

지렁이 개체군의 최적 사육밀도 추정*

이주삼** · 노진환*** · 박상수*** · 이희충****

Estimation of Optimal Stocking Rate of Earthworm Populations

Lee, Ju-Sam · Noh, Jin-Hwan · Park, Sang-Soo · Lee, Hee-Choong

This experiment was carried out to investigate the optimal stocking rate of earthworm populations grown under different stocking rates. The stocking rate in terms of ratio of biomass of earthworms to biomass of feeds(organic resources) is an important factors for biomass productivity of earthworms and vermicast production. The different stocking rates were 1:16(S-1), 1:32(S-2), 1:48(S-3) and 1:64(S-4), as the ratios of biomass of earthworm to biomass of organic dairy cow manure, respectively. The stocking rate of 1:32(S-2) and 1:46(S-3) were obtained a higher values on increasing rates and conversion efficiency of organic matter to earthworm biomass than other stocking rates. Thus, a stocking rates of 1:32 and 1:46 estimated an optimal stocking rates for maximum biomass productivity of earthworms. A stocking rate of 1:16(S-1) showed a significantly highest values of vermicast production and ratios of vermicasts during the rearing periods.($P \leq 0.05$) A stocking rate of 1:48(S-3) showed a highest values of the number of cocoons and vermicasts production per earthworm biomass among the treatment ($P \leq 0.05$) The contents of nitrogen, available phosphorus, cation exchange capacity and exchangeable cations of vermicasts tended to increase with stocking rate and rearing progressed. Vermicasts have a great deal of potential for crop production and protection in sustainable organic cropping systems

Key words : cow manure, stocking rate, vermicasts, conversion efficiency

* 본 연구는 2009학년도 연세 학술연구비의 지원에 의하여 수행된 과제임.

** 교신저자, 연세대학교 생명과학기술학부 교수(vermilee@hanmail.net)

*** 연세대학교 석사

**** 연세대학교 생명과학기술학부

I. 서 론

유기복합영농에서 유기성 자원의 처리를 위한 지렁이 퇴비화는 무기양분이 풍부한 분립 생산을 통하여 토양-작물-가축이 연계된 물질순환의 중요한 연결고리로서 활용할 수 있다.

지렁이에 의한 유기성 자원의 퇴비화 과정의 효율적 운용을 위해서는 양호한 먹이조건과 적절한 사육환경의 제공을 통하여 지렁이의 생산효율과 분립생산량을 증가시키는 일이 중요하다(이, 2005; 이와 이, 2008, 2012). 특히 사육환경 중에서 사육밀도는 개체 간 먹이의 경합정도를 나타내는 단위용적중 당 개체수로서 개체 당 사육 공간(개체/cm³)의 크기(이 등, 1992; 이 등, 1993; 이, 1995)와 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율로 나타낸다(Hartenstein 과 Amico, 1983; Edwards, 1988; Domingues와 Edwards, 1997; 이와 이, 2012). 사육밀도는 종의 크기 및 섭취한 먹이의 에너지 함량과 함께 지렁이의 영양적 지위(trophic niche)의 기본적인 변이로 작용하여 생존전략에 영향을 미친다(Lavelle 등, 1980). 지렁이의 생존전략은 r-도태와 K-도태로 구분하는데, r-도태는 경쟁이 심하지 않은 개체군 조건에서 최대 개체군 성장률을 나타내고, K-도태는 경쟁이 심한 개체군 조건에서 경쟁능력을 나타낸다(MacArthur와 Wilson, 1967). 일반적으로 퇴비화에 적합한 지렁이 종은 낙엽고사 층이나 가축분에서 서식하는 고사체 종(litter species)(Lee, 1985) 또는 epigeic 종(Bouche(1977; Satchell, 1980)으로 r-도태의 생존전략을 나타내며, 토양 속에서 먹이를 얻는 심토 종(endogeic species)은 K-도태, 토양 속과 지표면에서 먹이를 얻는 표토 종(anecic species)은 r-도태와 K-도태의 중간형이라고 하였다(Bouche, 1977; Satchell, 1980). 이와 이(2012)는 사육밀도를 달리한 조건에서 지렁이 생체중 증가율과 유기물전환효율이 높아서 많은 생체량을 얻을 수 있는 사육밀도와 사육기간 동안 급격한 생체중의 감소현상을 나타내지만 단위기간 동안에 분립생산량이 많은 사육밀도가 존재한다고 보고하여, 사육밀도의 차이가 지렁이의 생존전략을 변화시킨다는 것을 시사하였다. 특히 지렁이에 의한 퇴비화 방법은 최종산물을 완전하게 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다(이 등, 2005; 이와 김, 2006, 이와 최, 2009). 즉, 지렁이에 의한 퇴비화는 유기물을 급속히 안정화시키며(Loehr, 1985), 처리과정에서 다량으로 생산되는 지렁이 분립은 입단구조(aggregates)로 되어있어 토양의 물리성 개선에 기여한다(渡邊 등, 1979). 또한 무기양분 함량과 양이온치환능력(CEC)이 높고(이 등, 2005; 이와 김, 2006), 식물생장조절물질이 함유되어 있어(Tomati 등, 1987), 작물수량을 증가시키고 양분용탈을 감소시키는 완효성 양분 원으로 유용성이 높다(Cantanazaro 등, 1998). 따라서 지렁이 분립을 토양개량제 또는 유기질 비료로서 토양에 환원하여 이용할 경우, 안전성이 높은 농산물을 생산할 수 있어(Vincelas-Akpa와 Loquet, 1997; Chaoui 등, 2003), 농가소득 증대에 기여할 수 있고, 최근 활발히 보급되고 있는 도시농업에서 지렁이 분립은 식물생육을 위한 안전한 양분공급원으로서 그 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다.

