

Vermicomposting에 의한 우분의 처리
- 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향 -
이 주 삼

연세대학교 문리대학 생물자원공학과

Treatment of Cow Manure by Vermicomposting
- Effects of population density and C/N ratios of feed on the growth and cast production of the earthworm(*Eisenia foetida*) -

Lee Ju-Sam

Dept. of Biological Resources & Technology,
College of Liberal Arts & Sciences, Yonsei University

Summary

This experiment was carried out to the effects of population density and C/N ratios of feed on the growth, reproductive efficiency and cast production of the earthworm(*Eisenia foetida*).

The population densities of 50, 100, 150, 200 and 250 individuals of the earthworm fed with different C/N ratios of 25, 35, 45 and 55 cow manures were studied in rearing box(6,400cm³), and at the fertility stage during a period of 60 days.

The results were summarized as follows;

The survival rate(SR), increasing rate(IR), reproductive efficiency(RE) and cast production of the earthworms showed highest values in C/N ratio of 25. These results may indicate that C/N ratio of 25 is a very favourable feed for the growth of the earthworms.

The survival rate(SR) indicated significant positive correlation with reproductive efficiency(RE) in different C/N ratios of feeds.

The survival rate(SR) showed highest values in population densities of 50~100 worms/6,400cm³(64.0~128.0cm³/worm). On the contrary, increasing rate(IR) tended to decreased with the increased population densities.

The survival rate(SR) indicated significant negative correlation with reproductive efficiency(RE) in different population densities of the earthworms.

The cast production estimated were 31.6mg~67.4mg/day/worm grown in optimum population densities(50~100 worms/6,400cm³).

The earthworm castings are an excellent soil conditioning material or organic fertilizer sources with a high chemical composition and their physical properties.

(Key words : Vermicomposting, survival rate, increasing rate, reproductive efficiency, C/N ratio)

* 본 연구는 1992년도 연세대학교 학술연구비의 지원에 의하여 수행되었다.

서 론

최근 축산업은 기업농과 전업농의 급속한 증가 추세에 따라서 가축 사육두수의 규모가 확대되어 막대한 량의 가축분뇨가 배출되고 있으나 아직까지도 많은 량이 효율적으로 처리, 이용되지 못하여 환경오염원이 되고 있는 실정이다.

1994년말 현재 우리나라에서 사육되고 있는 한우는 약 260만두이며, 젖소는 약 55만두로써 이들이 배출하는 연간 분뇨발생량은 약 2,500만 톤으로 추정되며 여기에 돼지와 닭의 배설량까지 합하면 연간 약 4,000만톤의 가축분뇨가 발생되는 것으로 추정된다(유, 1995). 이상과 같은 가축 분뇨의 발생량을 성분량으로 환산하면 연간 화학비료 사용량(성분량)의 약 40%나 되어(이, 1993), 가축분뇨의 효율적인 처리와 이용방법에 따라서는 귀중한 유기질 비료자원으로서의 활용 가능성은 매우 높다고 생각된다.

가축분뇨를 유기질 자원으로 이용하는 방법은 그 물리적인 성상에 따라서 다르지만, 고상(固狀)은 호기성 조건에서 퇴적발효시켜 농지에 환원되며, Slurry상(固液混合)은 혐기성 또는 호기성 조건에서 발효시킨 후 농지에 환원된다.

또한 액상(液狀)은 가축의 오줌이 대부분으로 저류조에 일정기간 저류후 농지에 살포하는 것이 일반적이다(Schechtner 등, 1980; 原田, 1987; 이, 1993; 유, 1995). 그러나 이러한 가축분뇨의 처리방법들은 모두가 시설과 노력이 많이 들고 운전관리에 경비가 많이 드는 등의 문제점을 가지고 있어 영세한 축산농가에서는 손쉽게 처리하기가 어려운 실정이다. 특히 영세한 축산농가에서 배출되어 방치되는 고상과 slurry상의 가축분뇨를 Vermicomposting에 의하여 처리할 경우, 폐기물은 급속히 안정화되며(Loehr, 1985), 냄새와 해충의 발생을 억제하며, 병원성 세균과 virus등을 감소시키고(과학기술처, 1992), 분립의 대량생산이 가능하여(李 등, 1992), 유용한 토양개량제 또는 유기질 비료로써 토양으로 환원할 수 있다.

이와같은 토양생물의 생산과 분해기능을 확

대시켜 유기성 폐기물의 처리에 응용하려는 노력은 1960년초부터 본격적으로 시작되었다. Macfadyen(1963)은 산업폐기물의 생물학적 처리방법의 하나로 지렁이에 의한 decomposer industry의 가능성을 시사하였고, Hartenstein(1978)은 생물학적 방법에 의한 폐기물의 처리를 Vermicomposting이라고 이름붙여 지렁이에 의한 sewage sludge의 처리가능성을 보고하였다. 우리나라에서는 이 등(1990)이 분뇨처리장에서 배출되는 sludge cake의 처리를 위한 Vermistabilization의 타당성 조사를 실시하였고,李 등(1992)은 Vermicomposting에 의하여 제지 sludge의 완전처리가 가능하며, 생산된 분립은 토양개량제로서 유용하다고 보고하였다.

