

Vermicomposting에 의한 우분의 처리 1. 사육밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향

이주삼, 김성진, 조고영

연세대학교 생물자원공학과

Treatment of Cow manure by Vermicomposting 1. Effect of population densities on the growth and reproduction of the earthworm(*Eisenia foetida*)

J. S. Lee, S. J. Kim and G. Y. Cho

Dept. of Biological Resources & Technology, Yonsei University

ABSTRACT

This experiment was carried out to the effect of population densities on the growth, reproduction, cast production of the earthworm and chemical composition of worm casts.

The population densities of 50, 100, 150, 200 and 250 individuals of the earthworm fed with cow manure was studied in rearing box(6,400cm³) and fertility stage during a period of 60 days.

The results were summarized as follows

1. Survival rates(SR) of the earthworms had significantly positive correlated with increasing rate(IR). But, survival rates(SR) and increasing rate(IR) had significantly negative correlated with reproductive efficiency(RE).

2. The ranges of optimum population densities estimated were 42.7cm³-128.0cm³/worm.

3. The cast production estimated were 36.5mg-80.9mg/day/worm grown in optimum population densities(50-150 worms/6,400cm³).

4. The earthworm castings are an excellent soil conditioning material with a high chemical composition and their physical properties.

초 록

사육밀도를 달리한 지렁이 개체군에 우분을 먹이로 공급하였을 때 지렁이 생육과 분립의 생산량 및 분립의 화학적 조성을 조사하였다. 지렁이의 생존율과 증식속도사이의 유의한 정상관이, 생존율과 증식속도간에는 역상관이 존재하였다. 최적사육밀도는 42.7-128 cm³/마리의 범위로 추정되었으며, 최적사육밀도에서 분립의 생산량은 36.5-80.9 mg/마리의범위로 추정되었다. 분립은 그화학적 조성과 물리적 성상으로 볼 때

토양개량제로서 이용가치가 높다고 판단되었다.

핵심용어—Vermicomposting, 분립, 지렁이, 증식속도, 토양개량제

1. 緒 論

최근의 UR협상 타결 이후 우리나라의 낙농업은 영세한 사육농가의 급격한 감소와 함께 전업농에 의한 다두사육의 형태로 발전되어 젖소의 사육두수는 계속적으로 증가될 것으로 전망된다.

한편, 젖소의 사육두수의 증가에 따라서 이들이 배출하는 분뇨의 발생량도 급증할 것으로 추정되는데, 젖소 1두당 연간 분뇨의 배설량을 약 10톤이라고 가정하면, 1993년도 말 젖소의 사육두수 55만두(농림수산부, 1993)에서 배출된 분뇨의 발생량은 약 550만톤에 이르고 있다.

이와같이 대량으로 배출되는 분뇨는 그동안 효율적으로 이용되지 못하여, 하천과 지하수의 심각한 오염원으로 작용해 온 것이 사실이다.

따라서 이들의 효율적인 이용은 환경보전적인 측면에서나, 유기성 자원의 활용면에서 볼 때, 앞으로 다두사육농가에서 해결하지 않으면 안되는 중요한 과제중의 하나라고 생각된다.

일반적으로 낙농농가에서 배출되는 분뇨는 가축의 연령, 사양방법, 축사의 형태 및 물리적 성상에 따라서 크게 달라지지만(原田, 1987), 이 중에서 고상(固狀)은 총고형물 함량이 50% 이상인 것으로, 퇴적이 가능하며, 적당한 수분 조절후(55-65%)에 호기성 조건에서 퇴적, 발효시켜 구비로써 농지에 환원하는 것이 원칙이다. 그러나, 퇴적과 발효를 위해서는 많은 노력과 시간이 필요하므로 대부분의 낙농농가에서는 퇴적후 생것 그대로 농지에 환원하는 실정이다.

분(糞)을 생것 그대로 농지에 환원하는 경우,

취급하기 어렵고, 악취가 심하며, 충해의 발생 위험이 높고, 빗물에 씻겨 하천과 지하수의 오염원이 되며, 토양으로 환원후 급속히 분해되어 가스가 발생하고, 발효열에 의하여 농작물이 피해를 입는 등의 여러가지 문제점을 야기시킨다.