따라서 본 실험에서는 지렁이 생체중과 먹이 량의 비율을 달리 한 사육밀도의 차이가 단

위사육기간에서 지렁이의 증체율, 분립생산량과 분립의 화학적 조성 및 체조직으로의 유기물 전환효율에 미치는 영향을 검토하여 본 실험 조건에서 적정 사육밀도를 추정하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

공시 지렁이는 줄 지렁이(*Eisenia fetida* L.)를 사용하였다. 지렁이의 먹이로 황성균 소재 유기낙농가(범산목장)의 젖소분과 왕겨를 사용하였다. 젖소분과 왕겨를 1:3(v/v) 비율로 혼합하여 발효기에서 3주간 발효 후, 1개월간 부숙시켜 먹이로 사용하였다. 사육 상자의 크기는 18×18×18cm(길이×너비×높이)인 것을 사용하였고, 먹이량은 상자 당 1kg(수분함량 65%)을 높이 8cm까지 충전하였다. 사육밀도는 평균 개체중이 250mg인 지렁이를 상자 당 62.5g, 31.3g, 20.8g, 15.6g을 방사하였는데, 이를 지렁이 생체중과 먹이량의 비율로 나타내면 1:16(S-1), 1:32(S-2), 1:48(S-3), 1:64(S-4)의 4 수준으로 방사하여 28일간(4주) 사육하였다. 사육기간 중의 실내온도는 20±5℃, 먹이의 수분조건은 65±5℃를 유지하였다. 또한 지렁이에 의한 가축분 중의 유기물 감소량을 구하기 위하여 지렁이 무 투입구를 처리구와 동일한 조건에서 처리구와 함께 30일간 방치하였다.

생육조사는 지렁이의 상대 증체량, 생체중 증가율, 난포 수, 분립생산량, 잔식량, 분립비율, 생체중당 난포수 및 생체중당 분립생산량을 1주 간격으로 4회 조사하였다. 상대 생체중은 실험개시시의 생체 중/조사 시의 생체 중×100의 값으로 구하였고, 분립생산량과 잔식량은 건조기에서 105℃에서 24시간 건조 후 입경 2.0mm 채로 분리하여 고형물의 입자가 2.0mm 이하인 것을 분립량으로, 2.0mm 이상인 것을 잔식량으로 하였다. 또한 실험 전의 유기젖소분과 실험 종료 후 지렁이 분립의 이화학적 특성을 분석하였다(Table 1, 5). pH는 pH meter(Fisher Scientific AB15)로 측정하였고, 전기전도도(EC)는 conductivity meter(Fisher Scientific AB30), 총 고형분 함량(TS)은 105℃에서 24시간 건조 후 측정된 건물중으로 하였다. 휘발성 고형분 함량(VS)은 시료를 550℃의 전기로에서 3시간 태운 후 남은 조회분을 총 고형분 함량에서 뺀 값으로 구하였고, 조회분 함량을 고정 고형분(FS)으로 하였다. 전질소 함량(TN)은 kjeldahl 법(Model PRO-NITRO II)으로 구하였다. 총 탄소함량(TC)은 (건물량-조회분 함량)/1.8의 값으로 구하였고, 탄질율(C/N)은 총 탄소 함량과 전 질소함량의 비율로 구하였다. 유효인산함량(Avail. P₂O₅), 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, Δt; 사육기간을

나타낸다. 또한 체조직으로의 유기물 전환효율(CE)은 이 등(2005)의 공식을 인용하여 다음과 같이 구하였다.

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

Ⅲ. 결 과

1. 지렁이 먹이의 이화학적 특성

유기 젖소분과 왕겨를 1:3의 비율로 혼합한 후 발효시킨 지렁이 먹이의 이화학적 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1. The physico-chemical properties of mixtures of organic dairy cow manure with rice hull before vermicomposting

Mixture ratio	pH (1:5)	EC (dS · m ⁻¹)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TC (%)	TN (%)	C/N ratio	Avail. P ₂ O ₅ (mg · kg ⁻¹)	CEC (cmol(+)) · kg ⁻¹)	Ex.cation(cmol(+)/kg ⁻¹)		
											Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
CM:RH 1:3	8.24	1.36	37.40	68.58	31.42	39.78	1.21	32.99	462.98	34.61	8.09	0.53	0.98

CM: organic dairy cow manure and RH: rice hull

pH; potential of hydrogen, EC; electrolytic conductivity, TS: total solids, VS: volatile solids, TC: total carbon TN; total nitrogen, C/N; carbon-nitrogen ratio, P₂O₅; available phosphorus, CEC; cation exchange capacity and Ex.cations; exchangeable cations

pH는 8.24로 약 알칼리성이었고, 전기전도도(EC) 1.36dS m⁻¹이었다. 총 고형분함량(TS)은 37.4%였고 이 중에서 휘발성 고형분(VS)은 68.58%, 고정 고형분(FS)은 31.42%였다. 총 탄소 함량(TC)은 36.78%였고 탄질율(C/N)은 32.99였다. 유효인산함량(P₂O₅)은 462.98ppm이었고, 양이온치환능력(CEC)은 34.61cmol(+) kg⁻¹이었다. 치환성 양이온(Ex. cations)은 Ca⁺⁺이 8.09, Mg⁺⁺이 0.53 그리고 K⁺가 0.98 cmol(+) kg⁻¹이었고, 특히 Ca⁺⁺ 함량이 높았다.

2. 사육밀도가 지렁이의 생육, 증식효율 및 분립생산량에 미치는 영향

1주째의 조사에서 상대 생체 중(RW)는 S-3에서 102.08%로 실험개시시의 생체 중보다 약

간 증가되었지만, S-2와 S-4와는 유의한 차이가 없었다. S-1에서 난포수(NC)는 50개, 분립생산량(CW)은 168.82g으로 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다($P \leq 0.05$). 잔식량(RM)은 S-1이 176.79g으로 유의하게 낮았고 사육밀도가 낮아짐에 따라 증가하였다. 생체중당 난포수(NC/FW₂)와 분립생산량(CW/FW₂)은 S-2에서 1.24개와 3.80g으로 가장 많았다($P \leq 0.05$).

