

지렁이를 이용한 적소분뇨 처리에 관한 연구

나영은 · 한민수 · 이상범 · 김세근 · 박형만

(농업과학기술원 환경생태과)

Establishment of Disposing Method for Dairy Cow Manure by Vermiculture

Na, Young-Eun, Min-Su Han, Sang-Beom Lee, Sae-Geun Kim and Hyung-Man Park

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

ABSTRACT

Disposing technique for dairy cattle manure using earthworms and the possibility of utilizing earthworms in poultry feed were investigated. In addition, chemical properties of manure and cast of earthworms were investigated. Temperature in the vinyl-house for earthworm nursery was able to be maintained above 0°C in winter and 25-28°C in summer. In closed-covering method, the number of escaped earthworms was the highest among three covering methods. The time was longer after manure excretion, the numbers of escaped earthworm were higher. There were some incidences of mortality of earthworm in closed-covering site. The amount of manure ingested by earthworm was increased in order of non-covering, closed-covering and gap-covering method. Fresh manure was more ingested than old one by earthworm. Earthworms reduced manure about 50% on the dry weight base and reduced total amounts of N, P₂O₅ and K₂O of manure by 41, 50 and 60%, respectively. Earthworm could be utilized by adult poultry (> 600 g) for feeding. However, adverse effect of live earthworm was observed with young poultry (< 450 g).

Key words: Earthworm, *Eisenia fetida*, Vermiculture, Dairy cattle, Manure

서 론

국민의 생활양식과 식생활의 소비수준 향상으로 육류의 소비량이 증가하면서 가축의 사육두수가 증가하고 기업형의 축산업이 발달하게 되었지만, 사료는 거의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 우리 나라가 수입한 밀, 옥수수, 콩 등의 곡물은 1993년 무려 1,200만 톤이나 되며 이는 식품 생산에도 활용되지만 대부분 가축 사료에서 활용이 되고 있다. 현재 우리 나라는 축산으로부터 발생하는 분뇨가 4,441만톤이나 되며 이러한 가축 분뇨가 환경을 오염시키는 오염원으로 주목을 받게 되었다. 이 오염원이 우리 나라 안에서 생산된 사료로 비롯된 것이 아니라 다른 나라에서 들어 왔기 때문에 우리 국토에는 더욱 큰 짐이 되는 데 문제가 있다. 따라서 정부는 축산 분뇨에 의한 환경오염 방지를 위하여 허가 대상의 97%, 신고 대상의 83%에 이르는 분뇨 정화 시설을 지원해 왔다. 그러나 이러한 지원이 일시적인 감소 효과를 보았으나 완벽한 처리에는 미흡한 실정이다(정, 1994).

축산업이 발달한 다른 나라에서도 축산분뇨로 인한 오염 처리에 어려움이 있다. 따라서 사육 두수의 제한과 분뇨의 농경지 사용을 엄격히 규제하며 분뇨의 발생을 최소화하기 위한 각종 연구가 이루어지고 있다. 또한 발생한 분뇨를 토양에 적절히 활용하고 남은 것은 퇴비로 만들어 외국에 수출하는 노력도 기울이고 있다. 우리 나라도 축산 분뇨를 처리하기 위하여 다각적인 정책개발을 하고 있다. 따라서 정부는 축산분뇨 정화시설 지원을 지양하고 이를 퇴비로 만들어 자원화 하려는 정책으로 선회하고 있으며 이를 위하여 기업농, 영농단체 등에 퇴비화 시설 자금을 지원하고 있으며, 농협이나 축산관계 단체 등에서 퇴비 공장을 직접 운영하는 등 다각도로 자원화 방안을 모색하고 있지만 기계적인 처리는 시설의 설치와 운영에 많은 자금과 에너지가 소요되고 처리과정에서 악취 등 2차적인 오염을 유발하므로써 앞으로 개선해야 할 점이 많이 남아 있다.

이러한 시점에서 지렁이 사육을 통한 가축분 및 슬러지를 처리하는 동시에 지렁이도 양식할 수 있는 서로 상호

보완 될 수 있는 Vermicomposting이라는 개념이 도입되는 계기가 마련되었다(Collier 등 1980).