가축분뇨를 Vermicomposting에 의하여 처리할 경우, 부수적으로 생산되는 지렁이의 분립은 peat moss와 같이 취급하기 좋고, 입단구조(aggregate)로 되어 있어 토양공극량의 증가에 의하여 통기성과 보수성을 높이는 등 토양의 물리성 개선에 공헌한다(渡邊 등, 1979). 또한 지렁이의 분립은 pH가 중성 내지는 약 알칼리를 나타내고, 유기물 함량이 높으며 식물체의 생육에 유용하고 다양한 무기양분을 함유하여 유기질 비료자원으로서 활용 가능성은 높다고 생각된다(Graff, 1974; Reddy, 1983; 李 등, 1992). 특히 지렁이의 분립에는 식물생장물질이 들어 있어 식물체의 생장을 촉진하며(Springett와 Syres, 1978; Graff와 Makeschin, 1980), 분립중의 특정 무기물(Zn)은 식물체내에서 효소활성의 증가에 관여하여 식물의 생육을 촉진시키고(朴 등, 1994), 식물체의 근권환경을 개선시켜 뿌리의 생육을 촉진시킨다(Edwards와 Lofty, 1980; Reddy, 1983; 李와 劉, 1993).

이상과 같이 Vermicomposting에 의한 가축분뇨의 처리는 환경오염원의 감소 → 지렁이와 분립의 대량생산 → 분립을 이용한 토양비옥도의 증진 → 안전성이 높은 농산물의 생산이라는 생태적 기능의 고리를 연결하는 과정으로서, 축산환경을 개선시키는 것은 물론 유기농업과 지속농업을 하므로서 안전한 농산물의 생산에 크게

기여할 것으로 생각된다.

그러나 효율적인 Vermicomposting 공정의 운용을 위해서는, 가축분뇨의 안정화(Loehr, 1985), 적당한 온도와 수분조건(Hartenstein, 1982), 먹이조건(渡邊, 1979) 및 분립의 연속생산을 위한 적정 사육밀도(岡田 등, 1980; 李 등, 1994)의 추정이 필요하다.

이상의 관점에서 본 실험에서는 지렁이의 먹이로 탄질율이 다른 우분과 사육밀도를 달리 했을 때 줄무늬 지렁이의 생육과 분립생산에 미치는 영향을 조사하여, 효율적인 가축분뇨의 처리를 위한 Vermicomposting의 운용인자를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 1992년 5월부터 1992년 10월까지 연세대학교 부속 덕소농장에서 실시되었다.

공시 지렁이는 우리나라에 자생하는 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다.

우분에 왕겨를 혼합하여 탄질율(C/N ratio)을 25, 35, 45, 55의 4수준으로 조절한 먹이를 1개월간 호기성 조건에서 퇴적발효시킨 후, 처리별로 사육상자에 건물기중으로 1.3kg씩을 16cm 높이까지 충전하였다.

사육밀도는 사육상자(20 × 20 × 40cm)에 각각 50, 100, 150, 200, 250마리를 방사한 4수준으로 하여 60일간 사육하였다.

실험기간중 먹이의 수분함량은 65 ± 5%의 수준으로 유지하였으며, 사육사내의 평균기온은 18.4℃였다.

실험방법은 주구(主區)에 탄질율이 다른 우분, 세구(細區)에는 사육밀도를 배치한 분할구 시험법으로 3반복하였다.

조사내용은 지렁이의 생존율, 증체속도, 부화율, 증식효율(난포수, 산자수)을 조사한 후, 상자중의 잔식량과 분립을 80℃ 48시간 건조하여 분립(<2.5mm)과 잔식량(>2.5mm)을 분리하여 건물중을 구하였다. 또한 유기질 비료자원으로서의 분립을 평가하기 위하여 분립의 화학적 조성을 분석하였다(표 6).

결 과

1. 탄질율과 사육밀도가 다른 조건에서 지렁이의 생육결과에 대한 분산분석

탄질율과 사육밀도가 다른 조건에서 지렁이의 생육결과에 대한 분산분석표는 표 1과 같다.

생존율(SR)은 먹이의 탄질율에서 유의성이 인정되지 않았지만, 사육밀도에서는 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다. 실험종료시 지렁이의 평균 생체중(FW₂)은 탄질율에서 5% 수준의 유의성이 인정되었으며, 난포수(NC)에서는 탄질

Table 1. Analysis of variance for the values on measured characteristics of the earthworms in different C / N ratios of feeds and population densities.

Source	df	Mean of Squares										
		SR	FW ₁	FW ₂	NC	WC	NY	WY	HR	IR	CW	RM
Feed(F)	3			*	***	***	***	***	***	*	***	***
Density(D)	4	***			*		*		*	***	**	
F × D	12				*	***	*					
Error	40											

Note. *, ** and *** are significant differences at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

SR; survival rate(%), FW₁; mean fresh weight(mg) of adult worm at initial time, FW₂; mean fresh weight(mg) of adult worms at final time, NC; number of cocoons, WC; fresh weight of cocoons(g), NY; number of young worms, WY; fresh weight of young worms(g), HR; hatching rate of cocoons(%), IR; increasing rate of adult worms[(ln FW₂ - ln FW₁)/t₂ - t₁], CW; dry weight of cast (g, <2.5mm) and RM; residual matter(g, >2.5mm).