2주째에서는 S-2의 상대 생체중은 110.48%로 유의하게 높았고($P \leq 0.05$), 난포수와 분립생산량은 S-1에서 각각 61.67개와 258.34g으로 유의하게 많았다($P \leq 0.05$). 잔식량은 S-1에서 1주째보다 52%가 감소된 99.3g으로 유의하게 낮았고($P \leq 0.05$), 분립비율은 72.22%로 유의하게 높았다($P \leq 0.05$). 생체중당 난포수는 S-3와 S-4에서 각각 1.57개와 1.58개였고, 생체중당 분립생산량은 S-3가 7.40g으로 가장 많았다($P \leq 0.05$).

3주째의 상대 생체중은 S-2와 S-3에서 각각 117.97%와 118.08%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다($P \leq 0.05$). S-1에서 난포수와 분립생산량은 각각 73.3개와 296.85g으로 유의하게 많았지만($P \leq 0.05$), 잔식량은 52.99g으로 가장 적었고 분립비율은 84.87%로 가장 높았다($P \leq 0.05$). S-3에서 생체중당 난포수와 분립생산량은 각각 1.57개와 7.38g으로 가장 많았다($P \leq 0.05$).

4주째의 상대 생체중은 S-2, S-3, S-4에서 114.66-124.33%의 범위였지만, 사육밀도간에는 유의한 차이가 없었다. S-1에서 난포수는 61.67개, 분립생산량은 334.09g으로 유의하게 많

Table 2. The values on the measured growth characteristics of earthworm in each survey time

Survey time	SR	growth characteristics								
		FW ₁ (g)	FW ₂ (g)	RW (%)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)	NC/FW ₂	CW/FW ₂
1 week	S-1	62.50	56.77 ^a	90.84 ^b	50 ^a	168.82 ^a	176.79 ^d	48.86 ^a	0.88	2.97
	S-2	31.30	30.76 ^b	98.27 ^{ab}	38 ^b	117.03 ^b	246.52 ^c	32.28 ^b	1.24	3.80
	S-3	20.80	21.23 ^c	102.08 ^a	26 ^c	77.06 ^c	278.29 ^b	21.70 ^c	1.22	3.63
	S-4	15.60	15.46 ^d	99.08 ^{ab}	14 ^d	34.64 ^d	317.25 ^a	9.88 ^d	0.91	2.24
	L.S.D ($p \leq 0.05$)	0.00	2.17	10.34	7.71	14.01	28.49	4.93		
2 week	S-1	62.50	61.44 ^a	98.30 ^b	61.67 ^a	258.34 ^a	99.36 ^c	72.22 ^a	1.00	4.20
	S-2	31.30	34.58 ^b	110.48 ^a	40.67 ^b	186.05 ^b	165.51 ^b	53.03 ^b	1.18	5.38
	S-3	20.80	21.45 ^c	103.11 ^b	33.67 ^c	158.65 ^c	203.17 ^a	43.82 ^c	1.57	7.40
	S-4	15.60	15.43 ^d	98.89 ^b	24.33 ^d	52.92 ^d	199.44 ^a	20.96 ^d	1.58	3.43
	L.S.D ($p \leq 0.05$)	0.00	1.56	6.45	3.44	19.53	25.58	6.03		

Survey time	SR	growth characteristics								
		FW ₁ (g)	FW ₂ (g)	RW (%)	NC	CW (g)	RM (g)	CW (%)	NC/FW ₂	CW/FW ₂
3 week	S-1	62.50	64.65 ^a	103.44 ^b	73.33 ^a	296.85 ^a	52.99 ^d	84.87 ^a	1.13	4.59
	S-2	31.30	36.92 ^b	117.97 ^a	47.33 ^b	212.50 ^b	136.15 ^c	60.95 ^b	1.28	5.76
	S-3	20.80	24.56 ^c	118.08 ^a	38.67 ^c	181.17 ^c	171.15 ^b	51.44 ^c	1.57	7.38
	S-4	15.60	16.86 ^d	108.10 ^b	24.67 ^d	96.22 ^d	254.37 ^a	27.47 ^d	1.46	5.71
	L.S.D (p≤0.05)	0.00	1.68	5.26	5.18	15.04	19.05	4.51		
4 week	S-1	62.50	60.17 ^a	96.23 ^b	61.67 ^a	334.09 ^a	17.89 ^c	94.82 ^a	1.03	5.55
	S-2	31.30	37.71 ^b	120.49 ^a	53.67 ^b	290.59 ^b	63.78 ^b	82.01 ^b	1.42	7.71
	S-3	20.80	25.86 ^c	124.33 ^a	45.00 ^c	255.61 ^c	82.90 ^b	75.97 ^b	1.74	9.88
	S-4	15.60	17.89 ^d	114.66 ^a	27.67 ^d	124.91 ^d	133.24 ^a	48.35 ^c	1.55	6.78
	L.S.D (p≤0.05)	0.00	2.35	10.07	5.07	17.78	33.25	8.28		

SR; stocking rate, FW₁: fresh weight of adult worm at initial time (g), FW₂: fresh weight of adult worm at final time (g),

RW (%): relative fresh weight (FW₂/FW₁×100), NC: number of cocoons, CW (g): dry weight of worm casts (g, < 2.0mm), RM (g): dry weight of residual matter (g, > 2.0mm), CW(%): ratios of vermicasts, NY/FW₂: number of cocoons per FW₂ and CW/FW₂: dry weight of vermicasts per FW₂

왔다. 잔식량은 17.89g으로 가장 적었고, 분립비율은 94.82%로 투입된 먹이량의 거의 전량이 분립으로 전환되었다. S-3에서 생체중당 난포수와 분립생산량은 각각 1.74개와 9.88g을 나타내어 다른 사육밀도보다 유의하게 많았다(P≤0.05).

