

## 사육밀도의 차이가 지렁이의 생육, 체조직으로의 유기물 전환효율 및 분립생산에 미치는 영향

이지영\* · 이주삼

연세대학교 생명과학기술학부

## The Effect of Different Stocking Rate on Growth, Cast production and Conversion Efficiency of Organic Matter to Tissues of Earthworm (*Eisenia fetida* L.)

Lee, Ji-Young\* and Lee, Ju-Sam

Division of Biological Science & Technology, Yonsei University, Wonju, Kangwon 220-710, Korea

### Summary

This experiment was carried out to investigate the effect of different stocking rate on growth, cast production and conversion efficiency of organic matter to tissues of earthworm.

The carbon and nitrogen ratio (C/N) of tested Korean cow manure was 25.1, it was estimated an adequate ratio as feed for earthworms.

The different stocking rates were 1:8(S-1), 1:16(S-2), 1:32(S-3) 1:64(S-4) 1:128(S-5) and 1:256(S-6) as the ratios of earthworm fresh weight to biomass of Korean cow manure, respectively.

A stocking rate of 1:32(S-3) was obtained a significantly highest values of increasing rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues. The mean values of increasing rate of fresh weight and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues were 10.63 mg/day and 6.65% at the ratio of 1:32(S-3) with a rearing volume was 56.6 cm<sup>3</sup>.

A stocking rate of 1:8(S-1) was obtained a highest ratio of vermicasts, but showed a negative values of increasing rate and conversion efficiency of organic matter to earthworm tissues, it may due to severely food competition between individuals during the rearing periods.

The pH, total nitrogen, available phosphorus, cation exchange capacity and exchangeable cations of vermicasts tended to increase with stocking rate. Especially, available phosphorus, cation exchange capacity and exchangeable cations of vermicasts tended to increase with rearing progressed.

Vermicasts have the potential for improving plant growth when amended to container medium and soil according to increased availability of nutrients and improved physicochemical properties.

**(Key words :** Korean cow manure, Stocking rate, Cast production, Increasing rate, Conversion efficiency of organic matter, Vermicasts)

---

\* iCOOP 인증센터 (iCOOP Certification Centre)

Corresponding author : Ju-Sam Lee, Division of Biological Science & Technology, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea.

Tel: +82-33-760-2249, E-mail: vermilee@hanmail.net

2012년 7월 12일 투고, 2012년 8월 17일 심사완료, 2012년 8월 20일 게재확정

## 서 론

2010년도 말 현재 가축분뇨 발생량은 분이 3,452만 톤, 노는 1,641만 톤으로 합계 5,093만 톤이며, 이 중에서 한우와 젓소분 발생량은 약 1,995만 톤으로 추정된다(농경연<sup>2)</sup>). 2012년부터는 가축분뇨의 해양투기가 전면 금지되어 발생량 전량을 육상에서 처리하지 않으면 안 되는 실정이지만, 현재의 농업환경에서 취급과 처리가 불편한 가축분뇨의 완전 재활용은 불가능하므로, 보다 다양하고 안전한 가축분뇨 처리방법을 강구할 필요가 있다. 우분의 처리는 가축의 사육두수에 따른 분뇨 발생량에 따라 여러 가지 형태의 처리 시설이 도입될 수 있으나, 지렁이에 의한 우분의 퇴비화는 소규모 축산농가에서 기술적, 경제적으로 알맞은 처리방법이라고 생각된다(이<sup>5)</sup>). 특히 지렁이에 의한 퇴비화 방법은 최종산물을 완전하게 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(이 등<sup>7)</sup>, 이와 김<sup>8)</sup>, 이와 최<sup>10)</sup>). 즉, 지렁이에 의한 퇴비화는 유기물을 급속히 안정화시키며(Loehr<sup>25)</sup>), 처리과정에서 다량으로 생산되는 지렁이 분립은 입단구조(aggregate)로 되어있어 토양의 물리성 개선에 기여한다(渡邊 등<sup>12)</sup>). 또한 무기양분 함량과 양이온치환능력(CEC)이 높고(이 등<sup>7)</sup>, 이와 김<sup>8)</sup>), 식물생장조절물질이 함유되어 있어(Tomati 등<sup>28)</sup>), 작물수량을 증가시키고 양분용탈을 감소시키는 완효성 양분원으로 유용성이 높다(Cantanazaro 등<sup>16)</sup>). 따라서 지렁이 분립을 토양개량제 또는 유기질 비료로서 토양에 환원하여 이용할 경우, 안전성이 높은 농산물을 생산할 수 있어(Vinceslas-Akpa와 Loquet<sup>29)</sup>, Chaoui 등<sup>17)</sup>), 농가소득 증대에 기여할 수 있고, 최근 활발히 보급되고 있는 도시농업에서 지렁이 분립은 식물생육을 위한 안전한 양분공급원으로서 그 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

지렁이에 의한 가축분의 퇴비화 과정의 운

용에서 가장 중요한 것은 양호한 먹이조건과 적절한 사육환경을 통하여 지렁이의 증체속도와 증식효율을 높이고 분립 생산량을 증가시키는 일이다(이 등<sup>3)</sup>, 이와 이<sup>9)</sup>). 특히 사육환경 중에서 사육밀도는 개체간 먹이의 경합 정도를 나타내는 단위용적중당 개체수로서 개체당 사육 공간(개체/cm<sup>3</sup>)의 크기(이 등<sup>3)</sup>, 이 등<sup>4)</sup>, 이<sup>9)</sup>)와 지렁이 생체중과 먹이량의 비율로 나타낸다(Hartenstein과 Amico<sup>22)</sup>, Edwards<sup>21)</sup>, Domingues와 Edwards<sup>20)</sup>). 지렁이의 적정 사육밀도는 종에 따른 서식환경과 섭식습성의 차이(Hartenstein과 Amico<sup>22)</sup>), 먹이조건(이 등<sup>3)</sup>, 이 등<sup>4)</sup>, 이 등<sup>5)</sup>, 이와 최<sup>10)</sup>) 및 사육목적에 따른 사육기간의 차이(이와 이<sup>6)</sup>)에 따라서 변화된다. 특히 가축분의 대량처리를 위한 시스템에서 인위적으로 조절되는 사육밀도는 지렁이의 생존전략을 변화시켜, 우분의 처리속도, 지렁이의 생육 및 분립생산량에 영향을 미치는 운용인자로 작용한다.

따라서 본 실험에서는 지렁이 생체중과 먹이량의 비율을 달리 한 사육밀도의 차이가 단위사육기간에서 지렁이의 증체율, 분립생산량과 분립의 화학적 조성 및 체조직으로의 유기물 전환효율에 미치는 영향을 검토하여 본 실험 조건에서 적정 사육밀도를 추정하고자 하였다.