울에서 0.1%수준, 사육밀도에서 5% 수준, 탄질울과 사육밀도간(F × D)의 교호작용에서는 5% 수준의 유의성이 인정되었다.

난포중(WC)에서는 탄질울, 탄질울과 사육밀도간의 교호작용에서 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다. 산자수(NY)에서는 탄질울에서 0.1% 수준, 사육밀도, 탄질울과 사육밀도간의 교호작용에서는 5% 수준의 유의성이 인정되었고, 산자중(WY)은 탄질울에서만 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다.

부화율(HR)은 탄질울에서 0.1%, 사육밀도에

서 5% 수준의 유의성이 인정되었고, 증체속도(IR)는 탄질울에서 5%, 사육밀도에서 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다.

분립생산량(CW)은 탄질울에서 0.1%, 사육밀도에서 1%, 잔식량(RM)에서는 탄질울만이 0.1% 수준의 유의성이 인정되었다.

2. 탄질울의 차이에 따른 지렁이의 생육결과

탄질울의 차이에 따른 지렁이의 생육결과를 나타낸 것이 표 2이다.

Table 2. The mean values on the growth, reproductive efficiency and cast production of the earthworms in different C/N ratios of feeds.

C/N ratio	SR	FW ₁	FW ₂	NC	WC	NY	WY	HR	IR	CW	RM
25	68.0 ^{ab}	309.9 ^a	429.1 ^{ab}	110.3 ^a	1.78 ^a	72.80 ^a	1.23 ^a	27.76 ^a	5.21 ^{ab}	286.4 ^a	499.1 ^c
35	64.4 ^{bc}	306.2 ^a	446.5 ^a	18.4 ^b	0.38 ^b	2.80 ^b	0.08 ^b	23.13 ^a	5.82 ^a	196.1 ^c	569.1 ^b
45	60.6 ^c	305.5 ^a	469.8 ^a	9.8 ^b	0.19 ^c	1.80 ^b	0.01 ^b	19.19 ^a	6.48 ^a	157.3 ^c	495.6 ^b
55	60.6 ^c	295.4 ^a	390.6 ^b	2.9 ^b	0.01 ^d	0.33 ^b	0.01 ^b	4.05 ^b	4.17 ^b	239.5 ^b	629.2 ^a

Note. Means with the same letter are not significantly different at 0.5% level by Duncan's Multiple Range Test.

생존율(SR)은 탄질울이 25일때 68%였으나 35와는 유의차가 없었으며 탄질울이 높아질수록 생존율이 낮아지는 경향이였다. 실험 개시시의 평균 생체중(FW₁)은 탄질울간에 295.4~309.9mg의 범위를 나타내었으나 유의한 차이는 인정되지 않았으며, 실험 종료시의 평균 생체중(FW₂)은 탄질울 45에서 469.8mg을 나타내어 가장 무거웠으나 55에서는 390.6mg으로 가장 가벼웠다.

난포수(NC)에서는 탄질울 25에서 평균 110.3개로 유의하게 많았으나 탄질울이 높아짐에 따라서 급격히 감소되어 탄질울 55에서는 2.9개에 불과하였다.

난포중(WC)은 탄질울 25에서 1.78mg을 나타내어 유의하게 무거웠으나 탄질울 55에서는 0.01g으로 가장 가벼웠다. 산자수(NY)와 산자중(WY)도 탄질울이 높아짐에 따라서 급격히 저하

되었다.

부화율(HR)은 탄질울 25에서 45까지는 27.76~19.19%의 범위를 나타내어 유의한 차이가 인정되지 않았으나 탄질울 55에서 부화율은 4.05%로 유의하게 낮았다.

증체속도(IR)는 탄질울 45에서 6.48로 가장 빨랐으나 55에서는 4.17로 가장 느렸다.

분립생산량(CW)은 탄질울 25에서 286.4g으로 가장 많았으나 45에서는 가장 적은 157.3g을 나타내었다. 또한 잔식량(RM)은 탄질울이 높아짐에 따라서 유의하게 증가되는 경향을 나타내어 탄질울 55에서 629.2g으로 가장 많았다.

3. 탄질울의 차이에 따른 조사형질간의 상호관계

먹이의 탄질울의 차이에 따른 조사형질간의

상호관계를 나타낸 것이 표 3이다.

생존율(SR)은 난포수, 산자수, 산자증과는 5% 수준, 난포증과는 1% 수준의 정상관이었으나, 잔식량과는 1% 수준의 유의한 부의 상관성이 인정되었다. 실험종료시의 평균 생체중(FW₂)은 부화율과 5%, 증체속도와는 0.1% 수준의 유의한 정상관을 나타내었다.

난포수(NC)는 난포증, 산자수 및 산자증과는 각각 0.1% 수준의 정상관을, 잔식량과는 1% 수준의 유의한 부의 상관성이었고, 난포증(WC)과 산자수(NY)도 난포수와 같은 경향을 나타내었다.

부화율(HR) 잔식량과 1% 수준의 유의한 부의 상관을 나타내었다.

Table 3. Correlation coefficients among measured characteristics of the earthworms in different C/N ratios of feeds.