Hartenstein 등(1981)은 하수처리장의 탈수슬러지, Loehr 등(1985)은 액상슬러지 등을 지렁이 먹이로 이용하여 유기성 물질을 안정화시키는 연구를 수행한 결과 Vermicomposting이 가축분과 폐기물 처리의 한 방법으로 이용될 수 있는 기술적 토대를 마련하였다. 지렁이를 이용한 유기성 슬러지 처리법은 기존의 퇴비화나 슬러지 처리방법보다 간편하며, 시설과 운전비용이 적게 들고 슬러지 처리와 동시에 증식된 지렁이와 분변토의 재활용이 가능하므로 새로운 기술로 알려졌다(Loehr 등 1985). 이 방법은 Fosgate 등(1972)이 동물의 분을 먹이로 주어 인공적으로 지렁이를 증식하는 데 성공함으로써 그 가능성을 입증하였다.

소규모 축산농가에서는 가축분뇨의 기계식 처리가 불가능하여 대형 기계식 퇴비공장으로 운반하여 처리하므로 비용이 많이 들고 2차 오염이 발생하여 새로운 환경오염을 야기하였다. 이런 방법을 개선하기 위하여 지렁이 양식을 통한 가축분처리를 시도하였지만 기존의 양식하우스는 작물 재배용으로 고안된 것을 그대로 사용함에 따라 효과적이 되지 못하였다. 또한 우분 급여와 물을 줄 때 보온덮개(1.5 m×20 m×1 cm)의 교체에 노력이 많이 들어 농가에서 적용하기에는 어려운 점이 많았다.

따라서 본 연구는 상수원 보호구역 내의 젓소 사육농가에서 발생하는 과잉의 분뇨를 지렁이 먹이로 처리하여 양을 줄이기 위하여 지렁이 양식사를 고안하였으며, 이 양식시설을 이용하여 지렁이가 우분을 가장 잘 먹을 수 있는 방법을 조사하였고, 동시에 증식된 지렁이는 닭 먹이로 활용하고, 지렁이 배설물(분변토)의 특성에 관하여 연구를 수행하였다.

지렁이 사육사 구조 도면

번호	명칭	특정 및 크기
①	서가래	크기 : $\phi 25, \phi 32$ 파이프 사용
②	피복	필름 0.1+카시미론+필름 0.1
③	차광막	검정색의 90% 차광
④	차광막개폐기	수·자동개폐기
⑤	축장 개폐기	㉠ 감속비 : 360 : 1 ㉡ 전 력 : 직류 24V 51W ㉢ 몸 체 : 열정화성수지 ㉣ GEAR 재질 : 알루미늄 인청동 ㉤ 자체 스위치 내장
⑥	환풍기	㉠ 날개크기 : 30cm 이상 ㉡ 최대풍량 : 1800 m ³ /h ㉢ 샷다부착
⑦	출입문	크기 : 폭 300 cm×높이 250 cm 이상