3. 사육밀도에 따른 생체중 증가율의 변화

사육밀도에 따른 생체중 증가율의 변화는 Table 3에 나타난 바와 같다.

실험개시 후 1주까지의 생체중 증가율은 S-3에서 2.82mg/day으로 + 값을 나타낸 반면에 다른 사육밀도에서는 - 값을 나타내었고, 특히 S-1에서는 -13.74mg/day으로 유의하게 낮았다(P≤0.05). 사육기간 1주와 2주간에서는 S-2가 16.76mg/day으로 가장 높았지만, S-1의 11.29mg/day과는 유의한 차이가 없었다. 2주와 3주간에서는 S-3가 19.40mg/day으로 가장 높았지만, S-4의 12.76mg/day과는 유의한 차이가 없었다. 또한 3주와 4주간에서는 S-1의 -10.25mg/day,을 제외한 다른 사육밀도에서는 유의한 차이가 없었다. 사육기간 평균값으로 보면 S-3가 7.75mg/day으로 가장 높았고, 다음으로 S-2의 6.65mg/day, S-4가 4.83mg/day였고, S-1은 -1.36mg/day으로 가장 낮았다(P≤0.05).

Table 3. Increasing rate of fresh weight of earthworm (mg/day)

SR	Rearing period				
	T ₁ -T ₀	T ₂ -T ₁	T ₃ -T ₂	T ₄ -T ₃	mean
S-1	-13.74 ^b	11.29 ^{ab}	7.25 ^b	-10.25 ^b	-1.36
S-2	-2.57 ^{ab}	16.76 ^a	9.41 ^b	2.98 ^{ab}	6.65
S-3	2.82 ^a	1.45 ^{bc}	19.40 ^a	7.34 ^a	7.75
S-4	-1.68 ^{ab}	0.03 ^c	12.76 ^{ab}	8.20 ^a	4.83
L.S.D (p ≤ 0.05)	14.79	10.96	7.25	13.42	

SR; stocking rate, T₀; initial fresh weight of earthworm, T₁; 1 week after vermicomposit, T₂; 2 weeks after vermicomposting, T₃; 3 weeks after vermicomposting and T₄; 4 weeks after vermicomposting

4. 사육밀도에 따른 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율

사육밀도의 차이에 따른 조사시기별 지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율은 표 4에 나타난 바와 같다.

Table 4. The values on conversion efficiency (%) of organic matter to earthworm tissues in each survey time grown under different stocking rates

SR	Rearing period				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	mean
S-1	-32.03 ^b	-4.26 ^b	5.11 ^b	-4.43 ^c	-8.90
S-2	-4.49 ^a	13.65 ^a	14.75 ^a	11.37 ^{ab}	8.82
S-3	2.70 ^a	2.60 ^b	13.03 ^a	12.92 ^a	7.81
S-4	-4.98 ^a	-2.72 ^b	6.54 ^b	7.05 ^b	1.47
L.S.D (p ≤ 0.05)	26.18	8.34	5.96	5.72	

SR; stocking rate, T₁; 1 week after vermicomposting, T₂; 2 weeks after vermicomposting, T₃; 3 weeks after vermicomposting and T₄; 4 weeks after vermicomposting

지렁이 체조직으로의 유기물 전환효율은 1주째의 조사에서 S-3가 2.70%로 + 값이었지만, 다른 사육밀도에서는 - 값을 나타내었고, 특히 S-1에서는 -32.03%로 유의하게 낮았다(P ≤ 0.05). 2주째에서는 S-2가 13.65%로 유의하게 높았고(P ≤ 0.05), 3주에서는 S-2는 14.75%, S-3는 13.03%로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다(P ≤ 0.05). 4주에서는 S-2가 11.37%, S-3가 12.92%로 유의하게 높았다(P ≤ 0.05). 사육기간 평균값은 S-2가 8.82%로 가장 높았고, 다음으로 S-3 7.81%, S-4 1.47%, S-1 -8.90%의 순이었다.

5. 지렁이 분립의 이화학적 특성

1주째에서 분립의 pH는 사육밀도 평균 8.25를 나타내어 약알칼리성이었고, S-1에서 8.39로 유의하게 높았다($P \leq 0.05$). 전기전도도는 사육밀도 간에 1.11-1.18dS/m의 범위, 총고형분 함량은 34.16-36.49%의 범위를 나타내었다. 휘발성 고형분 함량은 S-4가 67.6%, 총 탄소함량은 37.57%로 유의하게 높았다($P \leq 0.05$).

전 질소함량은 S-1이 1.42%, 탄질 율은 S-4가 30.38로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다. 유효인산함량은 465.32-473.55ppm의 범위, 양이온치환능력은 33.50-35.39cmol(+) kg^{-1} 로 사육밀도 간에 유의한 차이는 없었다. 치환성 양이온 함량은 Ca^{++} 이 7.82-8.10cmol(+) kg^{-1} 의 범위, Mg^{++} 은 0.53-0.57cmol(+) kg^{-1} 로 사육밀도 간에 유의한 차이는 없었다. K^+ 은 S-1이 1.13 cmol(+) kg^{-1} 로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다($P \leq 0.05$).