	FW ₂	NC	WC	NY	WY	HR	IR	CW	RM
SR	0.036	0.914*	0.931**	0.875*	0.892*	0.784	-0.003	0.679	-0.960**
FW ₂		-0.013	0.035	-0.072	-0.074	0.850*	0.999***	-0.666	-0.242
NC			0.998***	0.995***	0.997***	0.687	-0.061	0.755	-0.944**
WC				0.987***	0.990***	0.733	-0.009	0.722	-0.964**
NY					0.999***	0.621	-0.121	0.787	-0.908**
WY						0.633	-0.122	0.791	-0.917**
HR							0.618	0.105	-0.881*
IR								-0.698	-0.199
CW									-0.557

Note. *, ** and *** are significant at 5%, 1% and 0.1% level, respectively.

4. 탄질율이 다른 먹이조건에서 생존율과 증식 효율과의 관계

탄질율이 다른 먹이조건에서 생존율과 증식 효율과의 관계를 나타낸 것이 그림 1이다.

탄질율이 다른 먹이조건에서 지렁이의 생존율은 증식효율과 1% 수준의 정상관을 나타내어, 생존율이 높은 먹이조건에서 증식효율(난포수 + 산자수)이 높았다.

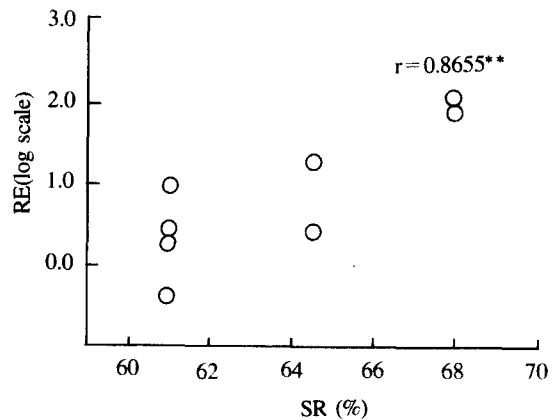


Fig. 1. Relationship between survival rate(SR) and reproductive efficiency(RE) of the earthworms in different C/N ratios of feeds.

5. 사육밀도의 차이에 따른 지렁이의 생육결과

사육밀도의 차이에 따른 지렁이의 생육결과를 나타낸 것이 표 4이다.

생존율(SR)은 사육밀도 50과 100에서 각각 85.2%와 91.6%를 나타내어 다른 사육밀도의 생존율 보다 유의하게 높았다. 실험개시시의 평균 생체중(FW₁)은 사육밀도간에 290.3~318.7mg의

범위를 나타내었으나 유의한 차이는 인정되지 않았고, 실험종료시의 평균 생체중(FW₂)은 사육

밀도 50에서 575.5mg을 나타내어 250의 298.6 mg보다 약 2배 정도 무거웠다. 난포수(NC)에서

는 사육밀도가 높아짐에 따라서 난포수는 유의하게 증가되어 250에서 49.3개로 가장 많았다.

Table 4. The mean values on the growth, reproductive efficiency and cast production of the earthworms in different population densities.

Density	SR	FW ₁	FW ₂	NC	WC	NY	WY	HR	IR	CW	RM
50	85.2 ^a	318.7 ^a	575.5 ^a	22.0 ^b	0.66 ^a	8.8 ^c	0.27	8.13 ^c	8.51 ^a	172.2 ^b	619.8 ^a
100	91.6 ^a	291.8 ^a	484.0 ^b	25.9 ^b	0.45 ^b	9.3 ^b	0.30 ^a	13.96 ^{bc}	8.50 ^a	193.7 ^b	598.7 ^a
150	73.8 ^b	300.2 ^a	462.6 ^b	33.7 ^{ab}	0.58 ^{ab}	19.7 ^{abc}	0.36 ^a	18.52 ^{bc}	7.17 ^a	263.3 ^a	516.5 ^b
200	34.3 ^c	290.3 ^a	348.6 ^c	45.9 ^a	0.61 ^{ab}	33.3 ^a	0.45 ^a	23.00 ^{ab}	3.03 ^b	205.8 ^b	605.8 ^a
250	31.4 ^c	300.5 ^a	298.6 ^c	49.3 ^a	0.64 ^{ab}	26.3 ^{ab}	0.28 ^a	29.05 ^a	-0.12 ^c	264.2 ^a	525.3 ^b

Note. Means with the same letter are not significantly different at 0.5% level by Duncan's Multiple Range Test.

난포중(WC)은 사육밀도의 차이에 따라서 일정한 경향은 인정되지 않았지만 사육밀도 50, 250, 200, 150, 100의 순으로 무거웠다. 산자수(NY)는 사육밀도 200에서 33.3마리로 가장 많았으나 사육밀도가 낮았던 50에서는 8.8마리에 불과하였다. 산자중(WY)은 사육밀도간에 0.27~0.45g의 범위를 나타내어 유의성이 인정되지 않았다. 부화율(HR)은 사육밀도가 높아짐에 따라서 증가되어 50에서 8.13%가 250에서는 29.05%로 증가되었다.

증체속도(IR)는 사육밀도 50에서 8.51이었으나 250에서는 -0.12의 증체속도를 나타내어 사육밀도가 높아짐에 따라서 증체속도는 급격히

저하되었다. 분립생산량(CW)은 150에서 263.3g, 250에서 264.2g으로 유의하게 많았으며, 잔식량(RM)은 사육밀도 150과 250에서 유의하게 적었다.