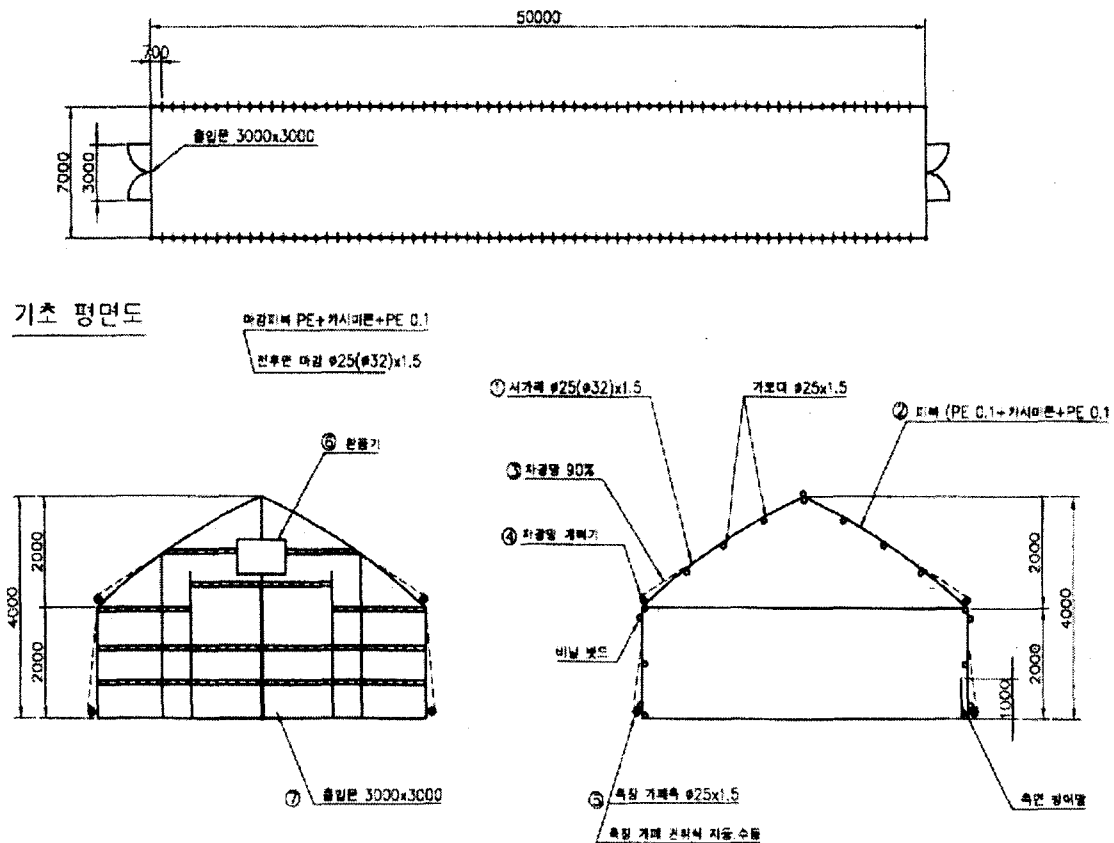


Fig. 1. A drawing of the vinyl-house for earthworm nursery.

재료 및 방법

1. 공시 지렁이

본 실험에 사용된 지렁이는 줄지렁이 (*Eisenia fetida*)이다. 이 지렁이는 경기도 화성군 율암리 소재 “자연농장”에서 500kg를 구입하여 씨 지렁이로 삼았다.

현재 지구상에 서식하는 지렁이는 물에 서식하는 종을 포함하여 739속 7254종을 발표하였고(Reynolds와 Cook, 1993), 우리나라의 지렁이는 현재 67종이 한국동물명집에 수록되어있다. 하지만 인공사육 지렁이는, *Lumbricus rubellus* (붉은지렁이), *Lumbricus terrestris*, *Eudrilus eugeniae* 등 몇 종류에 지나지 않는데, 그 중에서도 *Eisenia fetida*와 *Lumbricus rubellus* 두 종류가 대규모 인공사육에 적합하며 경제성이 있는 것으로 알려져 있다(Dresser, 1980). 우리나라에 양식되고 있는 지렁이 색깔은 붉은색이어서 양식업자나 지렁이를 분양받아 연구하는 사람들이 *Lumbricus rubellus* (붉은지렁이)로 알고 있지만 실제 양식되고 있는 종은 *Eisenia fetida* (줄지렁이)이다.

2. 시험장소

경기도 양평군 양서면 증동 2리에 100평 규모의 지렁이 양식을 위한 비닐 하우스를 고안하여 설치하였다.

3. 양식하우스

초보자도 쉽게 지렁이 양식을 통하여 분뇨를 처리할 수

있는 자동 온도 조절용 양식사를 Fig. 1과 같이 설치하였다. 그리고 인력이 많이 소모되는 덮개를 자동으로 개폐하여 간격피복할 수 있는 장치를 고안하여 설치하였다(Fig. 2).

사육상 덮개 개폐 구조 도면

번호	명 칭	특정 및 크기
1	감속기	ㄱ 감속비 : 360 : 1 ㄴ 전력 : 직류 24V 55W ㄷ 몸체 : 내열온도가 높은 열경화성 수지 ㄹ WORM과 WORM GEAR 동력 전달 ㅁ WORM GEAR는 알루미늄 인칭동 사용 ㅂ 자체 상하 STOP장치가 내장
2	BODY	ㄱ 1 set 크기 1800 mm · 1500 mm 25각 30각 파이프가 조합된 구조물 ㄴ 표면처리 : 밤색 코팅이나 아연도금
3	지지대	ㄱ 크기 : 1800mm의 25각 파이프 ㄴ 표면 처리 : 밤색코팅이나 아연도금
4	회전축	ㄱ 크기 : 30각 파이프 ㄴ 표면 처리 : 밤색코팅이나 아연도금
5	축수 BEARING	ㄱ 크기 : 30각 파이프 삽입용 BEARING ㄴ 표면 처리 : 아연도금
6	드럼	ㄱ 크기 : $\phi 100 \cdot 150$ ㄴ 표면 : 나선형 성형제품
7	에인선	$\phi 2.8$ mm 철심에 코팅한 제품
8	에인로라	로라 회전중심부는 인칭동 메탈을 사용제품
9	덮개막	고밀도 검정색천과 국방색 천막지가 같이 사용됨
10	측면막이	내구성을 갖춘 검정색 판넬
11	STOPPER	막이 끝면에서 20 cm 이상 높이에서 STOP 장치