## 재료 및 방법

공시 지렁이는 줄 지렁이(*Eisenia fetida* L.)를 사용하였다. 지렁이 먹이는 황성균 소재 한우농가에서 채취한 한우 분을 1주 간격으로 뒤집기를 실시하여 2개월간 부숙시킨 후 사용하였다. 사육 상자의 크기는 23×23×18 cm(길이×너비×높이)인 것을 사용하였고, 먹이량은 상자 당 1 kg(수분함량 65%)을 높이 8 cm까지 충진하였다. 사육밀도는 평균 개체중이 300 mg인 지렁이를 상자 당 125g, 62.5 g, 31.3 g, 15.6 g, 7.8 g, 3.9 g을 방사하였

는데, 이를 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율로 나타내면 1:8(S-1), 1:16(S-2), 1:32(S-3), 1:64(S-4), 1:128(S-5), 1:256(S-6)가 된다. 또한 사육공간의 크기( $23 \times 23 \times 8\text{cm} = 4,232\text{ cm}^3$ )에 대한 지렁이 생체중의 비율로 나타내면  $33.9\text{ cm}^3$ (S-1),  $67.7\text{ cm}^3$ (S-2),  $135.2\text{ cm}^3$ (S-3),  $271.3\text{ cm}^3$ (S-4),  $542.6\text{ cm}^3$ (S-5),  $1,085.1\text{ cm}^3$ (S-6)가 된다(Table 1). 총 사육기간은 30일로 하였고 조사간격은 10일 간격으로 3회에 걸쳐 지렁이의 생육특성을 조사하였다. 사육기간 중 실내온도는  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , 먹이의 수분조건은  $65 \pm 5\%$ 로 유지하였다. 실험구는 사육밀도 6 수준으로 한 3 반복의 완전임의 배치법으로 배치하였다. 또한 지렁이에 의한 가축분 중의 유기물 감소량을 구하기 위하여 지렁이 무 투입구를 처리구와 동일한 조건에서 처리구와 함께 30일간 방치하였다.

생육조사는 지렁이의 상대생체중, 생체중 증가율, 난포수, 분립생산량, 잔식량 및 분립비율을 10일 간격으로 3회 조사하였다. 상대생체중은 실험개시시의 생체 중/조사시의 생체 중  $\times 100$ 으로 구하였고, 분립량과 잔식량은 건조기에서  $105^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조 후 입경 2.0 mm 체로 분리하여 고흡물의 입자가 2.0 mm 이하인 것을 분립량으로, 2.0 mm 이상인 것을 잔식량으로 하였다. 또한 실험전 먹이로 공시한 한우분과 실험 종료 후 지렁이 분립의 이화학적 특성을 분석하였다(Table 2, 6). pH는 pH meter (Fisher Scientific AB15)

로 측정하였고, 전기전도도 (EC)는 conductivity meter (Fisher Scientific AB30), 총 고형분 함량 (TS)은  $105^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조 후 측정된 건물 중으로 하였다. 휘발성 고형분 함량 (VS)은 시료를  $550^\circ\text{C}$ 의 전기로에서 3시간 태운 후 남은 조회분을 총고형분 함량에서 빼 값으로 구하였고, 조회분 함량을 강열잔류고형물 함량 (FS)으로 하였다. 전질소 함량 (TN)은 kjeldahl 법 (Model PRO-NITRO II)으로 구하였다. 총탄소 함량 (TC)은 (건물량 - 조회분 함량)/1.8으로 구하였고, 탄질율 (C/N)은 총탄소 함량과 전질소 함량의 비율로 구하였다. 유효인산 함량 (Avail.  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), 양이온치환능력 (CEC) 및 치환성 양이온 함량 (exchangeable cations)은 Lancaster법에 준하여 토양분석 분광광도계 (Hanson tech. Model KA-P)를 사용하여 측정하였다.

또한 사육기간 내의 생체중 증가율 (r)은  $r = \ln W_t - \ln W_o / \Delta t$  식으로 구하였다. 여기에서  $W_o$ ; 조사시작 시기의 지렁이 생체중,  $W_t$ ; 조사 종료시기의 지렁이 생체중,  $\Delta t$ ; 사육기간을 나타낸다. 또한 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 이 등<sup>7)</sup>의 공식을 인용하여 다음과 같이 구하였다.

$$\text{Conversion efficiency (CE, \%)} = \frac{\text{dry weight of earthworm tissue at final time (mg) / volatile solids content reduced by earthworm during the rearing periods} \times 100}{\text{}}$$

Table 1. Fresh weight of earthworms (FW), amount of Korean cow manure (F), the ratio of fresh weight of earthworm and Korean cow manure (FW:F) and rearing volume (RV) in different stocking rates

SR	FW (g)	F (kg)	FW:F	RV (cm <sup>3</sup> )
S-1	125.0	1.0	1:8	33.9
S-2	62.5	1.0	1:16	67.7
S-3	31.3	1.0	1:32	135.2
S-4	15.6	1.0	1:64	271.3
S-5	7.8	1.0	1:128	542.6
S-6	3.9	1.0	1:256	1,085.1

## 결 과

### 1. 한우분의 이화학적 특성

지렁이의 먹이로 사용한 한우분의 이화학적 특성은 Table 2와 같다.

한우분의 pH는 8.07로 약 알칼리성이었고, 전기전도도(EC)는 0.62를 나타내었다. 총고형분 함량(TS)은 37.8%였는데, 총고형분 함량 중에서 휘발성 고형분 함량(VS)은 66.15%였고, 강열잔류고형분 함량(FS)은 33.85%였다. 총탄소 함량(TC)은 36.75%였고, 전질소 함량(TN)은 1.44% 그리고 탄질율은 25.1을 나타내었다.

### 2. 사육밀도의 차이가 지렁이의 생육과 분립 생산량에 미치는 영향

사육밀도 차이가 지렁이의 생육과 분립 생산량에 미치는 영향을 나타낸 것이 Table 3이다.

지렁이 방사 후 10일째 조사에서 지렁이 생체중(FW<sub>2</sub>)은 S-3에서 실험개시시의 생체중보다 증가되어, 상대생체중(RW)은 114.4%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 난포수(NC)는 S-1에서 101.0개로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았지만, 증식효율을 나타내는 지렁이 생체중당 난포수(NC/FW<sub>2</sub>)는 0.99로 가장 낮았다. 분립생산량(CW)은 S-1에서 307 g으로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았고 분립비율은 83.81%로 유의하게 높았다.

20일째의 조사시기에서 생체중은 S-1을 제외한 모든 사육밀도에서 실험개시시의 생체중보다 증가되어 상대생체중은 101.11~125.42%의 범위였는데, S-3에서 125.4%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 난포수는 S-1, S-2, S-3에서 107.7-125.3개의 범위로 차이가 없었지만 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다. 그러나 생체중당 난포수는 1.28-2.74 범위로 낮았고 사육밀도가 저하함에 따라 급격히 증가하는 경향이였다. 분립생산량은 S-1, S-2에서 각각 335.1 g과 313.94 g으로 유의하게 많았고, 분립비율은 99.02%와 88.38%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 생체중당 분립생산량(CW/FW<sub>2</sub>)은 각각 3.81 g과 4.81 g이였다.