6. 사육밀도의 차이에 따른 조사형질간의 상호관계

사육밀도의 차이에 따른 조사형질간의 상호관계를 나타낸 것이 표 5이다.

생존율(SR)은 실험종료시의 평균 생체중과 증체속도와는 각각 1%와 0.1%의 유의한 정상관이었으나, 난포수, 산자수, 부화율과는 유의한

Table 5. Correlation coefficients among measured characteristics of the earthworms in different population densities.

	FW ₂	NC	WC	NY	WY	HR	IR	CW	RM
SR	0.920**	-0.971***	-0.498	-0.936**	-0.439	-0.895*	0.966***	-0.089	0.313
FW ₂		-0.979***	-0.160	-0.872*	-0.382	-0.983***	0.945**	-0.627	0.464
NC			0.330	0.936**	0.448	0.972***	-0.961***	0.638	-0.470
WC				0.366	-0.015	0.197	-0.440	0.132	-0.092
NY					0.713	0.847*	-0.835*	0.500	-0.312
WY						0.312	-0.222	0.084	0.072
HR							-0.935**	0.755	-0.614
IR								-0.565	0.413
CW									-0.978***

부의 상관관계를 나타내었다. 평균 생체중(FW₂)은 난포수, 부화율과는 0.1% 수준, 산자수와는 5% 수준의 유의한 부의 상관, 증체속도와는 0.1% 수준의 유의한 정상관계를 나타내었다. 난포수(NC)에서는 산자수와 1%, 부화율과는 0.1% 수준의 정상관계를, 그리고 증체속도와는 0.1% 수준의 유의한 부의 상관관계를 나타내었다.

산자수(NY)는 부화율과 5% 수준의 정상관계 그리고 증체속도와는 5% 수준의 유의한 부의 상관관계가 인정되었고, 부화율(HR)은 증체속도와 1% 수준의 유의한 부의 상관관계를 나타내었다. 또한 분립생산량(CW)은 잔식량과 0.1% 수준의 유의한 부의 상관관계를 나타내었다.

7. 사육밀도의 차이에 따른 생존율과 증식효율과의 관계

사육밀도의 차이에 따른 생존율과 증식효율과의 관계를 나타낸 것이 그림 2이다.

사육밀도가 다른 조건에서 생존율과 증식효율과의 관계는 1% 수준의 유의한 부의 상관관계가 인정되어, 생존율이 높아짐에 따라서 증식효율

은 저하되었다.

8. 분립의 화학적 조성

탄질율의 차이에 따른 분립의 화학적 조성은 표 6과 같다.

pH는 탄질율의 차이에 따라서 8.68~8.75의 범위를 나타내어 알칼리성이었으며, 유기물함량(OM)은 탄질율이 높아짐에 따라서 26.1%가 31.9% 까지 증가하였다.

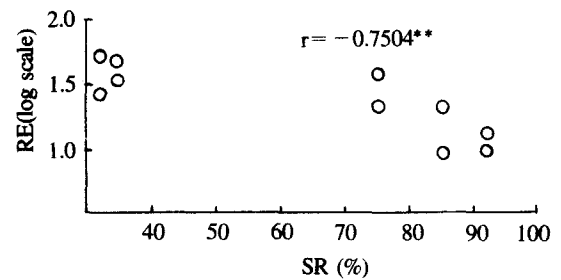


Fig. 2. Relationship between survival rate(SR) and reproductive efficiency(RE) in different population densities of the earthworms.

Table 6. Chemical composition of earthworm casts in different C / N ratios of feeds(DM basis).

C/N ratio	pH	OM (%)	TN (%)	C/N	Avail. P ₂ O ₅ (ppm)	CEC (me/100g)	Exchangeable cation(me/100g)			
							K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
25	8.68	26.1	1.65	9.1	3,032.1	32.4	41.8	28.2	74.2	36.2
35	8.68	31.2	1.64	11.3	3,018.0	32.5	40.2	24.6	72.6	33.8
45	8.75	31.6	1.58	11.3	3,017.0	32.6	39.8	25.8	71.5	32.5
55	8.70	31.9	1.57	11.5	2,873.2	32.3	37.0	24.6	69.2	31.9
x	8.70	30.2	1.61	10.8	2,985.1	32.5	39.7	25.8	71.9	33.6

Note. OM ; organic matter, TN ; total nitrogen, C/N ; ratio of carbon and nitrogen of worm cast, Avail. P₂O₅ ; available phosphorus and CEC ; cation exchange capacity.

전질소 함량(TN)은 탄질율 25에서 1.65%였으나 55에서는 1.57%를 나타내어 탄질율의 증가에 따라서 감소되었다. 분립의 탄질율은 먹이의 탄질율 25에서 9.1 그리고 55에서는 11.5를 나타내어 먹이의 탄질율이 높아짐에 따라서 분립의

탄질율도 높아졌다.

유효인산함량(P₂O₅)은 탄질율 55에서 가장 낮은 2,873.2ppm을 나타내어 탄질율이 높아짐에 따라서 감소되는 경향이였다.