그러나, 우분을 Vermicomposting에 의하여 처리할 경우, 급속히 안정화되어(Loehr, 1985), 냄새와 충해의 발생을 억제하고, 지렁이와 분립의 대량생산이 가능하여(李 등, 1992), 낙농농가들 뿐만아니라 농산부산물의 생산이 가능한 일반농가에게도 널리 보급할 수 있는 효율적인 퇴비화 방법의 하나라고 생각된다. 즉, Vermicomposting은 지렁이를 이용한 생물학적 폐기물 처리방법으로써(Hartenstein, 1978), 처리과정에서 생산되는 분립은 토양개량제와 유기질 비료로써 이용되어(Macfadyen, 1963;李 등, 1992), 식물의 생육을 촉진시키고(Graffin과 Makeschin, 1980;李와 劉, 1994), 지렁이의 단백질은 가축과 어류의 단백질 사료원(Hilton, 1983; Taboga, 1980)으로 이용되고 있으며, 최근에는 의약품의 원료로 까지 이용되는 등 앞으로 그 부가가치는 더욱 높아질 것으로 전망된다.

그러나 Vermicomposting의 공정을 효율적으로 운용하기 위해서는 짧은 기간동안에 유기성 폐기물의 분해를 촉진시킬 수 있는 여러가지의 사육조건이 필요하며(渡邊 등, 1979), 그 중에서도 적정사육밀도의 추정은 우분의 처리효율을 높히는데 있어서 매우 중요한 요인의 하나라고 생각된다.

따라서 본 실험에서는 우분을 지렁이의 먹이로 하고, 사육밀도를 달리하였을 때 지렁이의

생육과 분립의 생산효율에 미치는 영향을 조사하여, Vermicomposting의 효율적인 운영인자를 도출하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

생우분을 pH 6으로 조절한후 수분함량을 65+5% 조건에서 2개월간(5월 30일-7월 30일) 호기성 조건에서 발효시킨후 사육상자(20×20×40 cm)에 919.1 g(건물기준)씩 넣어 16 cm 높이까지 충전시켰다.

공시한 지렁이는 줄무늬 지렁이과에 속하는 *Eisenia foetida*로, 사육밀도는 상자당 각각 50, 100, 150, 200, 250마리로 한 5처리 3반복의 난괴법으로 배치하여 60일간(7월 31일-9월 30일) 방사시켰다. 이 때 처리별로 지렁이의 개체중을 측정하였고, 사육상자는 빛을 차단한 암흑조건에서 수분함량은 65+5%, 평균온도는

20℃-25℃의 범위로 유지, 관리하였다.

조사는 실험 개시후 60일째에 실시하였는데, 사육상자내의 지렁이수, 난포수, 산자수를 센 후, 지렁이의 생존율, 개체중, 난포중 및 산자중을 측정하였다. 또한 사육상자내의 내용물은 80℃, 48시간 건조하여, 20.0 mm의 표준채로 분립(<2.0 mm)과 미섭취량(>2.0 mm)으로 분리하여 각각의 건물중으로 하였으며, 분립의 화학적 분석 결과는 Table 2와 같다.

3. 結 果

3.1 사육밀도에 따른 지렁이의 생육과 분립생산량
사육밀도에 따른 지렁이의 생육과 분립생산량의 차이는 Table 1과 같다.

생존율(SR)은 사육밀도 100구에서 92.7%, 50구에서 88%, 150구에서 81.6%, 200구에서 45.3% 그리고 250구에서 32.5%의 순이었으

Table. 1 Effect of population densities on the growth, reproduction and cast production of the earthworm.

D	SR	MF _{W1}	MF _{W2}	NC	WC	NY	WY	HR	IW	IR	C	T	RM
50	88.0	355.3	536.2	74.0	2.00	34.0	0.97	19.7	180.9	6.83	242.7	788.7	546.0
100	92.7	264.0	469.0	65.3	1.30	32.7	1.10	29.9	205.0	9.80	290.7	813.3	522.6
150	81.6	316.5	749.1	115.0	1.25	77.7	1.20	27.2	162.6	6.93	328.7	771.3	442.6
200	45.3	301.5	345.4	141.7	1.83	123.7	1.80	29.1	43.9	2.33	344.0	786.0	542.0
250	32.5	298.2	330.2	155.7	2.57	98.0	1.10	34.1	32.0	1.70	326.0	768.0	442.0
X	68.0	307.1	431.9	110.3	1.79	73.2	1.23	28.8	124.9	5.52	306.0	785.5	499.0
LSD	20.5	65.2	71.7	75.9	0.75	76.4	0.98	14.5	59.9	3.14	94.0	53.8	83.0