30일째 조사시기의 생체중은 S-1, S-2를 제외한 모든 사육밀도에서 실험개시시의 생체중보다 증가되었는데, 상대생체중은 S-3에서 134.4%로 유의하게 높았고 난포수는 176.7개로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다. 생체중당 난포수는 사육밀도가 낮아짐에 따라 급격히 증가되는 경향이였다. 분립생산량(CW)은 S-1과 S-2에서 각각 349.3 g과 351.2 g으로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았고, 생체중당 분립생산량은 5.06 g과 6.0 g으로 다른 사육밀도보다 낮았고, 분립비율은 99% 이상을 나타내어 투여된 먹이량의 거의 전량이 분립화되었다.

### 3. 사육기간별 사육밀도에 따른 생체중 증가율의 변화

Table 2. The physico-chemical characteristics of Korean cow manure before vermicomposting (DM basis)

Feed	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TC (%)	TN (%)	C/N
Korean cow manure	8.07	0.62	37.8	66.15	33.85	36.75	1.44	25.10

EC; electrolytic conductivity, TS; total solids, VS; volatile solids, FS; fixed solids, TC; total carbon, TN; total nitrogen and C/N; carbon and nitrogen ratio.

Table 3. The values on the measured growth characteristics of the earthworm in each survey time grown under different stocking rates

Survey time	SR	Growth characteristics								
		FW <sub>1</sub> (g)	FW <sub>2</sub> (g)	RW (%)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)	NC/ FW <sub>2</sub>	CW/ FW <sub>2</sub> (g)
10 days	S-1	125.0	101.93 <sup>a</sup>	81.55 <sup>c</sup>	101.0 <sup>a</sup>	307.06 <sup>a</sup>	49.42 <sup>c</sup>	83.81 <sup>a</sup>	0.99	3.01
	S-2	62.5	59.90 <sup>b</sup>	95.84 <sup>b</sup>	74.00 <sup>b</sup>	190.74 <sup>b</sup>	174.04 <sup>d</sup>	52.29 <sup>b</sup>	1.24	3.18
	S-3	31.3	35.82 <sup>c</sup>	114.43 <sup>a</sup>	63.67 <sup>c</sup>	73.00 <sup>c</sup>	275.09 <sup>c</sup>	20.98 <sup>c</sup>	1.78	2.04
	S-4	15.6	15.65 <sup>d</sup>	100.32 <sup>b</sup>	52.00 <sup>d</sup>	47.32 <sup>d</sup>	319.18 <sup>b</sup>	12.91 <sup>d</sup>	3.32	3.02
	S-5	7.8	7.61 <sup>e</sup>	97.52 <sup>b</sup>	18.33 <sup>e</sup>	18.52 <sup>e</sup>	345.97 <sup>a</sup>	5.09 <sup>e</sup>	2.41	2.43
	S-6	3.9	3.17 <sup>f</sup>	81.20 <sup>c</sup>	17.33 <sup>e</sup>	8.90 <sup>e</sup>	352.37 <sup>a</sup>	2.47 <sup>e</sup>	5.47	2.81
	LSD(P≤0.05)	0.00	2.09	6.62	6.46	8.41	9.61	4.18		
20 days	S-1	125.0	87.97 <sup>a</sup>	70.37 <sup>d</sup>	113.00 <sup>a</sup>	335.12 <sup>a</sup>	3.44 <sup>e</sup>	99.02 <sup>a</sup>	1.28	3.81
	S-2	62.5	65.20 <sup>b</sup>	104.32 <sup>c</sup>	125.33 <sup>a</sup>	313.94 <sup>a</sup>	41.29 <sup>e</sup>	88.38 <sup>a</sup>	1.92	4.81
	S-3	31.3	39.26 <sup>c</sup>	125.42 <sup>a</sup>	107.67 <sup>a</sup>	159.73 <sup>b</sup>	157.95 <sup>d</sup>	54.91 <sup>b</sup>	2.74	4.07
	S-4	15.6	17.65 <sup>d</sup>	113.12 <sup>b</sup>	79.67 <sup>b</sup>	102.73 <sup>c</sup>	250.98 <sup>c</sup>	28.01 <sup>c</sup>	4.51	5.82
	S-5	7.8	8.08 <sup>e</sup>	103.63 <sup>c</sup>	37.67 <sup>c</sup>	44.07 <sup>d</sup>	309.93 <sup>b</sup>	13.30 <sup>d</sup>	4.66	5.45
	S-6	3.9	3.94 <sup>f</sup>	101.11 <sup>c</sup>	28.67 <sup>c</sup>	18.63 <sup>e</sup>	341.89 <sup>a</sup>	5.76 <sup>e</sup>	7.28	4.73
	LSD(P≤0.05)	0.00	3.65	6.58	23.64	4.76	9.12	1.24		
30 days	S-1	125.0	68.97 <sup>a</sup>	55.17 <sup>e</sup>	104.67 <sup>c</sup>	349.30 <sup>a</sup>	1.34 <sup>e</sup>	99.58 <sup>a</sup>	1.52	5.06
	S-2	62.5	58.50 <sup>b</sup>	93.60 <sup>d</sup>	137.33 <sup>b</sup>	351.23 <sup>a</sup>	0.66 <sup>e</sup>	99.79 <sup>a</sup>	2.35	6.00
	S-3	31.3	43.05 <sup>c</sup>	134.36 <sup>a</sup>	176.67 <sup>a</sup>	318.07 <sup>b</sup>	23.68 <sup>d</sup>	92.50 <sup>b</sup>	4.10	7.39
	S-4	15.6	18.04 <sup>d</sup>	115.62 <sup>b</sup>	95.67 <sup>c</sup>	143.37 <sup>c</sup>	168.95 <sup>c</sup>	45.05 <sup>c</sup>	5.30	7.95
	S-5	7.8	8.44 <sup>c</sup>	108.21 <sup>c</sup>	53.67 <sup>d</sup>	71.17 <sup>d</sup>	242.50 <sup>b</sup>	22.10 <sup>d</sup>	6.36	8.43
	S-6	3.9	4.16 <sup>f</sup>	106.75 <sup>c</sup>	47.33 <sup>d</sup>	34.20 <sup>e</sup>	287.28 <sup>a</sup>	10.47 <sup>e</sup>	11.38	8.22
	L.S.D(P≤0.05)	0.00	3.36	3.95	12.87	5.50	10.89	1.90		

S-1 (ratios of fresh weight of earthworm and Korean cow manure 1:8), S-2(1:16), S-3(1:32), S-4(1:64), S-5(1:128) and S-6(1:256), respectively.