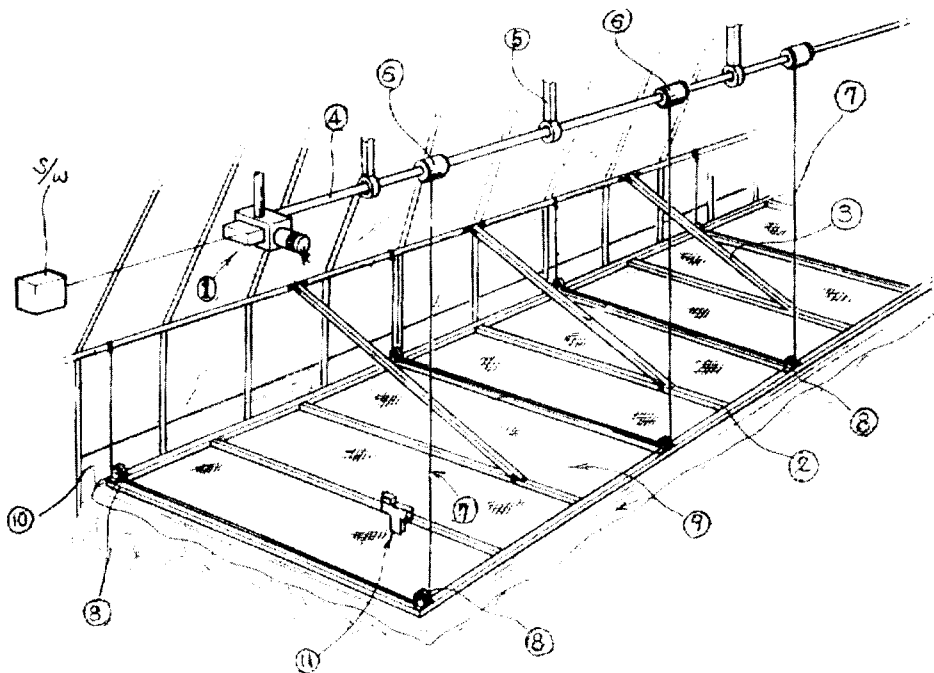


Fig. 2. A drawing of gap-covering in vinyl-house for earthworm nursery.

4. 온도측정

Fig. 1과 같이 양식하우스를 설치하고, 겨울에 가장 추운 때와 여름의 가장 더운 때를 정하여 양식하우스 내부의 사육상과 외부 온도를 Temperature Logger (HOBO XT us PAT 5373346)로 측정하였다.

5. 우분과 분변토의 화학성분

우분과 분변토의 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (1988)에 준하였다. 전질소 (Kjeldahl법)와 인산 (Vanadate 법), 칼리 (원자흡광분석법)를 분석하였다. 우분은 지렁이 사육상에 주기 전에 채취하였으며, 분변토는 사육상 표면에 배설된 것을 채취하였다. 이 때 우분을 준 다음에 사육상에 물을 계속 뿌려 주게 되면 분변토의 성분이 달라지므로 채취할 때에는 물을 뿌려주지 않았다.

6. 지렁이 먹이로 이용한 우분의 조건

우분의 상태에 따라 3가지 종류로 나눌 수 있다. ① 축사 내부에서 젖소가 먹이를 먹거나 잠을 잘 때 배설하는 우분으로써 노가 섞이지 않은 순수한 분이며 왕겨와 혼합한 후 7일이 경과되지 않은 것을 먹이로 사용하였다. ② 축사 밖에 놀이마당에서 배설한 우분으로써 분뇨와 왕겨가 젖소에 의해 혼합된 상태이며 보통 7일에서 60일이 된 우분이다. ③ 놀이마당에서 ②의 우분을 콘크이트로 된 야적장에 1m 정도 쌓아놓은 우분이다.