(p = .05)

D; population density, SR; survival rates(%), MF_{W1}; mean freshweight of adult worm at initial time(mg), MF_{W2}; mean fresh weight of adult worm at final time(mg), NC; nuber of cocoons, WC; weight of cocoons(g), NY; number of yung worms, WY; fresh weight of young worms(g), HR; hatching rate(%), IW; increase weight(t₂-t₁, mg), IR; increasing rate(ln MF_{W2}-ln MF_{W1}/(t₂-t₁)x10⁻³), C; cast(g), T; total feed(DW, g) and RM; residual matter(raw material>2.0mm).

며, 100구의 생존율이 가장 높았으나 50구와 150구의 생존율과는 유의한 차이가 인정되지 않았다.

실험 개시시의 평균 개체중(MFW_i)은 50구에서 355.3 mg으로 가장 무거웠으며, 다음으로 150구의 316.5 mg, 200구의 301.5 mg, 250구의 298.2 mg, 그리고 100구의 264 mg 순이었다.

실험 종료시의 평균 개체중(MFW_f)은 50구에서 536.3 mg으로 가장 무거우며, 다음으로 150구에서 479.1 mg, 100구에서 469.0 mg, 200구에서 345.4 mg, 250구에서 330.2 mg의 순으로 가벼웠다.

난포수(NC)는 250구에서 155.7개로 가장 많았으나 100구에서는 가장 적은 65.3개를 나타내었다.

난포중(WC)은 250구에서 2.57 g으로 가장 무거웠으나 150구의 난포중은 250구에 비하여 약 1/2에 불과한 1.25 g이었다.

증체량(IW)은 100구가 205.0 mg으로 가장 많았는데, 사육밀도가 가장 높았던 250구의 증체량은 32.0 mg에 불과하였다.

증체속도(IR)는 100구에서 9.80으로 가장 빨랐는데, 250구의 증체속도는 1.70으로, 100구에 비하여 증체속도는 약 6배가 느렸다.

분립량(C)은 150구에서 328.7 g으로 가장 많았으며, 250구의 326 g, 100구의 290.7 g, 200구의 244 g, 그리고 50구의 242.7 g 순이었다.

먹이의 전체 건물중(T)은 100구에서 813.3 g으로 가장 많았으나 250구에서는 768 g을 나타내어 사육밀도가 높을 수록 실험기간중의 감축량(투입한 먹이량—시험 종료시 먹이의 건물중)이 많았다.

미섭취량(RM)은 50구에서 546 g으로 가장 많았으나, 200구에서 542 g, 100구에서 522.6 g, 150구에서 442.6 g, 그리고 250구에서

442.0 g을 나타내었다.

3.2 사육밀도에 따른 증체속도

사육밀도에 따른 증체속도의 변화는 Fig. 1과 같다.

사육밀도에 따른 증체속도는 50구에서 6.83, 100구에서 9.80, 150구에서 6.93으로 이 들간에서는 통계적인 유의차가 인정되지 않았으나, 200구에서는 2.33, 그리고 250구에서는 1.70의 증체속도를 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 낮았다. 따라서 증체속도로 볼 때, 적정 사육밀도는 50-150구의 범위로써 이를 마리당 밀도로 환산하면 42.7 cm³-128 cm³/마리가 된다.

3.3 증체속도와 생존율

사육밀도를 달리한 조건에서 증체속도와 생존율과의 관계는 Fig. 2와 같다.

증체속도와 생존율과의 관계는 1% 수준의 유의한 정상관을 나타내어, 생존율이 높은 사육밀도에서 증체속도가 빨랐음을 의미한다.

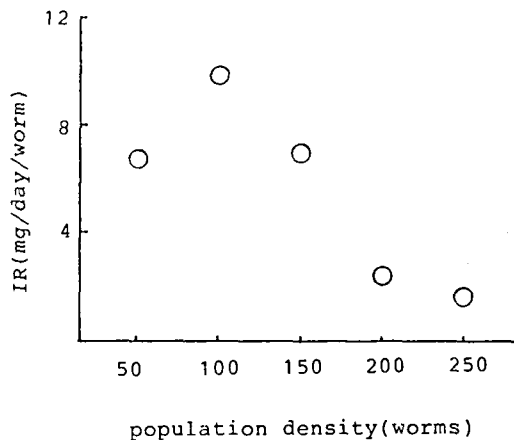


Fig. 1 Changes of increasing rate(IR) of the earthworm in different population densities.