FW<sub>1</sub>: fresh weight of earthworm at initial time(g), FW<sub>2</sub>: fresh weight of earthworm at final time(g), RW; relative fresh weight (FW<sub>2</sub>/FW<sub>1</sub> × 100), NC: number of cocoons, CW (g); dry weight of vermicasts (g, <2.0 mm), RM; residual matters(g, >2.0 mm), CW (%); ratios of vermicasts, NC/FW<sub>2</sub>; NC per FW<sub>2</sub> and CW/FW<sub>2</sub>: CW(g) per FW<sub>2</sub>.

사육기간별 사육밀도에 따른 생체중 증가율의 변화를 나타낸 것이 Table 4이다.

지렁이의 생체중 증가율은 T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub> 기간에서 S-3은 13.49 mg/day로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았지만, S-1과 S-6에서는 각각 -20.4 mg/day와 -20.72 mg/day으로 유의하게 낮았다. T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub> 기간에서 S-6는 21.75 mg/day으로

유의하게 높았지만, S-1는 -14.73 mg/day로 다른 사육밀도보다 유의하게 낮았다. T<sub>3</sub>-T<sub>2</sub> 기간에서는 S-3이 9.22 mg/day로 유의하게 높았다. 사육기간 전체 평균 생체중 증가율은 S-3이 10.63 mg/day로 가장 높았고, 다음으로 S-4의 4.84 mg/day, S-5의 2.63 mg/day, S-6의 2.15 mg/day, S-2의 -2.20 mg/day의 순이었고

Table 4. Increasing rate of fresh weight (mg/day) of earthworm in each rearing period grown under different stocking rates

SR	Rearing period			
	T <sub>1</sub> -T <sub>0</sub>	T <sub>2</sub> -T <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> -T <sub>2</sub>	mean
S-1	-20.40 <sup>c</sup>	-14.73 <sup>c</sup>	-24.33 <sup>d</sup>	-19.82
S-2	-4.25 <sup>b</sup>	8.48 <sup>b</sup>	-10.84 <sup>c</sup>	-2.20
S-3	13.49 <sup>a</sup>	9.17 <sup>b</sup>	9.22 <sup>a</sup>	10.63
S-4	0.32 <sup>b</sup>	11.97 <sup>b</sup>	2.24 <sup>b</sup>	4.84
S-5	-2.47 <sup>b</sup>	5.99 <sup>b</sup>	4.36 <sup>b</sup>	2.63
S-6	-20.72 <sup>c</sup>	21.75 <sup>a</sup>	5.43 <sup>b</sup>	2.15
LSD(p ≤ 0.05)	7.00	10.60	3.72	

T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>; initial, 10 days, 20 days and 30 days after vermicomposting.

S-1이 -19.82 mg/day으로 가장 낮은 값이었다.

4. 지렁이 체 조직으로의 유기물 전환효율

사육밀도의 차이에 따른 조사시기별 지렁이 체 조직으로의 유기물 전환효율을 나타낸 것이 Table 5이다.

조사시기 10일째에서 유기물 전환효율은 S-3에서 6.69%로 유의하게 높았지만 S-1과 S-6에서는 각각 -13.89%와 -9.69%로 다른 사육밀도보다 유의하게 낮았다. 20일째에서는 S-1을 제외한 모든 사육밀도에서 + 값이었는데, 특히 S-3에서는 8.40%으로 유의하게 높았다. 30일째에서는 S-1과 S-2를 제외한 모든 사육밀도에서 + 값이었고, 특히 S-3에서

4.85%로 유의하게 높은 값이었다. 사육시기 평균 유기물 전환효율은 S-3에서 6.65%로 가장 높았고, 다음으로 S-4에서 1.90%를 나타내었는데 다른 사육밀도에서는 - 값이었고 특히 S-1에서는 -15.11%로 가장 낮았다.

5. 지렁이 분립의 이화학적 특성

사육밀도에 따른 조사시기별 지렁이 분립의 이화학적 특성을 나타낸 것이 Table 6이다.

10일째의 조사시기에서 S-1의 pH와 전기전도도(EC)는 각각 8.23과 0.72로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 총고형분 함량(TS)은 사육밀도 간에 36.69~37.74%의 범위였지

Table 5. The values on conversion efficiency (CE) of organic matter to earthworm tissues in each survey time grown under different stocking densities

SR	CE (%)			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	mean
S-1	-13.89 <sup>c</sup>	-13.90 <sup>c</sup>	-17.54 <sup>c</sup>	-15.11
S-2	-3.24 <sup>b</sup>	3.68 <sup>b</sup>	-0.59 <sup>b</sup>	-0.05
S-3	6.69 <sup>a</sup>	8.40 <sup>a</sup>	4.85 <sup>a</sup>	6.65
S-4	2.41 <sup>ab</sup>	2.24 <sup>b</sup>	1.06 <sup>b</sup>	1.90
S-5	-1.63 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0.41 <sup>b</sup>	-0.10
S-6	-9.69 <sup>c</sup>	1.14 <sup>b</sup>	0.26 <sup>b</sup>	-2.76
L.S.D (p ≤ 0.05)	6.21	3.26	2.51	

Table 6. Chemical composition of wormcasts in each survey time grown under different stocking rates