2주째에서 분립의 pH는 S-1이 8.21로 유의하게 높았다. 전기전도도는 1.11-1.21dS/m의 범위, 총 고형분 함량은 35.78-36.63%의 범위를 나타내어 사육밀도 간에는 유의한 차이가 없었다. S-4에서 휘발성 고형분 함량은 66.48%, 총 탄소함량은 36.93%, 탄질율은 28.13cmol(+) kg^{-1} 으로 유의하게 높았다. S-1의 전 질소함량은 1.48%, 유효인산함량은 567.19ppm, 양이온 치환능력은 37.15cmol(+) kg^{-1} 으로 다른 사육밀도보다 유의하게 높았다($P \leq 0.05$). 치환성 양이온 함량은 Ca^{++} 에서 8.07-8.14cmol(+) kg^{-1} 의 범위로 사육밀도 간에 유의한 차이는 없었지만, Mg^{++} 은 S-1이 0.65cmol(+) kg^{-1} 으로 유의하게 높았고, K^+ 은 S-4에서 1.06cmol(+) kg^{-1} 으로 가장 낮았다($P \leq 0.05$).

3주째에서 분립의 pH는 사육밀도 간에 8.08-8.20의 범위, 전기전도도는 1.13-1.27dS/m 범위를 나타내었다. 총고형분 함량은 33.80%-35.25%, 휘발성 고형분 함량은 59.46%-64.54%, 총 탄소함량은 33.03%-35.85%의 범위를 나타내었는데, 사육밀도가 저하함에 따라 증가하였지만, 고정 고형분함량은 35.46%-40.54% 범위로 사육밀도가 높아짐에 따라 증가하였다. 전 질소함량과 유효인산함량은 S-1에서 1.57%와 613.09ppm으로 유의하게 높았고, 탄질 율은 S-4가 26.12.로 가장 높았다. 양이온 치환능력은 35.08-38.25 cmol(+) kg^{-1} 범위였지만, 사육 밀도가 저하함에 따라 낮아졌다. 모든 치환성 양이온 함량은 S-1에서 유의하게 높았다($P \leq 0.05$).

4주째에서 분립의 pH는 S-1이 8.11로 유의하게 높았다. 전기전도도는 사육밀도 간에 1.23-1.31 dS/m의 범위, 총 고형분 함량은 57.31%-62.36% 범위였지만 유의한 차이는 없었다. 휘발성 고형분 함량과 총 탄소함량은 S-1과 S-2에서 유의하게 낮았다. 전 질소함량은 S-4에서 1.41%로 유의하게 낮았고, 탄질율은 24.54로 유의하게 높았다($P \leq 0.05$). 유효인산함량, 양이온치환능력 및 모든 치환성 양이온 함량은 S-1에서 유의하게 높은 값을 나타내었다($P \leq 0.05$).

Table 5. The physico-chemical properties of vermicasts at weeks after vermicomposting

Survey time	SR	pH	EC (dS/m)	TS (%)	VS (%)	FS (%)	TC (%)	TN (%)	C/N ratio	Avail. P ₂ O ₅ (mg · kg ⁻¹)	CEC (cmol (+) · kg ⁻¹)	Ex.cation(cmol(+) kg ⁻¹)		
												Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
1 week	S-1	8.39 ^a	1.16 ^{ab}	35.50 ^a	64.60 ^b	35.40 ^a	35.89 ^b	1.42 ^a	25.35 ^c	473.55 ^a	35.08 ^a	8.05 ^a	0.57 ^a	1.13 ^a
	S-2	8.25 ^{ab}	1.11 ^b	34.16 ^b	65.77 ^{ab}	34.23 ^{ab}	36.54 ^{ab}	1.32 ^b	27.76 ^b	471.04 ^a	33.50 ^a	8.02 ^a	0.53 ^a	1.06 ^b
	S-3	8.20 ^b	1.13 ^a	36.49 ^a	65.50 ^b	34.50 ^a	36.39 ^b	1.34 ^b	27.22 ^b	465.35 ^a	35.39 ^a	8.10 ^a	0.55 ^a	1.03 ^{bc}
	S-4	8.17 ^b	1.18 ^{ab}	34.29 ^b	67.62 ^a	32.38 ^b	37.57 ^a	1.24 ^c	30.38 ^a	465.32 ^a	35.12 ^a	7.92 ^a	0.53 ^a	0.99 ^c
L.S.D (p≤0.05)		0.17	0.12	1.11	1.87	1.87	1.04	0.05	1.31	16.41	2.76	0.20	0.10	0.07
2 weeks	S-1	8.21 ^a	1.20 ^a	36.53 ^a	63.64 ^b	36.36 ^a	35.36 ^b	1.48 ^a	23.86 ^c	569.19 ^a	37.15 ^a	8.12 ^a	0.65 ^a	1.14 ^a
	S-2	8.18 ^{ab}	1.11 ^a	35.87 ^a	63.73 ^b	36.27 ^a	35.40 ^b	1.41 ^b	25.17 ^{bc}	546.42 ^b	35.09 ^b	8.14 ^a	0.58 ^b	1.10 ^a
	S-3	8.15 ^{bc}	1.14 ^a	36.63 ^a	64.41 ^b	35.59 ^a	35.78 ^b	1.34 ^{bc}	26.80 ^{ab}	508.27 ^c	35.73 ^b	8.11 ^a	0.57 ^b	1.09 ^a
	S-4	8.12 ^c	1.21 ^a	35.78 ^a	66.48 ^a	33.52 ^b	36.93 ^a	1.32 ^c	28.13 ^a	494.94 ^c	34.86 ^b	8.07 ^a	0.56 ^b	1.06 ^b
L.S.D (p≤0.05)		0.05	0.12	2.54	1.16	1.16	0.65	0.07	1.69	19.90	1.42	0.12	0.05	0.05
3 weeks	S-1	8.19 ^a	1.20 ^{ab}	33.80 ^b	59.46 ^c	40.54 ^a	33.03 ^c	1.57 ^a	21.05 ^d	613.09 ^a	38.25 ^a	8.55 ^a	0.70 ^a	1.21 ^a
	S-2	8.15 ^{ab}	1.27 ^a	34.70 ^{ab}	60.86 ^{bc}	39.14 ^{ab}	33.81 ^{bc}	1.50 ^b	22.60 ^c	590.42 ^b	36.96 ^{ab}	8.90 ^b	0.61 ^b	1.18 ^{ab}
	S-3	8.20 ^a	1.26 ^a	34.95 ^a	62.59 ^b	37.41 ^b	34.77 ^b	1.43 ^c	24.32 ^b	542.81 ^c	36.44 ^b	8.17 ^c	0.58 ^b	1.15 ^b
	S-4	8.08 ^b	1.13 ^b	35.25 ^a	64.54 ^a	35.46 ^c	35.85 ^a	1.37 ^c	26.12 ^a	518.52 ^d	35.08 ^b	8.13 ^c	0.60 ^b	1.07 ^c
L.S.D (p≤0.05)		0.10	0.08	1.08	1.79	1.79	0.99	0.06	1.06	12.94	1.48	0.08	0.04	0.05
4 weeks	S-1	8.11 ^a	1.26 ^a	33.37 ^a	57.46 ^b	42.54 ^a	31.92 ^b	1.61 ^a	19.87 ^c	621.85 ^a	39.26 ^a	9.02 ^a	0.72 ^a	1.25 ^a
	S-2	8.04 ^{ab}	1.31 ^a	32.61 ^a	57.31 ^b	42.79 ^a	31.78 ^b	1.53 ^a	20.77 ^c	601.16 ^b	37.02 ^b	8.50 ^b	0.68 ^b	1.19 ^b
	S-3	8.00 ^b	1.23 ^a	32.35 ^a	60.45 ^a	39.55 ^b	33.58 ^a	1.52 ^a	22.16 ^b	568.90 ^c	36.59 ^b	8.44 ^b	0.59 ^b	1.18 ^b
	S-4	7.91 ^c	1.23 ^a	31.60 ^a	62.36 ^a	37.64 ^b	34.64 ^a	1.41 ^b	24.54 ^a	525.00 ^d	36.53 ^b	8.41 ^b	0.60 ^b	1.08 ^c
L.S.D (p≤0.05)		0.07	0.08	1.96	2.50	2.50	1.39	0.10	1.09	9.27	2.19	0.14	0.05	0.05