7. 사육상 피복방법

지렁이는 빛을 싫어하고 습기를 좋아하므로 사육상에 피복을 하지만 가스로 인한 피해도 있다. 따라서 밀착피복, 무피복, 간격피복으로 나누어 실험을 수행하였다. ① 밀착 피복은 보온덮개 (1.8×20 m, 일명 부직포라고도 함)을 지렁이가 서식하는 사육상 위에 밀착되게 덮어 놓은 피복방

법이다. ② 무피복은 지렁이가 서식하는 사육상 위에 아무 것도 덮지 않은 방법이다. ③ 간격피복은 그림 2처럼 제작하여 지렁이가 서식하는 사육상 위에 간격을 두고 덮어 놓은 피복방법이다.

8. 닭 사료로 지렁이 급여 실험

병아리 (난육겸용종: 뉴햄프셔)를 부화장에서 구입하여 병아리용 사료를 구입하여 사육하면서 비슷한 무게가 되는 닭을 5마리씩 골라 1.5×1.5 m 철망 케이스 넣어 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 지렁이 양식하우스 내부의 사육상과 외부의 온도변화
우리나라의 겨울은 춥고, 여름은 더운 기온이므로 지렁이 양식하우스는 겨울철에는 온도를 높여주고, 여름철에는 온도를 내려줄 수 있는 시설이 이상적이다. 적어도 여름철에는 통풍이 잘되어야 하고 겨울철에는 가온 없이도 영상의 기온을 유지하여야 바람직하다. 따라서 Fig. 1과 같이 양식하우스를 고안하여 설치하고, 겨울에 가장 추운 때와 여름의 가장 더운 때를 정하여 양식하우스 내부의 사육상과 외부 온도를 측정하여 Figs. 3, 4에 나타내었다. 겨울철 외부온도는 낮에는 영상이 되었다가 밤에는 영하로 내려가 교차가 크게 나타났지만 내부의 사육상온도는 기온차이가 거의 없이 영상을 유지하였다. 그리고 여름철 외부기온은 낮동안 30°C 이상으로 유지하였으며 낮과 밤의 기온차는 20°C 이상이었고, 내부기온은 낮과 밤 모두 25-28°C 사이로 나타났다.

Harteinstein (1982)는 지렁이 사육온도가 18-30°C에서 지렁이 생존율이 95-100%로 관찰하였고, 최 (1992)도 10-35°C에서 지렁이 생존율이 91-98%로 조사하였다. 그러나

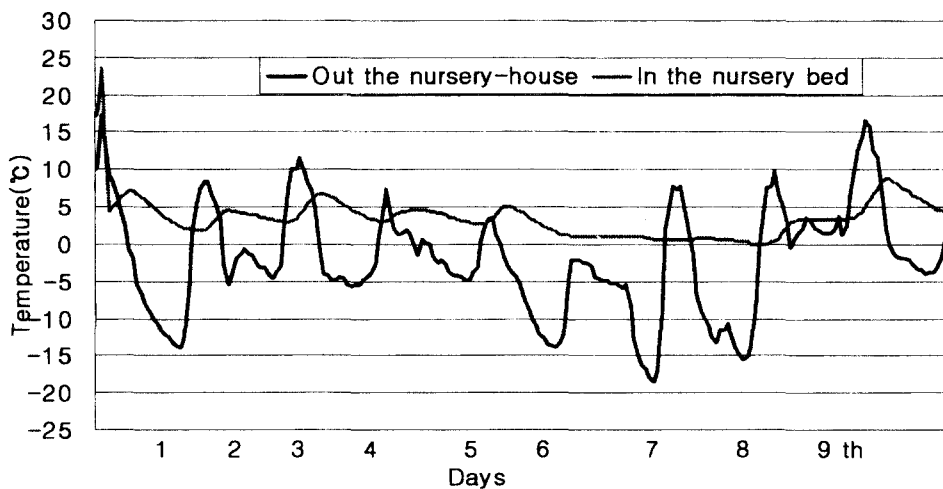


Fig. 3. Changes of temperature in the vinyl-house for earthworm nursery in winter ('98. Jan.).