Survey time	Stocking rate	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TC (%)	TN (%)	C/N	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	Ex.Cations (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )		
												K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
10 days	S-1	8.23 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	36.69 <sup>c</sup>	59.26 <sup>c</sup>	40.74 <sup>a</sup>	32.92 <sup>d</sup>	1.77 <sup>a</sup>	18.56 <sup>c</sup>	1,175.47 <sup>a</sup>	29.32 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	5.68 <sup>a</sup>	0.33 <sup>c</sup>
	S-2	8.15 <sup>b</sup>	0.59 <sup>d</sup>	37.29 <sup>abc</sup>	63.67 <sup>b</sup>	36.33 <sup>b</sup>	35.37 <sup>c</sup>	1.66 <sup>b</sup>	21.27 <sup>d</sup>	978.33 <sup>b</sup>	27.39 <sup>b</sup>	1.42 <sup>b</sup>	5.01 <sup>d</sup>	0.23 <sup>d</sup>
	S-3	8.12 <sup>b</sup>	0.57 <sup>c</sup>	36.77 <sup>bc</sup>	64.41 <sup>ab</sup>	35.59 <sup>bc</sup>	36.15 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>	21.91 <sup>c</sup>	842.27 <sup>c</sup>	26.14 <sup>c</sup>	1.32 <sup>cd</sup>	4.48 <sup>e</sup>	0.22 <sup>d</sup>
	S-4	8.07 <sup>c</sup>	0.57 <sup>c</sup>	37.74 <sup>a</sup>	63.88 <sup>b</sup>	36.12 <sup>b</sup>	36.54 <sup>ab</sup>	1.63 <sup>bc</sup>	22.37 <sup>bc</sup>	830.27 <sup>d</sup>	24.23 <sup>d</sup>	1.38 <sup>bc</sup>	5.22 <sup>c</sup>	0.34 <sup>c</sup>
	S-5	8.05 <sup>c</sup>	0.60 <sup>c</sup>	37.52 <sup>a</sup>	64.47 <sup>ab</sup>	35.53 <sup>bc</sup>	36.56 <sup>ab</sup>	1.62 <sup>bc</sup>	22.63 <sup>ab</sup>	764.53 <sup>e</sup>	21.89 <sup>e</sup>	1.25 <sup>d</sup>	5.49 <sup>b</sup>	0.44 <sup>b</sup>
	S-6	7.99 <sup>d</sup>	0.63 <sup>b</sup>	37.33 <sup>ab</sup>	65.09 <sup>a</sup>	34.91 <sup>c</sup>	36.77 <sup>a</sup>	1.58 <sup>c</sup>	23.22 <sup>a</sup>	656.93 <sup>f</sup>	20.48 <sup>f</sup>	0.77 <sup>e</sup>	5.45 <sup>b</sup>	0.49 <sup>a</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.03	0.01	0.62	0.92	0.92	0.48	0.05	0.63	29.60	0.86	0.09	0.15	0.03
20 days	S-1	8.19 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	36.11 <sup>b</sup>	57.71 <sup>c</sup>	42.29 <sup>a</sup>	32.06 <sup>c</sup>	1.71 <sup>a</sup>	18.75 <sup>d</sup>	1,244.87 <sup>a</sup>	31.31 <sup>a</sup>	2.01 <sup>a</sup>	6.44 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>
	S-2	8.10 <sup>b</sup>	0.63 <sup>bc</sup>	36.56 <sup>ab</sup>	61.38 <sup>d</sup>	38.62 <sup>b</sup>	34.10 <sup>d</sup>	1.63 <sup>b</sup>	20.96 <sup>c</sup>	1,085.07 <sup>b</sup>	28.09 <sup>b</sup>	1.83 <sup>b</sup>	5.78 <sup>b</sup>	0.39 <sup>c</sup>
	S-3	8.03 <sup>c</sup>	0.62 <sup>bc</sup>	36.97 <sup>a</sup>	62.90 <sup>c</sup>	37.10 <sup>c</sup>	34.94 <sup>c</sup>	1.59 <sup>b</sup>	21.93 <sup>b</sup>	971.27 <sup>c</sup>	26.80 <sup>c</sup>	1.49 <sup>c</sup>	4.95 <sup>d</sup>	0.41 <sup>c</sup>
	S-4	7.89 <sup>d</sup>	0.60 <sup>c</sup>	36.47 <sup>ab</sup>	64.15 <sup>b</sup>	35.85 <sup>d</sup>	35.64 <sup>b</sup>	1.60 <sup>b</sup>	22.33 <sup>b</sup>	948.73 <sup>d</sup>	34.36 <sup>d</sup>	1.37 <sup>d</sup>	5.38 <sup>c</sup>	0.47 <sup>b</sup>
	S-5	7.82 <sup>d</sup>	0.62 <sup>bc</sup>	36.68 <sup>ab</sup>	64.94 <sup>ab</sup>	35.06 <sup>de</sup>	36.08 <sup>ab</sup>	1.53 <sup>c</sup>	23.58 <sup>a</sup>	796.73 <sup>e</sup>	23.36 <sup>d</sup>	1.30 <sup>e</sup>	5.51 <sup>c</sup>	0.49 <sup>b</sup>
	S-6	7.85 <sup>d</sup>	0.64 <sup>b</sup>	37.10 <sup>a</sup>	65.22 <sup>a</sup>	34.78 <sup>e</sup>	36.42 <sup>a</sup>	1.52 <sup>c</sup>	23.96 <sup>a</sup>	679.67 <sup>f</sup>	21.96 <sup>e</sup>	0.93 <sup>f</sup>	5.50 <sup>c</sup>	0.51 <sup>b</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.07	0.04	0.73	1.07	1.07	0.58	0.05	0.69	12.72	1.08	0.07	0.20	0.05
30 days	S-1	8.06 <sup>a</sup>	0.79 <sup>a</sup>	33.51 <sup>a</sup>	55.74 <sup>c</sup>	42.26 <sup>a</sup>	30.96 <sup>c</sup>	1.69 <sup>a</sup>	18.33 <sup>d</sup>	1,249.05 <sup>a</sup>	33.32 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	6.58 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>
	S-2	7.94 <sup>ab</sup>	0.69 <sup>b</sup>	33.35 <sup>a</sup>	56.84 <sup>d</sup>	43.16 <sup>b</sup>	31.58 <sup>d</sup>	1.52 <sup>b</sup>	20.74 <sup>c</sup>	1,158.40 <sup>b</sup>	32.75 <sup>a</sup>	1.91 <sup>b</sup>	5.96 <sup>b</sup>	0.57 <sup>bc</sup>
	S-3	7.91 <sup>b</sup>	0.66 <sup>b</sup>	33.62 <sup>a</sup>	58.89 <sup>c</sup>	41.11 <sup>c</sup>	32.71 <sup>c</sup>	1.51 <sup>b</sup>	21.63 <sup>c</sup>	1,001.22 <sup>c</sup>	30.82 <sup>b</sup>	1.80 <sup>c</sup>	5.40 <sup>d</sup>	0.6 <sup>b</sup>
	S-4	7.55 <sup>c</sup>	0.66 <sup>b</sup>	32.78 <sup>a</sup>	61.91 <sup>b</sup>	38.09 <sup>d</sup>	34.39 <sup>b</sup>	1.46 <sup>bc</sup>	23.63 <sup>b</sup>	968.61 <sup>d</sup>	26.60 <sup>c</sup>	1.57 <sup>d</sup>	5.70 <sup>c</sup>	0.67 <sup>a</sup>
	S-5	7.59 <sup>c</sup>	0.67 <sup>b</sup>	32.88 <sup>a</sup>	64.13 <sup>a</sup>	35.87 <sup>e</sup>	35.63 <sup>a</sup>	1.40 <sup>c</sup>	25.49 <sup>a</sup>	816.78 <sup>e</sup>	24.04 <sup>d</sup>	1.41 <sup>e</sup>	5.57 <sup>cd</sup>	0.52 <sup>c</sup>
	S-6	7.68 <sup>c</sup>	0.69 <sup>b</sup>	33.13 <sup>a</sup>	63.91 <sup>a</sup>	36.09 <sup>e</sup>	35.50 <sup>a</sup>	1.41 <sup>c</sup>	25.24 <sup>a</sup>	680.85 <sup>f</sup>	22.76 <sup>e</sup>	0.97 <sup>f</sup>	5.58 <sup>c</sup>	0.52 <sup>c</sup>
	L.S.D(P≤0.05)	0.15	0.05	1.92	1.04	1.04	0.58	0.09	1.43	5.03	0.91	0.10	0.18	0.06

EC; electrolytic conductivity, TS; total solids, VS; volatile solids, FS; fixed solids, TN; total nitrogen, TC; total carbon, C/N; C/N ratio. Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; available phosphorus, CEC; cation exchange capacity and Ex.cations; exchangeable cations.