양이온치환능력(CEC)은 32.3~32.6의 범위를

나타내어 탄질율의 차이에 따라서 큰 차이는 인정되지 않았다.

치환성 염기함량은 칼리이온(K⁺)이 탄질을 25에서 41.8이었으나 55에서는 37.0을 나타내어 탄질율이 낮을수록 높아졌다. 나트륨이온(Na⁺)은 탄질을 25에서 28.2를 나타내었으나 탄질율의 차이에 따라서 일정한 경향은 인정되지 않았다.

칼슘이온(Ca⁺⁺)은 탄질을 25에서 74.2였으나 55에서는 69.2를 나타내었으며, 마그네슘이온(Mg⁺⁺)은 탄질을 25에서 36.2였으나 55에서는 31.9로 낮아져, 먹이의 탄질율이 높아짐에 따라서 저하하였다.

고 찰

효율적인 Vermicomposting의 운용을 위해서는 지렁이 생육을 위한 좋은 먹이조건과 적정한 사육밀도의 추정에 의하여 생존율을 높이고, 증식효율을 향상시키며, 증체속도를 빠르게 하여 분립의 생산량을 증가시키는 일이라고 생각된다(李 등, 1992; 이 등, 1993).

본 실험의 결과에서는 탄질을 25에서 생존율과 증식효율(난포수 + 산자수)이 유의하게 높았고(표 2), 생존율이 높아짐에 따라서 증식효율은 유의하게 증가되었으며(그림 1), 분립의 생산량도 유의하게 많아서(표 2), 지렁이의 먹이조건으로서 알맞는 탄질율의 범위는 25전후라고 생각되었다. 먹이의 탄질율에 대하여 渡邊 등(1979)은 20~30정도의 범위가 좋다고 하였고, EPA(1980)의 연구결과에서도 Vermicomposting에 알맞는 먹이의 탄질율은 15~30의 범위라고 하였다.

증체속도는 탄질을 35와 45에서 높은 경향을 나타내었는데(표 2). 이러한 결과는 먹이조건이 좋을 경우 증체속도보다는 증식효율을 향상시키고, 먹이조건이 나쁠 경우에는 증식효율은 낮으나 증체속도는 빨라진다고 한 李 등(1992)의 보고와도 같은 경향이었다고 생각된다. 즉, 좋은 먹이조건에서는 지렁이의 생육이 증식효율

의존적이며, 나쁜 먹이조건에서는 증체속도의 의존적이었다는 것을 의미한다.

사육밀도 50~100이상의 조건에서는 생존율과 증체속도가 지나치게 낮았는데(표 4), 생존율이 감소됨에 따라서 증식효율은 유의하게 증가되었다(그림 2). 사육밀도가 높아짐에 따라서 생존율과 증체속도가 저하한 원인은 단위용적당 먹이량과 지렁이의 중량비가 지나치게 낮은 조건(Edwards, 1988)과 단위용적당 지렁이의 중량이 최대가 되는 시기 이후에 수확하는 조건에서(岡田 등, 1980) 개체간 경쟁이 유발되기 때문이라고 생각된다. 먹이량 [2kg(수분함량 65%)] = 사육밀도 × 마리당 섭취량 × 사육기간(60일)으로 계산된다. 따라서 사육밀도가 높았던 250에서는 사육기간이 길고 먹이량이 부족한 조건에서 생존율과 증체속도가 유의하게 저하되었기 때문이라고 생각된다(표 4). 그러나 사육밀도가 높아짐에 따라서 생존율과 증체속도가 저하되고 증식효율이 높아진 결과에 대해서는 앞으로 먹이량, 사육밀도 및 생육기간등 여러가지 사육조건을 달리한 실험을 통하여 종합적인 검토가 이루어져야 한다고 생각된다.

본 실험에서 적정 사육밀도는 생존율과 증체속도가 빨랐던 50~100(64.0~128.0cm³/마리)으로 추정되었다(표 4). 적정사육밀도에 대하여 渡邊 등(1979)은 줄무늬 지렁이의 적정밀도는 30,000마리/m²라고 하였으며, 岡田 등(1980)은 줄무늬 지렁이의 최대수량을 얻기 위한 개체밀도는 15,000마리/m²라고 하였다. 또한 Hartenstein과 Amico(1983)는 sewage sludge와 토양의 혼합비율이 2:1의 조건에서 125cm³/마리가 적정밀도라고 하였고, 李 등(1992)은 제지 sludge와 우분의 혼합비율을 달리한 먹이조건에서 79.8cm³/마리의 개체밀도에서 생존율이 가장 높다고 하였으며, 이 등(1993)은 최적 사육밀도는 42.7~128.0cm³/마리였다고 하였다.

이상과 같은 결과로 미루어 볼 때, 먹이조건은 탄질을 25전후, 사육밀도는 64.0~128cm³/마리 전후로 조정하여 생존율과 증체속도를 높이고, 증식효율과 분립생산량을 증가시킬 수 있어 효

울적인 Vermicomposting의 운용이 가능하다고 생각된다.

특히 사육밀도가 높은 조건에서는 먹이량과 비율에 주의하여 증체량을 최대로 얻을 수 있는 시기에 수확을 반복하는 것이 좋다고 생각된다. Edwards(1988)는 지렁이의 증량과 먹이의 비율이 1:8일 때 최대수량을 얻을 수 있다고 하였고, 岡田 등(1980)은 적정 밀도조건에서 15~30일 간격으로 전체증량의 1/2 정도를 수확하는 것이 좋다고 하였다.