EC: electrolytic conductivity, TS: total solids, VS: volatile solids, FS: fixed solids, TC: total carbon, TN: total nitrogen, C/N: carbon/nitrogen ratio, Av. P₂O₅: available phosphorus, CEC: cation exchange capacity, and Ex. cations: exchangeable cations.

IV. 고 찰

모든 조사시기에서 상대생체중이 100% 이상을 나타낸 사육밀도는 S-2와 S-3이었고(Table 2), 사육기간 평균 생체중 증가율은 S-2에서 6.65mg/day, S-3에서 7.75mg/day으로 높았으며

(Table 3), 유기물 전환효율은 S-2가 8.82%, S-3가 7.81%로 높아서(Table 4), 지렁이 생체중을 증가시키기 위한 개체군의 최적 사육밀도는 S-2와 S-3으로 추정되었고, 이를 지렁이 생체중과 먹이량의 비율로 나타내면 1:32-1:48의 범위가 된다. 그러나 모든 조사시기에서 S-1(1:16)은 상대생체중, 생체중 증가율 및 유기물 전환효율이 낮았지만(Table 2, 3, 4), 분립 생산량이 많았고, 분립비율도 유의하게 높아서(Table 2), 짧은 기간 동안 투여된 먹이량을 분립으로 전환시키는데 유리한 사육밀도로 추정된다. Edwards(1988)는 지렁이의 최대 생체량은 생체중과 먹이의 비율 1:10일 때 얻을 수 있다고 하였고, 고 등(1995)은 유기성 슬러지의 처리 효율이 가장 높은 생체량과 먹이량의 비율은 1:15이었고, Domingues와 Edwards(1997)는 최대 생체중을 얻기 위한 지렁이 생체중과 먹이량의 비율은 1:5.45가 적당하다고 하였다. 또한 이와 이(2012)는 지렁이의 생체중과 먹이량의 비율 1:32에서 상대생체중, 생체중 증가율 및 유기물 전환효율이 가장 높았고, 분립비율을 높일 경우에는 1:8-1:16 범위가 적당하다고 하였다. 이와 같이 최대 생체량을 얻기 위한 사육밀도가 차이가 있는 것은 지렁이의 생장이 유기물 중에 서식하는 미생물의 영양가치와 먹이량(Edwards와 Fletcher, 1988) 및 먹이 중의 유용한 유기물 함량(이 등, 2005)에 의존하기 때문으로 추정된다.

이상의 결과에서 개체군의 생체중 증가율을 높여 많은 생체중을 얻기 위해서는 개체 간 경쟁이 적어서 r-도태의 생존전략을 나타내는 사육밀도가 유리하고(MacAther와 Wilson, 1967; 이와 이, 2012), 분립의 생산속도를 높여 짧은 기간 동안에 분립생산량을 증가시키기 위해서는 사육밀도를 높이는 것이 유리하다는 것을 시사한다(이와 이, 2012). 또한 S-3에서 지렁이 생체중당 난포수와 분립생산량은 거의 모든 조사시기에서 가장 높은 값을 나타내어(Table 2), 증식효율과 분립생산효율이 높은 사육밀도라고 판단되었다.