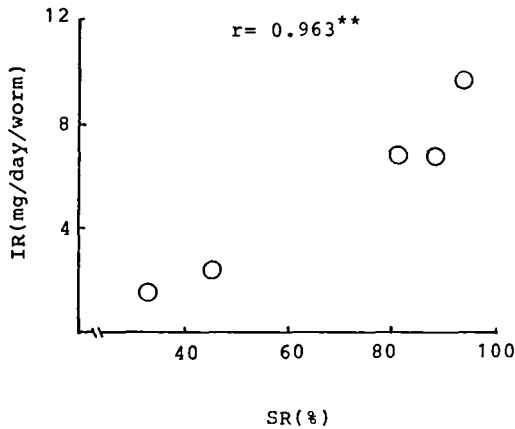


Fig. 2 Relationship between survival rate(SR) and increasing rate(IR) of the earthworm as affected by different population densities.

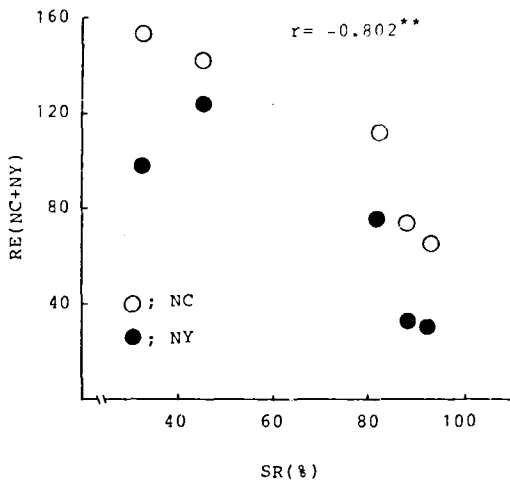


Fig. 3 Relationship between survival rate(SR) and reproductive efficiency(RE) of the earthworm as affected by different population densities.

3.4 생존율과 증식효율

사육밀도를 달리한 조건에서 생존율과 증식효율과의 관계는 Fig. 3와 같다.

생존율과 증식효율과의 관계는 1% 수준의 유

의한 부의 상관을 나타내어, 생존율이 높을수록 증식효율은 낮아지는 경향을 나타내었다.

3.5 분립의 화학적 조성

사육밀도에 따른 분립의 화학적 조성의 변화는 Table 2와 같다.

pH는 사육밀도간에 8.5-8.7의 범위를 나타내어 알칼리성이었으며, 유기물 함량(OM)은 200구에서 24.8%였으나, 다른 사육밀도구에서 30% 이상의 함량을 나타내어 높은 경향이였다.

전질소 함량(TN)은 1.49-1.68%의 범위로서 높은 경향을 나타내었고, 탄질비(C/N)는 9.23-11.27로써 낮았다. 유효인산 함량(P₂O₅)은 사육밀도간 평균 2,728.2 ppm으로 매우 높은 경향을 나타내었다. 치환성 양이온중에서 칼리(K⁺)는 평균 35.2, 칼슘(Ca⁺⁺)은 70.1, 마그네슘(Mg⁺⁺)은 36.6으로 높은 경향이였고, 나트륨(Na⁺)함량도 평균 21.0으로 매우 높았다.

또한 양분보전능(C. E. C)은 사육밀도 평균 31.9로써 높은 경향을 나타내었다.

4. 考 察

Vermicomposting의 효율을 높이기 위해서는 적정사육밀도의 조건에서 증체속도(increasing rate)를 높힐 수 있어야 하고, 좋은 먹이조건에서 증식효율(reproductive efficiency)을 높히는 것이 중요하다고 생각된다. 李 등(1992)은 먹이조건이 좋을수록 증체속도는 낮아지나 증식효율은 높으며, 먹이조건이 나쁠 경우에는 증식효율은 낮아지나 증체속도는 높아진다고 보고하였다.

본 실험에서는 지렁이의 생존율이 높아짐에 따라서 증체속도는 높아지나(Fig. 2), 증식효율이 낮아지는 경향을 나타내었다(Fig. 3, 4).