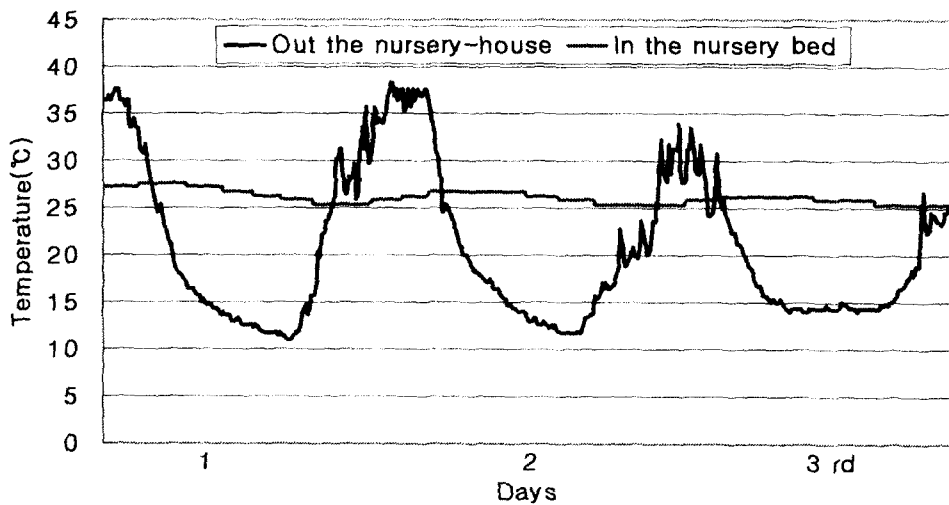


Fig. 4. Changes of temperature in the vinyl-house for earthworm nursery in summer ('98. Aug.)

Kaplan (1980)은 온도가 30°C를 넘게 되면 지렁이가 급격히 사멸한다고 하였다. 따라서 고안된 지렁이 양식하우스는 겨울철에는 영상을 유지하고, 여름철에는 30°C를 넘지 않았으므로 양식하우스로 적합하다고 판단하였다.

2. 피복방법과 우분 상태에 따른 지렁이 반응

고안된 양식하우스 내부의 지렁이 사육상의 피복방법에 따라 지렁이 반응을 조사하였으며, 배설된 우분의 시간 경과에 따른 지렁이 반응을 조사하였다.

지렁이가 우분을 섭취하는 양은 무피복보다 밀착피복이 많았고, 밀착피복보다 간격피복을 하였을 때 가장 많았다. 간격피복 중에서도 분 배설후 경과일수가 적고, 순수한 우분만을 준 처리구가 많았다. 지렁이 탈출수는 분 배설후 경과일수와 상관없이 밀착피복하였을 때 가장 많았고, 간격피복의 경우 우분의 경과일수가 길수록 탈출수가 많이 나타났다. 지렁이 치사는 밀착피복에서만 나타났고 무피복과 간격피복에서는 나타나지 않았다 (Table 1).

현재 우리 나라 대부분의 지렁이 양식장은 사육상에 피복을 하지 않거나 거의 밀착피복을 한다. 지렁이는 피부호흡을 하므로 신선한 공기를 필요로 하지만 공기의 흐름은 사육상 표면의 수분을 마르게 하여 지렁이를 사육상 표면으로 올라오지 못하게 만든다. 그 결과 지렁이 활동이 둔해지며 먹는 양도 적어진다. 가축분은 분해과정에서 이산화탄소 등 가스가 발생하므로 지렁이가 도망가거나 사육장 밖으로 탈출하여 죽는 경우가 많다. 따라서 지렁이가 피부호흡을 하는데 지장을 주지 않으면서 표층에 올라와 활동을 자유롭게 하고 먹는 양도 많게 하는 방법은 사육상을 간격피복으로 유지하는 것이 가장 적합하다고 판단된다.

Kaplan 등 (1980)은 혐기발효 슬러지는 지렁이가 먹지

Table 1. Comparison of ingested-amount, escaped-number and mortality according to the non-covering, closed-covering and gap-covering

Coverings	Type of manure (manure 3 kg/m ²)	No. of escape	No. of mortality	Amount of ingestion (kg/m ² /day)
Closed-covering ^a	A*	5-20	5 >	1.2
	B**	100 <	5-20	0.9
	C***	5-20	0	1.3
Non-covering ^a	A	0	0	0.9
	B	5 >	0	0.5
	C	0	0	0.8
Gap-covering ^a	A	0	0	1.3
	B	5-20	0	0.9
	C	35-50	0	0.9
Gap-covering ^b	10	0	0	1.7
	20	0	0	1.6
	30	5-20	0	1.3

* A : Manure not exceeding 7days after excretion in a cattle shed

** B : Mixed-manure stored for 7-60 days after excretion at the outside of cattle shed

*** C : Mixed-manure stored for 60-90 days after excretion at the outside of cattle shed

a : Cattle manure added with rice hulls b : Cattle manure

Table 2. Chemical properties of manure and cast of earthworm

	Fresh weight	Dry weight	Chemical properties		
			T-N**	P ₂ O ₅	K ₂ O
Manure (kg/year)	365,000	65,700	1,242	1,045	309
Cast (kg/year)	178,850	32,193	731	525	123
Reduced manure (kg/year)	186,150	33,507 (51%)*	511 (41%)	520 (50%)	186 (60%)