지렁이에 의한 유기물 전환효율은 S-2과 S-3에서 사육기간 평균 8.82%와 7.81%를 나타내었다(Table 4). 이와 관련하여 Edwards(1983)은 지렁이 생체량으로의 유기물 전환비율은 5%, Hartenstein(1983)은 하수슬러지에서 6%, Domingues 등(2001)은 우분에서 *Eudrilus eugeniae* 종의 유기물 전환비율은 10%라고 하였다. 이 등(2005)은 음식물쓰레기와 우분을 50:50의 혼합비율에서 유기물 전환효율은 2.84%, 이와 김(2006)은 돈분과 음식물 쓰레기의 혼합비율 60:40에서 10.85%, 이와 이(2008)는 우분과 왕겨를 1:3과 1:2로 혼합하였을 때 각각 7.33%와 3.35%, 이와 최(2009)는 돈분과 커피 박 1:1 비율에서 6.66% 그리고 이와 이(2012)는 우분에서 생체중 증가율이 가장 높았던 사육밀도에서 유기물 전환효율은 6.65%였다고 하였다. 이상과 같은 유기물 전환효율의 차이는 지렁이의 종(Hartenstein과 Amico, 1983; Domingues 등, 2001), 먹이량(Edwards와 Fletcher, 1988), 먹이 중의 유용한 유기물 함량(이 등, 2005), 질소의 유용성(Lee, 1983) 및 사육밀도(Domingues 등, 2001; 이와 이, 2012)와 같은 먹이조건과 사육환경이 유기물 전환효율에 영향을 미치기 때문으로 추정된다.

사육밀도가 높아짐에 따라 지렁이 분립의 pH, 전질소 함량, 유효인산 함량과 양분보존능(CEC) 및 양이온 함량은 증가되었고, 특히 사육기간이 길어짐에 따라 전질소함량, 유효인

산함량과 CEC 및 양이온 함량은 증가되는 경향이였다(Table 5). 이와 같은 결과는 양분이 풍부한 분립의 생산을 위해서는 S-1과 같은 높은 사육밀도에서 사육기간을 짧게 하거나, S-3와 같이 생체중당 분립생산효율이 높은 사육밀도 조건에서 사육기간을 길게 하는 것이 유리하다는 것을 나타낸다(Table 2, 5). Orozco 등(1996)은 지렁이 먹이보다도 분립 중의 질소와 치환성 양이온 함량과 유용성이 증가되었다고 하였고, Devliegher와 Vertraete(1997)는 지렁이가 먹이를 섭취하였을 때, 장내 미생물에 의한 양분증강과정(NEP)과 장 관련과정(GAP)을 통하여 무기양분이 풍부한 분립을 생산한다고 하였다. 이와 이(2012)는 사육밀도가 높아짐에 따라 분립의 양분함량이 증가된 것은 개체 간 먹이경합이 심해져 분립의 재섭식이 이루어졌기 때문으로 추정된다고 하였다. 지렁이 분립의 화학성으로 볼 때(Table 6), 지렁이 분립은 상토 재 또는 토양개량제로서 활용 가능성은 매우 높다고 판단된다. Cantanazaro 등(1998)은 지렁이 분립은 식물체 수량을 증가시키고, 양분용탈을 감소시키는 완효성 식물영양원이라고 하였고, Vincelas-Akpa와 Loquet(1997)는 지렁이 분립은 퇴비에 비하여 탄질율, 단백질과 유기탄소 비율 및 질소함량이 높아서 토양개량제로 사용하기에 적합하다고 하였다. Atiyeh 등(2000)은 지렁이 분립은 비닐하우스의 container 용 상토 재로 또는 토양과 혼합하여 이용할 경우 식물생육을 증진시키는 잠재력이 있다고 하였고, Chaoui 등(2003)은 지렁이 분립은 효율적인 식물영양원으로 화학비료와 퇴비에 비하여 염류장해가 적다고 하였다. 또한 분립과 분립 추출물은 작물에 대한 병충해 방제효과가 높다고 알려져 있다(Yardim 등, 2006; Zaller, 2006; Edwards 등, 2009; Simsek-Ersahin 등, 2009). 따라서 지렁이 분립은 유기농업을 위한 작부체계에서 작물생산 증대와 작물보호를 위한 농자재로서 폭 넓게 활용될 수 있는 가능성은 매우 높다고 판단된다.

V. 적 요

사육밀도를 달리 했을 때 지렁이 개체군의 생체량 증가를 위한 최적 사육밀도를 추정하려고 하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사육밀도 S-2과 S-3에서 상대증체량, 생체중 증가율과 유기물 전환효율이 높은 값을 나타내어, 지렁이 개체군의 최대 생체량을 얻기 위한 최적 사육밀도로 추정되었다. 이를 지렁이 생체중과 먹이량의 비율로 나타내면 1:32-1:48의 범위였다.
2. 사육밀도 S-1(1:16)에서 모든 조사시기의 분립생산량이 유의하게 많았고 분립비율도 유의하게 높았다($P \leq 0.05$).
3. 사육밀도 S-3(1:48)에서 지렁이 생체중당 난포수와 분립생산량이 가장 많았다($P \leq 0.05$).

4. 사육밀도가 높아지고 사육기간이 길어짐에 따라 분립의 전 질소함량, 유효인산함량, 양이온치환능력(CEC) 및 양이온 함량이 증가되는 경향이였다.
5. 유기농업에서 지렁이 분립은 상토 재와 토양개량제 및 작물보호를 위한 농자재로서 잠재적 유용성은 매우 높다고 판단된다.

[논문접수일 : 2012. 7. 24. 논문수정일 : 2012. 9. 14. 최종논문접수일 : 2012. 9. 18.]

