식 및 분변토 생산 측면에서 효율적인 것으로 나타났다.

[Table 6] Accumulating Velocity¹ and Accumulating Rate² of Vermicast When Different Amounts of Cow Dung Mixed With Paper Mill Sludge Had Been fed to Earthworm Populations Repeatedly.

Amount of feed supplied each time (kg/m ²)	Accumulating velocity ¹ (cm/day/m ²)	Accumulating rate ² (cm/kg/m ²)
16	0.27±0.01	0.10±0.01
24	0.34±0.01	0.09±0.01
32	0.38±0.02	0.10±0.01
40	0.44±0.00	0.09±0.02

1. Accumulating velocity = Height(cm) of accumulated vermicasts 90 days after feeding/90 days/m² of nursery bed

2. Accumulating rate = Height(cm) of accumulated vermicasts 90 days after feeding/total amount of feed supplied for 90 days/ m² of nursery bed

*Initially introduced biomass of earthworm population was 5kg per m² of nursery bed

4. 결론

사육상에 지렁이를 입식하여 증식하고자 할 때, 초기 입식밀도에 따라 지렁이 개체군 밀도가 비례적으로 증식하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 단위 자원(먹이, 서식 공간, 온습도 등)당 지렁이 밀도가 높아지면 그만큼 환경저항도 높아져서 지렁이의 증식률이 저하되기 때문이다. 따라서 지렁이 사육농장을 운영하고자 하는 농가에서 지렁이 사육상을 조성할 때, 지렁이 구입비용, 노동비용 등을 고려하여 단위 면적당 초기 지렁이 입식량을 너무 높지 않게 하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 초기 입식밀도는 사육상 면적 1m²당 2kg 이하로 하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

지렁이 사육상에 지렁이 밀도가 일정 정도 이상(본 실험에서는 5kg/m²) 형성된 이후에는 단위 사육 면적당 1회에 투입되는 먹이량이 40kg/m²정도인 것이 그 보다 적은 경우보다 지렁이 증식과 먹이급이를 위한 작업효율 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있었다. 단, 1회에 급이하는 먹이량이 많기 위해서는 먹이의 이화학적 상태가 지렁이 먹이로서 적합한 상태가 되어 있어야 한다. 한편, 1회에 투입되는 먹이량이 40kg/m²이상일 경우의 섭취반응 및 지렁이 밀도에 미치는 영향은 추가로 검토되

어야 할 사항이다.

사사

이 논문은 농림기술개발(ARPC) 연구지원금에 의해 수행되었습니다. 농림기술관리센터 당국에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최훈근, "유기성슬러지 처리에 있어서 지렁이를 이용한 퇴비화 슬러지급이와 사육조건에 관한 연구", 서울시립대학교 환경공학과 박사학위논문. p.106 (1992).
2. 배운환, "유기성폐기물의 지렁이 처리에 관한 생태학적 고찰", 한국유기성폐기물학회지, 10(4), pp. 15~25, (2002).
3. Edwards C. A., P.J. Bohlen, "Biology and Ecology of earthworm" Chapman and Hall p. 426 (1996).
4. Odum, E. P., "Fundamentals of Ecology, 3rd Edition", W. B. Saunders Company. p. 574 (1971).
5. Sun J., "Vermiculture & Vermiprotein",

- China Agricultural University Press, China p. 366 (2003).
6. Rivero-Hernandez, R., "Influence of pH on the production of *Eisenia fetida*." Avanc. Animent. Anim. 31(5), pp. 215~221 (1991).
 7. Ndegwa, P. M., S. A. Thompson, K. C. Das, "Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting biosolids", Biores. Technol. 71(1), pp. 5~12 (1999).
 8. 서울특별시 난지하수처리장, "하수처리장 운영 개선 연구집" p. 151 (2004).
 9. 배운환, 유기성 폐기물 재활용을 위한 상자형 다층식, 자동화 지렁이 사육 시스템. 제 7회 지렁이를 이용한 환경보전 국제심포지움. 한국 지렁이산업 협의회 pp. 31~66 (2005).
 10. Bae, Y. H. and Y. E. Na, Feeding rate, population growth, vertical and horizontal distribution of Tiger worm (Lumbricidae : *Eisenia fetida*) in the box-typed and multi-storeyed vermicomposting system. 5th Asia-Pacific Congress of Entomology (2005). 