Vermicomposting에 의한 우분처리의 최종적인 목적은 분립의 생산과 식물체의 생육을 위한 growth media로써 분립을 토양에 환원하여 안전하게 이용될 수 있어야 하며, 이를 위해서는 분립의 생산능력의 파악과 분립의 이화학적 특성이 평가되어야 한다고 생각된다.

분립생산량은 탄질을 25에서 유의하게 많았고(표 2), 사육밀도가 높아짐에 따라서 총분립생산량은 증가되는 경향이었으나(표 4), 적정 사육밀도로 추정되는 50~100에서는 마리당 1일 분립생산량은 31.6~67.4mg의 범위를 나타내었다. 특히 사육밀도 50에서는 마리당 1일 분립생산량은 67.4mg으로 평균 생체중의 11.7%에 상당하였다. 분립생산량에 대하여 渡邊 등(1979)은 지렁이의 1일 먹이섭취량은 체중과 거의 같은 양으로, 섭취량의 1/2~1/3을 분립으로 배출한다고 하였고, 李 등(1992)은 마리당 1일 분립생산량은 평균 생체중의 약 10~20%를 나타낸다고 하였다. 이 등(1993)은 적정 사육밀도 조건에서 분립생산량은 마리당 1일 36.5~80.9mg의 범위로써 사육밀도가 높아짐에 따라서 분립생산량은 증가한다고 보고하였다.

분립은 입단구조(aggregates)로 되어 있어 토양의 공극량 증가를 통한 통기성과 보수성을 향상시키므로 토양물리성 개선에 크게 공헌한다(Syers 등, 1979).

분립의 화학적 조성은 먹이의 탄질율의 차이에 따라서 큰 차이는 인정되지 않았지만 pH는 평균 8.7로써 알칼리성을 나타내어 산성토양의 개량에 유용하다고 생각되었다(표 6). 또한 유기

물함량은 31.2%, 분립의 탄질율은 10.8을 나타내어 유기성 자원을 이용한 퇴비제품의 품질평가 기준치인 유기물함량 25%이상과 탄질을 50 이하의 조건에 충족하며(농림수산부, 1993), 전질소함량도 매우 높은 값을 나타내었다.

또한 우리나라 토양에 부족하기 쉬운 유효인산함량은 무려 3,000ppm 정도를 나타내었고, 양분보전능(CEC)과 치환성 염기함량은 초지토양의 생산력 등급기준치(三井, 1968)와 토양양분의 진단 기준치(昌中 등, 1983) 이상의 값을 나타내어(표 6), 분립을 토양으로 환원할 경우 토양개량제 또는 유기질 비료로서의 유용성은 매우 높다고 할 수 있다(Lee Valley, 1983; Reddy, 1983). 특히 분립을 토양에 혼합할 때에는 40~60%정도의 혼합비율이 근권환경을 개선시켜 식물체의 생육을 촉진시키는데 효과적이었다(李와 劉, 1993).

Vermicomposting에 의한 우분의 처리는 가축의 사육두수에 따른 분뇨발생량에 따라서 여러 가지 형태의 시설이 도입될 수 있으나, 경제적 여건이 어려워 분뇨 처리시설을 갖출 수 없는 영세한 축산농가에게는 Vermicomposting에 의한 우분의 처리가 기술적, 경제적으로도 알맞는 분뇨의 처리방법이라고 생각된다. 따라서 지금까지 그대로 방치되어 온 많은 양의 가축의 분뇨를 Vermicomposting에 의하여 간단하게 처리할 경우, 축산환경의 개선을 통하여 환경오염을 줄이고, 생산된 분립을 토양개량제 또는 유기질 비료로서 토양에 환원시켜 안전성이 높은 농산물과 조사료를 생산할 수 있어, 농가수익을 높일 수 있으며 환경보전형 농업의 발전에도 크게 기여할 것으로 생각된다.

적 요

우분의 탄질율과 사육밀도를 달리했을 때 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향을 조사하여 효율적인 Vermicomposting을 위한 먹이 조건과 사육밀도를 추정하려고 하였다.

본 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과

같다.

탄질을 25에서 생존율, 증체속도, 증식효율이 높았으며 분립생산량도 유의하게 많아서 지렁이의 생육에 적당한 탄질을이었다.

탄질이 다른 먹이조건에서 생존율은 증식효율과 유의한 정상관을 나타내었다.

사육밀도 50~100(64.0~128.0cm³)에서는 생존율과 증체속도가 높았으나, 사육밀도가 높아짐에 따라서 증식효율은 낮아져, 생존율과 증식효율과는 유의한 부의 상관관이 인정되었다.

분립생산량은 적정 사육밀도라고 생각되는 50~100(64.0~128.0cm³)에서 31.6~67.4mg/일/마리의 범위를 나타내었다.

분립의 물리적, 화학적 조성으로 볼 때 토양 개량제 또는 유기질 비료로써 이용가치는 매우 높다고 생각된다.