참 고 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. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리 - 먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립생산에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 1(1): 65-75.
3. 이주삼·김만중·김남천. 2005. Vermicomposting에 의한 음식물쓰레기의 처리. 한국유기성자원학회지 13(3): 51-62.
4. 이주삼·김만중. 2006. Vermicomposting에 의한 돈분의 처리. -음식물쓰레기와의 혼합처리-. 한국축산시설환경학회지 12(2): 75-84.
5. 이지영·이주삼. 2008. 먹이조건의 차이가 지렁이의 생육, 분립생산량 및 체조직으로 유기물 전환효율에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 16(3): 287-298.
6. 이주삼·최덕천. 2009. 지렁이에 의한 돈분 퇴비화용 유기성 자원 연구. 한국축산시설환경학회지 15(3): 289-296.
7. 이지영·이주삼. 2012. 사육밀도의 차이가 지렁이의 생육, 체조직으로의 유기물 전환효율 및 분립생산에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 18(2): 63-74
8. Atiyeh, R. M., S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, and W. Shuster. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
9. Atiyeh, R. M., C. A. Edwards, N. G. Arancon, and J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.
10. Bouché, M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. In U. Lohm and T. Persson, (eds.) *Soil Organism as Components of Ecosystems*. *Bio. Bull.* 25: 122-132.

11. Cantanazaro, C. J., K. A. Williams, and R. J. Sauve. 1998. Slow release versus water soluble fertilization affects nutrient leaching and growth of potted chrysanthemum. *J. of Plant Nutrition* 21: 1025-1036.
12. Chaoui, H. I., L. M. Zibilske, and T. Ohno. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biol. Biochem.* 35: 295-302.
13. Devliegher, W. and E. Vertraete. 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.
14. Domingues, J. and C. A. Edwards. 1997. Effect of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Bio. Biochem.* 29: 743-746.
15. Domingues, J., C. A. Edwards, and J. Ashby, 2001. The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia* 45: 341-353.
16. Edwards, C. A. 1983. Production of animal feed protein from tomato wastes. In Ledward, D. A., Taylor, A. J., Laurie, R. A. (eds.), *Proceedings of Easter Schools in Agriculture: Upgrading waste for feed and food*. Butterworths, London.
17. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworm. In Edwards, C. A., Neuhauser, E., (eds.), *Earthworm in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing. The Hague, pp. 21-31.
18. Edwards, C. A. and I. Burrows. 1988. The potential of earthworm compost as plant growth media. In Edwards, C. A., Neuhauser, E. (eds.), *Earthworm in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing. The Hague, pp. 211-219.
19. Edwards, C. A., and Fletcher, K. E., 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 24: 235-247.
20. Edwards, C. A., P. J., Bohlen, D. R. Linden, and S. Subler. 1995. Earthworms in agroecosystems. In Hendrix, P. F.,(ed.), *Earthworm ecology and Biogeography in North America*. Lewis, Boca Raton, pp. 185-213.
21. Edwards, C. A., N. Q. Arancon, M. Vasko-Benett, A. Aska, G. Keeney, and B. Little. 2009. Suppression of green peach aphid (*Myzus persicae*) (Sulz.), citrus mealybug (*Phenacoccus citri*) (Risso.) and two spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) (Koch.) attacks on tomatoes and cucumbers by aqueous extracts from vermicompost. *Crop Prot.* 29(1): 80-93.
22. Hartensein, R. 1983. Assimilation by *Eisenia fetida*: In Satchell, J. E. (ed.), *Earthworm Ecology*. Chapman and Hall, Cambridge, pp. 297-308.

23. Hartenstein, R. and L. Amico. 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem.* 15: 51-54.
24. Lavelle, P., B. Sow, and R. Schaefer, 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.
25. 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.
26. MacAther, R. H. and E. O. Wilson. 1967a. Some generalized theorems of natural selection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 48: 1893-1897.
27. Muscols, A., F. Bavolo, F. Gionfriddo, and S. Nardi. 1999. Earthworm humic matter produces auxins-like effect on *Daucus Carot* a cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1303-1311.
28. Ndegwa, P. M. and S. A. Thompsom. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment of bio-conversion of biosolids. *Biores. Technol.* 76: 107-111.
29. Orozco, F. M., J. Cegarra, L. M. Trujillo, and A. Roig, 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents of the availability of nutrients. *Biol. Fertil. Soils* 22: 162-166.
30. Satchell, J. E. 1980. Earthworm populations of experimental birch plots on *Calluna Podzol*. *Soil Biol. Biochem.* 12: 311-316.
31. Simsek-Ersahin, Y., K. Haktanir, and Y. Yamar. 2009. Vermicomposti from agricultural wastes suppress *Rhizoctonia solani* Kuhn in cucumber seedlings. *J. Plant Dis. Prot.* 116: 182-188.
32. Subler, S., C. A. Edwards, and J. Metzger. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *Biocycle* 39: 63-66.
33. Tomati, U., A. Grapelli, and E. Galli. 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.
34. Tomati, U., E. Galli, A. Grapelli, and J. S. Hard. 1994. Plant metabolism as influenced by earthworm casts. *Mitteilungen aus dem Hamburgischem Zoologischen Museum and Institute* 89: 179-185.
35. Vincelas-Akpa, M. and M. Loquet. 1997. Organic matter transformations in lignocellulosic waste products composted or vermicomposted (*Eisenia fetida andrei*): chemical analysis and

- 13C CPMAS NMR spectroscopy. *Soil Biol. Biochem.* 29: 751-758.
36. Yardim, E. N., N. Q. Arancon, C. A. Edwards, T. O. Oliver, and R. Byrne. 2006. Suppression of hornworm (*Manduca quinquemaculata*) and cucumber beetles (*Acalymma vittatum* and *Dia botrica undecimpunctata*) populations and damage by vermicomposts. *Pedobiologia* 50: 23-29.
37. Zaller, J. G. 2006. Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruit quality and indications of late-blight suppression of field-grown tomatoes. *Biol. Agric. Hortic.* 24: 165-180.