만, S-1에서 36.69%로 유의하게 낮았다. 휘발성 고형분 함량 (VS)은 S-1이 59.26%로 유의하게 낮았던 반면에 강열잔류고형물 함량 (FS)은 40.74%로 유의하게 높았다. 총탄소 함량(TC)은 S-6에서 36.77%로 가장 높았으나, S-4와 S-5의 값과는 유의한 차이가 없었다. 전질소 함량(TN)은 S-1이 1.77%로 유의하게 높았고 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하는 경향이였다. 탄질율(C/N)은 사육밀도가 높아짐에 따라 낮아지는 경향이였다. 유효인산 함량과 양이온 치환능력(CEC)은 S-1에서 각각 1,175.47 ppm과 29.32 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>으로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고, 사육밀도가

낮아짐에 따라 유의하게 저하하였다. 치환성 양이온 함량은 S-1에서 K<sup>+</sup>와 Ca<sup>++</sup>이 각각 1.67 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>과 5.68 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>로 유의하게 높았지만, Mg<sup>++</sup>은 S-6에서 0.49 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>으로 유의하게 높았다.

20일째의 조사시기에서 pH와 EC는 S-1에서 유의하게 높은 값이었으나, 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하였다. 총 고형분 함량은 사육밀도에 따라 일정한 경향은 인정되지 않았다. 휘발성 고형분 함량은 사육밀도가 낮아짐에 따라 증가하여 S-5와 S-6에서 각각 64.94%와 65.22%로 유의하게 높았다. 강열잔류고형물 함량은 S-1에서 42.29%로 유의하게

높았고, 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하였다. 총탄소 함량은 사육밀도가 낮아짐에 따라 증가하였지만, S-5와 S-6 간에는 유의한 차이가 없었다. 전질소 함량은 S-1에서 1.71%로 유의하게 높았지만, 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하였다. 탄질율은 S-5와 S-6에서 각각 23.58%와 23.96%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 유효인산 함량과 양이온 치환능력은 S-1에서 각각 1,244.87 ppm과  $31.31 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 을 나타내어 유의하게 높았고, 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하였다. 치환성 양이온 함량은 S-1에서  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  모두 다른 사육밀도보다 유의하게 높은 값을 나타내었다.

30일째의 조사시기에서 pH는 S-1에서 8.06으로 높았지만 S-2의 7.94와는 유의한 차이가 없었다. 전기전도도는 S-1에서 0.79로 유의하게 높은 값이었다. 총 고형분 함량은 사육밀도간에 33.13~33.62%의 범위였으며, 휘발성 고형분 함량은 S-5, S-6에서 각각 64.13%와 63.91%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고, 사육밀도가 높아짐에 따라 감소되었다. 강열잔류고형물 함량은 S-1에서 42.26%로 유의하게 높았고 사육밀도가 낮아짐에 따라 감소되었다. 총탄소 함량은 S-5와 S-6의 값이 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고, 사육밀도가 높아짐에 따라 감소되었다. 전질소 함량은 S-1에서 1.69%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고, 사육밀도가 낮아짐에 따라 저하하였다. 탄질율은 S-5와 S-6에서 각각 25.49와 25.24로 유의하게 높았다. 유효인산 함량은 S-1에서 1,249.05 ppm으로 유의하게 높았고 사육밀도가 낮아짐에 따라 급격히 저하하였다. 양이온 치환능력은 S-1과 S-2에서 각각  $33.32 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 와  $32.75 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 치환성 양이온 함량은 S-1에서  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  및  $\text{Mg}^{++}$  모두에서 유의하게 높은 값을 나타내었다.

## 고 찰

모든 사육기간에서 S-3의 상대생체중은 114.4~134.4%의 범위를 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고 (Table 3), 생체중 증가율도 사육기간 평균 10.63 mg/day로 가장 높았으며 (Table 4), 체조적으로 유기물 전환효율은 사육기간 평균 6.65%로 가장 높은 값을 나타내었다 (Table 5). 그러나 분립생산량은 10일까지의 생육기간에서 S-1, 20일과 30일 간에서는 S-1과 S-2에서 다른 사육밀도보다 유의하게 많았고 (Table 2), 분립비율도 88.38%~99.79%의 범위를 나타내어 투여된 먹이의 거의 전량이 분립생산에 이용되었다. 이상의 결과는 지렁이의 증체율을 높여 생체 중을 증가시키기 위해서는 지렁이와 먹이의 비율을 1:32로 하는 것이 좋고, 사육밀도가 높아져서 상대 생체중, 생체중 증가율 및 유기물 전환효율이 낮지만 (Table 3, 4, 5), 짧은 기간 동안에 투여된 먹이량을 처리하기 위해서는 지렁이 생체중과 먹이의 비율을 1:8-1:16의 범위로 유지하는 것이 적합하다는 것을 의미한다. Edwards<sup>21)</sup>는 지렁이 생체중과 먹이의 비율 1:10일 때 생체량이 가장 많았다고 하였고, 고 등<sup>1)</sup>은 유기성 슬러지의 처리 효율이 가장 높은 생체량과 먹이 량의 비율은 1:15였다고 하였다. 또한 Domingues와 Edwards<sup>20)</sup>는 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율은 1:5.45가 적당하다고 하였다. 본 실험에서 지렁이 생체중의 증가에 적합한 사육밀도라고 추정되는 지렁이의 생체중과 먹이의 비율인 1:32를 지렁이 개체 당 사육공간의 크기로 나타내면  $135.2 \text{ cm}^3$ 가 된다. 또한 단기간에 먹이를 처리하여 분립비율을 높일 경우에는 1:8~1:16 범위의 비율이 적정하였고 사육공간으로 나타내면  $33.9 \text{ cm}^3$ ~ $67.7 \text{ cm}^3$  범위가 된다. 渡邊 등<sup>12)</sup>은 효율적인 지렁이의 적정 사육밀도는 개체 당  $13.3 \text{ cm}^3$ 였다고 하였고, Hartenstein과 Amico<sup>22)</sup>는 하수슬러지와 토양의 2:1 혼합