(핵심어 : 지렁이에 의한 퇴비화, 생존율, 증체율, 증식효율, 탄질율)

인 용 문 헌

1. Edwards, C. A. and Lofty, J. R. 1980: The effect of direct drilling and mineral cultivation on earthworm populations. *J. Appl. Ecol.* 19:723-734.
2. Edwards, C. A. 1988: Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. In; *Earthworm in waste and environmental management*. Ed. by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser. pp. 21-31. 1988 SPB Academic Publishing. The Hague, The Netherlands.
3. EPA. 1980: Compendium on solid waste management by vermicomposting. Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati OH 45268, EPA-600/8-80-033, Aug. 1980.
4. Graff, O. and Makeschin, F. 1980: Beeinflussung des Ertrages von Weidelgras(*Lolium multiflorum*) durch ausscheidungen von Regenwur-

- mern dreier Verschiedener Arten. *Pedobiologia* 20:176-180.
5. Hartenstein, R. 1978: Utilization of soil organisms in sludge management. *Natl. Tech. Inf. services*. Springfield, Virginia PB 286932.
6. Hartenstein, R. 1982: Metabolic parameters of the earthworms *Eisenia foetida* in relation to temperature. *Biotechnology and Bioengineering*. Vol. XXIV pp. 1803-1871.
7. Hartenstein, R. and Amico, L. 1983: Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. & Biochem.* 15:51-54.
8. Lee Valley EHS. 1983: Bedding plants, compost additives(GP38/09235). MAFF/ADAS Reference Booklet 236. *Protected Crops Ornamentals* pp. 3-4.
9. Loehr, R. C. 1985: Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10), 1311-1317.
10. Macfadyen, A. 1963: The contribution of the fauna to total soil metabolism. North Holland Pub. Co. Amsterdam. pp. 3-17.
11. Reddy, M. V. 1983: Annual cast production by the megascolecid earthworm. *Pheretima alexandri*(Bedard). *Comp Physiol. Ecol.* 8:84-86.
12. Schechtner, G., Tunney, H., Arnold G. H. and Keuning, J. A. 1980: Positive and negative effects of cattle manure on grassland with special reference to high rates of application. *Proc. Int. Symp. Eur. Grassland Fed., on the role of nitrogen in intensive grassland production*. 1980. Pudoc, Wageningen. pp. 77-93.
13. Springett, J. A. and Syres, J. K. A. 1978: Effects of earthworm casts on ryegrass seedlings. In *Proceeding of the Second Australian Conference on Grassland Invertebrate Ecology*. pp. 44-47. Ed. by T. K. Crosby and R. P. Pottinger. Government Printers, Wellington.

14. Syers, J. K. A., Sharpley, N. and Keeney, D. R. 1979: Cycling of nitrogen by surface casting earthworms in a pasture ecosystems. *Soil Biol. & Biochem.* 11:181-185.
15. 三井計夫. 1968: 飼料作物草地ハンドブック. 養賢堂 pp. 214-222
16. 岡田光正, 森 忠一, 須藤隆一. 1980: シマミミズによる汚泥處理の可能性に関する研究—ミミズ個體群の動態に関するシミュレーションと汚泥處理のため最適條件の推定—國立環境研究所 研究報告 第14號 223-247.
17. 昌中哲哉, 倉島健次, 木村 或. 1983: 家畜糞尿試用土壤の土壤管理に関する研究. I. 化學性からみた草地飼料畑土壤の實態と問題點. 草地試驗場 研究報告 25:48-59.
18. 原田立青生. 1987: 微生物の活用による畜産廢棄物の處理と利用. 畜産研究 42(8):355-360.
19. 渡邊弘之, 森 忠洋, 平田俊道. 1979: ミミズの有效利用とその技術. サイエンチスト社. pp. 236-250.
20. 과학기술처. 1992: 토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리기술 개발에 관한 연구(I). pp. 67-81.
21. 농림수산부. 1993: 농림수산부 고시 제 93-29호.
22. 박 세진, 이 주삼, 김명원. 1994: 지렁이 분립 추출물이 오이의 초기생장에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 3(1):79-86.
23. 유 재일. 1995: 축산분뇨의 이용실태와 자원화 방향. 유기성 폐기물자원의 활용과 환경보전형 농업의 육성방안에 관한 심포지움 자료 pp. 17-40. 한국유기농업학회, 한국유기성자원화협의회 공동주최(1995. 5.13)
24. 이 유원, 전성환, 최훈근, 선재건, 이민도, 김민호, 안선옥. 1990: 지렁이를 이용한 유기성 슬러지 처리에 관한 타당성 조사. 국립환경연구원
25. 李 柱三, 鄭 在春, 曹 益煥. 1992: 제지 sludge와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지 9(2):19-26.
26. 이 주삼, 김 성진, 조 고영. 1993: Vermicomposting에 의한 우분의 처리. I. 사육밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향. 한국유기성자원화협의회 학회지 1(2):259-166.
27. 李 柱三, 劉 恩希. 1993: 지렁이 분립과 토양의 혼합비율이 Orchardgrass 유식물체의 생육에 미치는 영향. 한국유기성자원화협의회 학회지 1(2):267-274.
28. 이 주삼. 1993. 축산폐기물의 퇴비화 기술과 제도적 문제점. 경실련 발표자료. pp. 1-10.