이와 같은 결과는 먹이조건과 사육밀도가 적

Table. 2 Chemical composition of worm casts in different population densities.

Density	pH	OM (%)	TN (%)	C/N	avail. P ₂ O ₅ (ppm)	C. E. C (me/100g)	exchangeable cation (me/100g)			
							K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
50	8.6	30.8	1.63	10.98	2,879.0	31.46	34.0	20.0	64.6	40.3
100	8.6	32.1	1.65	11.27	2,769.0	31.90	32.0	19.0	66.7	32.7
150	8.5	33.2	1.49	12.93	2,612.0	31.90	37.0	22.0	73.9	38.3
200	8.6	24.8	1.56	9.23	2,702.0	31.68	36.0	22.0	67.3	35.8
250	8.7	30.4	1.68	10.50	2,679.0	32.56	37.0	22.0	78.0	35.7
×	8.6	30.3	1.60	10.98	2,728.2	31.90	35.2	21.0	70.1	36.6

OM; organic matter, TN; total nitrogen, C/N; carbon-nitrogen ratio, avail P₂O₅; available phosphorus, C. E. C; cation exchange capacity

당할 때 섭취량이 증가되어 증식효율이 높아지지만, 위와 같은 조건의 균형이 맞지 않을 때에는 체중의 증가에 먹이의 양분이 이용되므로 상대적으로 증식효율이 낮아질 수 있다는 것을 의미한다. 특히, 같은 먹이조건에서 지나치게 사육밀도가 높아 질 경우, 경쟁 유발의 초기단계에서 증체속도는 느리나 증식효율이 높아지며, 개체간의 경쟁이 본격적으로 시작되는 단계에서는 생존율의 급격한 저하와 함께 증체속도와 증식효율의 양요인이 낮아지기 때문이라고 생각된다. 따라서 효율적인 Vermicomposting을 운용하기 위해서는 먹이조건에 따른 적정 사육밀도와 생육기간이 중요하다는 것을 시사한다.

생존율이 높고 증체속도가 빨라서 증체량이 많았던 사육밀도는 100구 였는데 (Table 1, Fig. 1), 이 때의 사육밀도는 마리당 64.0 cm³ 였다. 그러나 50구와 150구와는 유의한 차이가 인정되지 않아서 본 실험에서의 적정사육밀도는 42.7 cm³-128.0 cm³의 범위에 존재한다고 할 수 있다. Hartenstein과 Amico(1983)는 슬러지와 토양의 2:1 혼합비율의 조건에서 최적 사육밀도는 125 cm³/마리였다고 하였고, 이 등(1992)은 79.8 cm³/마리의 밀도조건에서 개체

의 생존율이 가장 높았다고 보고하여 본 실험의 결과와 일치한다고 생각된다.

또한 사육밀도가 높았던 200구와 250구에서 생존율이 낮았던 것은, 같은 먹이조건에서 생육기간이 길어서 개체간의 경쟁이 심하였던 결과라고 추측된다. 岡田 등(1980)이 최적 사육밀도의 조건에서 15-30일 간격으로 수확하는 것이 좋다고 한 결과도 개체간 경쟁이 유발되기 직전의 시기에서 생체중을 최대로 얻을 수 있었기 때문이라고 생각된다.

최적 사육밀도의 조건에서 분립의 생산량은 36.5 mg-80.9 mg/일/마리의 범위로서, 밀도가 높아짐에 따라서 분립의 생산량도 증가하는 경향을 보였는데 (Table 1), 이를 개체중에 대한 비율로 볼 경우 약 10-40%를 나타내었다. 渡邊 등(1979)은 지렁이의 하루 섭취량은 체중과 거의 같은 양이며, 분립의 생산량은 1일 섭취량의 1/2-1/3 정도라고 하였고, Hartenstein과 Amico(1983)는 지렁이 건물중 100 mg당 분립의 생산량은 2-44 mg의 범위였다고 하였으며, 李 등(1992)은 1일당 분립생산량은 생체중의 약 10-20%였다고 보고하여 생육조건에 따라서 분립의 생산량에 큰 차이가 있다는 것을 나타내고

있다.