* Number in parentheses means percent of reduced manure

** T-N represents total nitrogen

Table 3. Possibility of live earthworms for poultry feeding

Weight of poultry	Treatment	5 days	10 days	20 days	
		Mortality (%)	Mortality (%)	Mortality (%)	Increased wt.
41 g	A	0	0	0	181 g (341%)
39 g	B	20	100	—	—
40 g	C	100	—	—	—
215 g	A	0	0	0	495 g (130%)
230 g	B	0	50	100	—
210 g	C	30	60	100	—
450 g	A	0	0	0	740 g (64%)
470 g	B	0	0	0	782 g (66%)
465 g	C	0	0	0	503 g (8%)
610 g	A	0	0	0	1020 g (67%)
615 g	C	0	0	0	1036 g (68%)
612 g	D	0	0	0	1054 g (72%)

A: Feed for poultry only; B: Feed for poultry (80%) + Live earthworm (20%);
C: Live earthworms only; D: Feed for poultry (60%) + Live earthworm (40%)

않으나, 호기발효된 슬러지는 먹는다고 보고하였다. 지렁이가 선호하는 먹이 상태는 호기발효 우분으로 알고 지금까지 발효된 우분을 지렁이 먹이로 사용하여 왔다. 그러나 지렁이가 잘 먹는 우분은 발효된 것이거나 시간이 지난 것이 아니라 생분을 오히려 잘 먹는 것으로 나타났다(Table 1). 생분을 주면 지렁이의 생체량 증가가 빠른 이점은 있으나 사육상에 생분을 줄 때 한꺼번에 많이 뚜껑개 주면 분해로 발생하는 가스 문제가 발생할 수 있기 때문에 얇게 여러번 나누어 주는 것이 바람직한 것으로 생각한다.

3. 우분 감량화 및 화학성분 변화

지렁이 양식에 적합한 양식 하우스, 피복방법, 먹이조건이 갖추어 진다면 여기에서 지렁이가 우분을 얼마나 처리하며 성분이 어떻게 변하는지를 파악하는 것이 필요하다.

Table 2에서 보는 바와 같이 지렁이가 우분을 처리하여 분변토 등 퇴비성분으로 남기는 양은 건물중으로 환산하여 우분의 경우 51%이고, 비료요소의 성분량으로는 질소 41%, 인산 50%, 칼리 60%로 감량되었다. 최(1992)도 슬러지보다 분변토에서 전질소는 23.7%, 총인산은 14.3% 감소한다고 하였다.

이와 같은 결과는 우분과 비료성분을 감량하면서 퇴비(분변토)로 형성되는 이점이 있으므로, 상수원보호구역에서 질소, 인산, 칼리 등 부영양화 물질을 줄여 수질 오염을 경감하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

4. 닭사료로서 지렁이 이용

우분을 먹이로 하여 키운 지렁이를 닭의 사료로 이용할 수 있다면 유기자원의 이용과 순환 측면에서 바람직한 시스템이 될 것이다. 따라서 생체 지렁이의 닭사료 이용 가능성을 검토하였다(Table 3).

중량이 약 40 g 정도 되는 닭에 병아리 사료를 먹인 닭은 정상적으로 성장하였지만 지렁이를 20% 첨가하여 준 닭은 10일 후에 모두 죽어 버렸다. 또한 약 210 g 정도인 닭도 사료만 먹인 것은 정상적으로 성장하였지만 지렁이 20% 또는 지렁이만 먹인 닭은 20일 후에 모두 죽었다. 그러나 체중 450 g 정도의 닭은 지렁이를 첨가하여 주어도 죽지는 않았으나 10일 후에는 지렁이를 전혀 먹지 않았다. 600 g 정도 되는 닭은 지렁이를 잘 먹었으며 죽지 않았다.

따라서 체중 450 g 미만의 닭에게 생체 지렁이를 첨가사료로 준다는 것은 문제가 있는 것으로 판단되지만, 죽은 원인에 대해서는 연구가 더 필요하다고 생각된다.