비율에서 최적 사육밀도는 125 cm<sup>3</sup>, 이 등<sup>3)</sup>은 제지슬러지와 우분을 혼합한 먹이조건에서 개체 당 79.8 cm<sup>3</sup>에서 생존율이 가장 높았다고 하였다. 또한 이 등<sup>4)</sup>은 우분에서 개체 당 42.7~128 cm<sup>3</sup>에서 증식효율이 높았다고 하였고, 이<sup>5)</sup>는 우분에서 개체 당 64.0~128.0 cm<sup>3</sup> 조건에서 생존율과 증체속도가 높았지만, 사육밀도가 높아짐에 따라서 증식효율이 낮아졌다고 하였다. 이상의 연구결과를 종합하면 지렁이의 생체중 증가율을 높여 지렁이 생산량을 증가시키기 위해서는 사육기간이 길고 사육공간이 넓은 것이 유리하며, 단기간에 투입된 먹이를 분립생산으로 전환할 경우에는 사육밀도를 높이는 것이 분립의 생산속도를 높이는데 유리하다는 것을 시사한다. 岡田<sup>11)</sup>는 적정 밀도조건에서 지렁이의 생체량이 최대가 시기는 먹이 급여 후 15~30일 경이라고 하였고, Edwards<sup>21)</sup>는 지렁이 생체량을 최대로 얻을 수 있는 시기는 분립생산량이 최대가 되는 시기보다 빠르다고 하였다. 또한 이와 이<sup>6)</sup>는 지렁이를 최대로 생산할 수 있는 시기는 증체속도가 높아서 생체량이 가장 많은 시기인 3주이며, 생존율 저하에 의한 개체밀도의 감소가 인정되지만, 분립축적량이 가장 많은 시기인 7주에 분립을 채취하는 것이 유리하다고 하였다. 본 실험의 결과에서 30일까지 사육밀도 S-3이 생체중이 가장 많아서 지렁이 생산을 위한 적정밀도라고 추정된다. 또한 분립비율이 가장 높았던 S-1과 S-2은 단기간에 먹이량을 분립으로 전환시키는데 적합하지만 (Table 3), 사육기간 중 생체중 증가율은 -값을 나타내었다 (Table 4). 그러나 지렁이 생체중 당 분립생산효율로 볼 때는 저밀도 조건에서 사육기간을 길게 하는 것이 유리하다는 것을 시사한다 (Table 3).

사육환경 중 사육밀도는 지렁이 종의 크기 및 섭취한 먹이의 에너지 함량과 함께 지렁이의 영양적 지위의 기본적 변이로 작용하여

생존전략에 영향을 미친다 (Lavelle 등<sup>23)</sup>). 사육밀도에 따른 지렁이 생체중 증가율의 변화를 보면, S-1과 S-2와 같이 높은 사육밀도 조건과 S-5와 S-6와 같이 낮은 사육밀도의 사육초기 (T<sub>1</sub>-T<sub>0</sub>)에서 생체중 저하가 인정되었다 (Table 4). 본 실험에 공시한 *Eisenia fetida* 종은 고사체 종(litter species)으로 r-도태의 생존전략을 나타낸다(Bouché<sup>15)</sup>), r-도태에서 생존전략은 경쟁이 심하지 않은 개체군 조건에서 최대 성장률을 나타내는 특징을 가지고 있어 (MacArthur와 Wilson<sup>26)</sup>), 생체중 증가율이 최대가 되는 적정 사육밀도가 존재한다는 것을 의미한다. 특히 저밀도 조건에서 사육초기의 생체중 감소원인에 대한 종합적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

생태계 내에서 지렁이에 의하여 섭취된 에너지 흐름은 P/A 값 (Bolton과 Phillipson<sup>14)</sup>), 탄소동화율 (Dietz<sup>19)</sup>), 유기물 전환율 (Neuhauser 등<sup>27)</sup>) 및 유기물 전환효율 (이 등<sup>7)</sup>)로 평가할 수 있다. 본 실험에서 체조직으로의 유기물 전환효율로 평가할 경우, S-3에서 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율은 모든 조사시기에서 + 값을 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 높았고 생육기간 평균으로 6.65%를 나타내었다 (Table 5). 이와 관련하여 이 등<sup>7)</sup>은 음식물쓰레기와 우분을 50:50으로 혼합하였을 때 2.84%, 이와 김<sup>8)</sup>은 돈분과 음식물쓰레기의 혼합비율을 60:40으로 하였을 때 10.85%, 이와 이<sup>9)</sup>는 우분과 왕겨를 1:3과 1:2로 혼합하였을 때 각각 7.33%와 3.35%, 이와 최<sup>10)</sup>는 돈분과 커피 박을 1:1로 혼합하였을 때 유기물 전환효율은 6.66%였다고 하였다. 이상의 연구결과에서 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율은 2.84%~10.85%의 범위를 나타내었는데, S-3의 전환효율은 이 범위에 포함되었다. 그러나 S-1에서는 사육기간 평균 -15.11%를 나타낸 것은 사육밀도가 높아 개체 간 먹이경쟁이 유발되어 생체중의 증가율이 저하된 결과라고 볼 수 있다 (Table 5).

Dietz<sup>19)</sup>는 지렁이에 의한 탄소 동화량은 고사체의 유용한 탄소의 15%를 초과하지 못한다고 하였고, Lee<sup>24)</sup>는 지렁이 개체군을 통한 탄소 동화량은 유용한 에너지의 10~15% 이상은 동화하지 않고 보통은 이보다 낮은 값을 나타낸다고 하였다. 이와 같이 체조직으로의 유기물 전환효율이 차이가 있는 것은 먹이 중의 유용한 유기물 함량 또는 탄소함량(Dietz<sup>19)</sup>), 질소의 유용성(Lee<sup>24)</sup>) 및 사육밀도에 따른 먹이의 경합정도에 따라 제한되기 때문으로 추정된다.

지렁이 분립의 화학성은 사육밀도가 높아짐에 따라 pH, 전질소 함량, 유효인산 함량과 양분보전능(CEC) 및 양이온 함량은 증가되었고, 특히 사육기간이 길어짐에 따라 유효인산 함량과 CEC 및 양이온 함량은 증가되는 경향이였다(Table 6). 이와 같은 결과는 사육밀도가 높아지고 사육기간이 길어짐에 따라 지렁이의 활동에 의하여 분립 중의 양분이 증가되었다는 것을 의미한다. Devliegher와 Vertraete<sup>18)</sup>는 지렁이가 먹이를 섭취하였을 때, 장내 미생물에 의한 양분증강과정(NEP)과 장 관련과정(GAP)을 통하여 무기양분이 풍부한 분립을 생산한다고 하였다. 따라서 양분이 풍부한 분립을 생산하기 위해서는 짧은 사육기간 동안에 사육밀도를 높이는 것이 유리하다는 것을 의미하는데, 이는 사육밀도가 높아 먹이경쟁이 심화된 결과 분립의 재 섭취로 인한 양분증강의 결과라고 추정된다.