분립의 화학적 조성으로 볼 때(Table 2), 사육밀도간에는 큰 차이는 인정되지 않아서, pH는 8.6, 유기물함량은 30.3%, 전질소함량은 1.6%, 유효인산함량은 2,700 ppm 이상, 양분보전능 32, 그리고 치환성 양이온 함량들은 토양양분의 진단 기준치를 모두 초과하고 있다(昌中等, 1985).

이와같은 화학적 조성은 분립이 토양의 비옥도를 높힐 수 있는 토양개량제 또는 유기질 비료로써의 이용 가능성이 매우 높다는 것을 시사하고 있다.

즉, 지렁이 분립의 토양환원은 분립이 입단구조로 되어 있어 토양의 공극량을 증가시키므로, 통기성과 보수성을 높혀 식물체의 근권(根圈)환경을 개선시키는 효과가 크기 때문이다. 또한 분립은 유기물 함량이 높아서 미생물들에게 좋은 먹이조건과 삶의 터전을 제공하여 주는 등 토양구조를 결정하는 주요한 요인이 되기 때문이다.

그러나 분립은 pH가 높고 Na^{++} 함량이 높아서, 상토로써 분립만을 사용할 때에는 식물의 생육을 저해시킬 위험이 있으므로(Stark 등, 1978), 토양과의 혼합비율을 40-60% 정도를 유지시켜 주는 것이 식물의 생육을 촉진시키는 효과가 크다(李와 劉, 1994).

5. 結 論

우분을 먹이로 하여 지렁이의 사육밀도를 달리 하였을 때, 지렁이의 생육과 분립의 생산량 및 분립의 화학적 조성을 조사하여 Vermicomposting에 의한 우분의 처리 가능성을 검토하였다.

1. 생존율은 증체속도와 유의한 상관관이었으나, 생존율과 증체속도는 증식효율과 유의한 부

의 상관을 나타내었다.

2. 최적 사육밀도는 $42.7 \text{ cm}^3\text{-}128.0 \text{ cm}^3$ /마리의 범위로 추정되었다.

3. 최적 사육밀도에서 분립의 생산량은 $36.5 \text{ mg-}80.9 \text{ mg/일/마리}$ 의 범위로 추정되었다.

4. 분립은 그 화학적 조성과 물리적인 성상으로 볼때, 토양개량제로써의 이용가치가 매우 높다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) Graff, O. and F. Makeschin. 1980. Beeinflussung des Ertrages von Weidelgras(*Lolium multiflorum*) durch ausscheidungen von Regenwurmern dreier Verschiedener Arten. *Pedobiologia* 20;176-180.
- 2) Hartenstein, R. 1978. Utilization of soil organisms in sludge management. *Natl. Tech. Inf. Ser-vices*. Springfield, Virginia PB 286932.
- 3) Hartenstein, R. and L. Amico. 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem* 15;51-54.
- 4) Hilton, J. W. 1983. Potential of free dried worm meal as a replacement for fish meal in trout diet formulations. *Aquaculture* 32; 277-283.
- 5) Loehr, R. C. 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19(10);1311-1317.
- 6) Macfadyen, A. 1963. The contri-

- bution of the fauna to total soil metabolism. North Holland Pub. Co. Amsterdam. pp.3-17.
- 7) Stark, N., P. Pawlowski and S. Bodmer, 1978. Quality of earthworm castings and the use of compost on arid soils. In Utilization of soil organisms in sludge management (Hartenstein ed.). Natl. Tech. Inf. Services. Springfield, Virginia PB 286932.
 - 8) Toboga, L. 1980. The nutritional value of earthworm for chickens. Br. Poultry Sci. 21 (5) ; 405-410.
 - 9) 岡田光正, 森 忠一, 須藤隆一. 1980. シマミズによる汚泥處理の可能性に関する研究—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.
 - 10) 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.
 - 11) 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.
 - 12) 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. サイエンティスト社. pp.236-250.
 - 13) 농림수산부, 1993, 주요농수산통계
 - 14) 李柱三, 鄭在春, 曹益煥, 1992. 제지 sludge와 우분의 혼합비율이 볏짚 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지 9(2) ; 19-26.
 - 15) 李柱三, 劉恩希, 1994. 지렁이의 분립과 토양의 혼합비율이 orchardgrass유식물체의 생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 3권 투고중
 - 16) 이길철 등, 1992. 토양생물을 이용한 유기성 슬러지 처리기술개발에 관한 연구 (I). pp.67-81. 과학기술처.