적 요

본 연구는 상수원 보호구역 내의 젖소 사육농가에서 발생하는 과잉의 분뇨를 지렁이 먹이로 사용하여 환경친화적 처리방법을 모색하기 위하여 수행하였다. 그 일환으로 지렁이 양식사를 고안하였으며, 이 양식시설을 이용하여 지렁이가 우분을 가장 잘 먹을 수 있는 환경을 조사하였다. 또한 이러한 방법에 의해 증식된 지렁이를 닭 먹이로 활용하기 위한 가능성을 탐색하였으며, 지렁이 배설물(분변토)의 특성에 관하여 연구를 수행한 결과, (1) 지렁이양식 하우스의 겨울철 사육상 기온은 밤과 낮의 기온 차이가 거의 없이 영상의 기온을 유지하였고, 여름철에는 낮과 밤 모두 25-28°C사이로 유지되었다. (2) 지렁이 양식상의 피복방법에 따른 우분 소비량은 무피복보다는 밀착피복이 많았고, 간격피복이 가장 많았다. (3) 우분은 배설후 경과일수가 적고 순수한 우분일 때 섭취량이 많았다. (4) 양식상에서 지렁이의 탈출수는 우분의 경과일수와 상관없이 밀착피복에서 가장 많았고, 간격피복에서는 우분의 경과 일수가 많

Establishment of Disposing Method for Dairy Cow Manure by Vermiculture

을수록 탈출수가 많이 나타났다. 5 지렁이 치사는 밀착피복에서만 나타났다. 6 지렁이의 우분처리 능력은 우분과 분변토의 건물중량 기준으로 51%가 감량되었고, 무기염류는 우분에 대하여 N: 41%, P₂O₅: 50%, K₂O: 60%가 각각 절대량이 감소되었다. 7 생체 지렁이를 닭의 사료로 첨가하려면 닭의 체중 600 g 이상에서는 가능하나, 450 g 미만인 경우는 닭이 죽는 경우가 있었다.

따라서 상수원 보호구역 내의 소규모 젓소 사육농가에 서 발생하는 과잉의 분뇨를 지렁이 양식하우스를 설치하여 먹이로 활용하여 처리할 수 있다고 판단된다. 또한 처리후 동시에 우분은 그 양의 반이상이 감량되면서 퇴비(분변토)로 전환되는 이점이 있을 뿐만 아니라 부영양화 물질을 줄여 수질 오염을 경감하는 효과를 기대 할 수 있을 것이다.

사 사

1. 이 논문은 농촌진흥청에서 시행한 대형공동연구사업의 연구 결과입니다.

2. 지렁이양식하우스 설계와 설치를 도와주신 오봇기계 이태복 사장님께 감사합니다.

인 용 문 헌

Collier, J.E. and D. Livingstone. 1980. Commercial vermicomposting: A

better solution to organic waste conversion, In workshop on the role of earthworms in the stabilization of organic residues. Vol. 1. pp. 255-259.

Dresser, C. 1980. Compendium on solid waste management by vermicomposting. EPA-600/8-80-033.

Fosgate, O.T. and M.R. Babb. 1972. Biodegradation of animal waste by *Lumbricus terrestris*. *J. Dairy Sci.* **55**: 870-872.

Gerard, B.M. 1967. Factors affecting earthworms in pastures. *J. Anim. Ecol.* **36**: 235-252.

Hartenstein, R. 1982. "Metabolic parameters of the earthworm *Eisenia foetida* in relation to temperature". *Biotechnology and Bioengineering*. **24**: 1803-1811.

Hartenstein, R., E.F. Neuhauser and A. Narahara. 1981. Effect of heavy metal and other elemental additive to activated sludge on growth of *Eisenia foetida*. *J. Environ. Qual.* **10**(3): 372-376.

정광용. 1994. 유기성 폐기물 비료화 방안. 21세기를 향한 비료 개발과 정책 방향 심포지엄. 한국토양비료학회. 48-49.

Kaplan, D.L., R. Hartenstein, E.F. Neuhauser and M.R. Malecki. 1980. Physicochemical requirement in the environment of the earthworm, *Eisenia foetida*. *Soil Biol. Biochem.* **12**: 347-352.

Loehr, R.C., J.H. Martin and E.F. Neuhauser. 1985. Liquid sludge stabilization using vermistabilization. *J. WPCF.* **57**(7): 817-826.

농촌진흥청. 1988. 토양화학분석법.

Reynolds, J.W. and D.C. Cook. 1993. Nomenclatura oligochaetologica supplementum secundum, New Brunswick Museum Monograph No. 9, Canada.