전체적인 분립의 화학성으로 볼 때(Table 6), 지렁이 분립은 상토 재 또는 토양개량제로서 분변토의 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다. Vincelas-Akpa와 Loquet<sup>29)</sup>는 지렁이 분립은 퇴비에 비하여 탄질율, 단백질과 유기탄소 비율 및 질소함량이 높아서 토양개량제로 사용하기에 보다 적합하다고 하였고, Cantanazaro 등<sup>16)</sup>은 지렁이 분립은 식물체 수량을 증가시키고, 양분용탈을 감소시키는 완

효성 식물영양원이라고 하였으며, Atiyeh 등<sup>13)</sup>은 지렁이 분립은 비닐하우스의 container 용상토 재로 이용하거나 또는 토양과 혼합하여 이용할 경우 식물생육을 증진시키는 잠재력이 있다고 하였고, Chaoui 등<sup>17)</sup>은 지렁이 분립은 효율적인 식물영양원으로 화학비료와 퇴비에 비하여 염류장해가 적다고 보고하여 식물영양원으로서 지렁이 분립은 친환경농업을 위한 농자재와 도시농업에서 필요한 유용한 상토재로서 그 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

## 적 요

사육밀도의 차이가 지렁이의 생육, 체조직으로의 유기물 전환효율 및 분립생산량에 미치는 영향을 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공시 한우분의 탄질율은 25.1로, 지렁이 먹이로 적합한 탄질율로 추정되었다.
2. 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율이 1:32였던 S-3에서 생체중 증가율과 체조직으로의 유기물 전환효율이 유의하게 높은 값을 나타내었는데, 이 비율을 사육공간으로 나타내면 56.6 cm<sup>3</sup>이었다. S-3에서 사육기간 평균 생체중 증가율과 체조직으로의 유기물 전환효율은 각각 10.63 mg/day와 6.65%를 나타내었다.
3. 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율 1:8이었던 S-1에서 사육기간 중 분립비율이 가장 높았지만, 생체중 증가율과 체조직으로 유기물 전환효율은 -값을 나타내었다. 이는 개체간 먹이 경합이 심해진 결과로 추정된다.
4. 사육밀도가 높아짐에 따라 지렁이 분립의 pH, 전 질소함량, 유효인산함량, 양이온치환능력(CEC) 및 양이온 함량이 유의하게 증가되었다. 특히 유효인산함량, 양이온치환능력 및 양이온함량은 사육기간이 길어짐에 따라 유의하게 증가되었다.
5. 지렁이 분립의 이화학적 특성으로 볼

때, 상토 재 또는 토양개량제로서 유용성이 높다고 판단되었다.

### 인 용 문 헌

1. 고재경, 권영택, 이창호. 1995. 붉은 지렁이 (*Lumbricus rubellus* L.)와 줄 지렁이 (*Helodrilus foetidus*)를 이용한 유기성 슬러지 처리 효율성 비교. 한국유기성자원학회 봄철 학술대회 p. 102-109.
2. 농경연, 2011. 농수산식품 주요통계자료.
3. 이주삼, 정재춘, 조익환. 1992. 제지 sludge와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지 9(2):19-26.
4. 이주삼, 김성진, 조고영. 1993. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 - 사육밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향. 한국유기성폐기물학회지 1(2):259-266.
5. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 - 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립생산에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 1(1):65-75.
6. 이주삼, 이무춘. 1996. Vermicomposting에 의한 본노슬러지의 처리. 한국유기성폐기물학회지 4(2):35-45.
7. 이주삼, 김만중, 김남천. 2005. Vermicomposting에 의한 음식물쓰레기의 처리. 한국유기성자원학회지 13(3):51-62.
8. 이주삼, 김만중. 2006. Vermicomposting에 의한 돈분의 처리. - 음식물쓰레기와 의 혼합 처리 -. 한국축산시설환경학회지 12(2):75-84.
9. 이지영, 이주삼. 2008. 먹이조건의 차이가 지렁이의 생육, 분립생산량 및 체조직으로 유기물 전환효율에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 16(3):287-298.
10. 이주삼, 최덕천. 2009. 지렁이에 의한 돈분 퇴비화용 유기성 자원 연구, 한국축산시설환경학회지 15(3):289-296.
11. 岡田光正, 森 忠一, 須藤降一. 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.
12. 渡邊弘之, 森 忠洋, 平田俊道. 1979. ミミズの有効利用とその技術. サイエティスト社
13. Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D. and Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44, 579-590.
14. Bolton, P. L. and Phillipson, J. 1976. Burrowing, feeding, egestion and energy budgets of *Allobophora rosea* (Savigny) (Lumbricidae). *Oecologia* 23, 225-245.
15. Bouché, M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. In U. Lohm and T. Persson. (eds.) "Soil Organism as Components of Ecosystem" *Bio. Bull* 25, 122-132.
16. Cantanazaro, C. J., Williams, K. A. and Sauve, R. J. 1998. Slow release versus water soluble fertilization affects nutrient leaching and growth of potted chrysanthemum. *J. of Plant Nutrition*, 21, 1025-1036.
17. Chaoui, H. I., Zibilske, L. M. and Ohno T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biol. Biochem.* 35, 295-302.
18. Devliegher, W. and Vertraete, E. 1997. The effect of *Lumbricus terrestris* on soil in relation to plant growth: effect of nutrient-enrichment processes (NEP) and

- gut-associated processes (GAP). *Soil Biol. Biochem.* 29(3/4), 341-346.
19. Dietz, S. 1979. Etude de l'incorporation de la litière en système herbacé a l'aide de matériel végétal marqué au <sup>14</sup>C. These de 3° cycle écol. terr. Univ. Sci. Tech. Languedoc, Monttpellier.
  20. Domingues, J. and Edwards, C. A. 1997. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biol. Biochem.* 29, 743-746.
  21. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworm. In *Earthworm in waste and environmental management*. SPB Academic Publishing. The Hague, The Netherlands, pp. 21-31.
  22. Hartenstein, R. and Amico, L. 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem.* 15, 51-54.
  23. Lavelle, P., Sow, B. and Schaefer, R. 1980. The geophagous earthworms community in the Lamto savanna (Ivory Coast). Niche partitioning and utilization of soil nutritive resources. In D. L. Dindal (ed.). "Soil Biology as Related to Land Use Practices". pp. 653-672.
  24. Lee, K. E. 1983. The influence of earthworms and termites on soil nitrogen cycling. In "New Trends in Soil Biology" (Ph. Lebrun, H. M., Andre, A, de Medts,, C. Gregoire-Wibo and G. Wauthy, eds.), pp. 35-48. Proc. 8th Intl Colloquium Soil Zool., Louvain-la-Neuve, 1982. Dieu-Brichart, Ottignies-Louvain-la-Neuve.
  25. Loehr, R. C. 1985. Factors affecting the vermistabilization process. *Water Res.* 19 (10):1311-1317.
  26. MacArthur, R. H. and Wilson, E. O, 1967. Some generalized therms of natural selection. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA* 48, 1893-1897.
  27. Neuhauser, E. F., Lohr, R. C. and Malecki, M. R. 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge. In *Earthworm and Waste Management*. (eds.) by C. A. Edwards and E. F. Neuhauser., SPB Academic Publishing. The Netherlands. pp. 9-20.
  28. Tomati, U., Grapelli, A. and Galli, E. 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes (In *On Earthworms*. A. M. Bonvicini Pagliai & P. Omodeo eds.). Selected Symposia and Monographs U.Z.I., 2, Mucchi, Modena pp. 423-435.
  29. Vincelas-Akpa, M. and Loquet, M., 1997. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia fetida andrei*): chemical analysis and <sup>13</sup>C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biol. Biocem.* 29, 751-758.