

Research Article

Open Access

## 유기성폐기물과 밭토양에 대한 붉은줄지렁이와 밭지렁이의 섭식 전후의 분변토 발생량 및 오염물질의 함량 변화

나영은\*

농촌진흥청 연구운영과 기후변화팀

### Change of Cast Amount and Pollutant Contents before and after the Eating of the Organic Waste and Upland Soil with Earthworms, *Eisenia andrei* and *Amyntas agrestis*

Young-Eun Na\* (Climate Change Team, R&D Coordination Division, Rural Development Administration, Jeonju, 560-500, Korea)

Received: 25 May 2015 / Revised: 5 June 2015 / Accepted: 23 June 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** Earthworms are essential detritus feeders that play a vital role in the process of decomposition of organic matter and soil metabolism. The complex process of partial breakdown of organic matter and mixing with mucous and gut microbial flora in the form of earthworm cast results in the reduction of the toxicity. This study focused on the change of cast amount and pollutant contents before and after the eating of the organic waste and upland soil with the two species of earthworm.

**METHODS AND RESULTS:** The two species of earthworms were compared to the cast production. In the upland soil material, the daily amount of worm's cast was 1.42 g in *E. andrei* and 0.40 g in *A. agrestis*. In the organic waste material, the cast of *E. andrei* was 0.78~0.83 g and the cast of *A. agrestis* have not been collected because all earthworms died after the treatment. The heavy metals treated in the upland soil were evaluated the impact of the worm excretion. With the *E. andrei*, the cast production was decreased 0.1~0.8 times in zinc, 0.2~0.5 times in copper,

and 0.1~0.7 times in cadmium compared to the control treatment according to the levels of concentration. With *A. agrestis*, the cast amount was decreased 0.3~1.1 times in zinc, 0.2~0.3 times in copper, and 0.1~2.1 times in cadmium, respectively. The changes of pollutant contents before and after the eating of the organic wastes with *E. andrei* were studied. In the treatment of the Alcohol Fermentation Processing Sludge and the Fruit Juice Processing Sludge, heavy metal content of the cast was increased 0.7~53.3% compared to the sludge materials. PAHs contents were decreased 50.1% in the cast of the Alcohol Fermentation Processing Sludge and 36.6% in the cast of the Fruit Juice Processing Sludge, respectively.

**CONCLUSION:** In conclusion, although the *A. agrestis* was bigger than *E. andrei* in size and weight, the cast amount of *A. agrestis* was small. The two species of earthworm was less excretion with high concentration of heavy metals. While the heavy metals such as zinc, copper, and cadmium were considerably accumulated in the cast, the total compounds, PAHs were fairly decomposed. There results would provide us for restoring contaminated soil and cleaning organic wastes.

**Key words:** Earthworm, Heavy metals, Organic waste, PAHs, Soil

\*Corresponding author: Young-Eun Na  
Phone: +82-63-238-0756; Fax: +82-63-238-3823;  
E-mail: [youngman99@korea.kr](mailto:youngman99@korea.kr)



Fig. 1. Earthworm species; *Anynthas agrestis* (top), *Eisenia andrei* (bottom).

Table 1. Chemical properties of the upland soil

pH (1:5)	O.M (g kg <sup>-1</sup> )	Av.P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Cations (cmol kg <sup>-1</sup> )			Heavy metals (mg kg <sup>-1</sup> )			Texture
			Ca	Mg	K	Zn	Cu	Cd	
5.60	10	16.87	0.59	0.12	0.12	0.22	0.24	ND	Sandy Loam

서론

농업생태계 내에서 유해한 오염물질의 유입증가는 국민건강과 관련하여 사회적 문제로 대두되고 있으며 농산물 안전성에 관련된 여러 국제기구에서도 각종 오염물질에 대한 규제기준을 강화하고 있는 추세이다(Holmgren *et al.*, 1993; Smith, 1996; Vulava *et al.*, 1997).

유기성폐기물의 재활용에 대한 연구는 1970년대 이전까지 주로 인축분뇨를 대상으로 작물의 영양원과 토양개량제로서의 가치를 평가하고 적정 사용기준을 설정하였고 그 후 1980년대의 화학비료 남용에 따른 토양 비옥도 저하문제가 대두되고 토양 유기물의 중요성이 부각되어 유기성폐기물의 농업적 활용에 대한 관심이 커지면서 유기성폐기물 시용에 따른 토양환경 변화를 평가하기 위한 연구가 활발하게 수행되었다. 1990년대 이후부터는 폐기물의 처리가 사회문제화 되어 폐기물 처리개념에서 퇴비화가 정책적으로 장려되었다(Lerch *et al.*, 1990; Hernandez *et al.*, 1997; Dar, 1997; Elsgaard *et al.*, 2001; Petersen, 2001). 유기성폐기물은 생산품의 종류와 제조공정 등에 따라 중금속 변이가 크고 함량이 높아 농경지에 사용하는데 제약요인이 되는 것으로 보고되었다(Smith *et al.*, 1998). 이런 문제를 해결하기 위하여 지렁이 사육을 통한 슬러지 및 오염물질을 처리하는 동시에 지렁이도 양식할 수 있는 서로 상호보완 될 수 있는 Vermicomposting이라는 개념이 도입되는 계기가 마련되었다. 그러나 지렁이 종류에 따른 분변토량의 차이, 중금속이 지렁이에 미치는 영향, 지렁이 활동에 의한 오염물질의 변화 특성을 대한 연구보고는 부족한 실정이다.

따라서 발토양과 유기성폐기물에서 지렁이의 분변토 발생량 및 오염물질(중금속, PAHs)의 변화 특성을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

지렁이 종류

실험에 사용된 지렁이는 2종류이다(Fig. 1). 낙시지렁이과(Lumbricidae)에 속하는 붉은줄지렁이(*Eisenia andrei*)와 지렁이과(Megascolecidae)에 속하는 발지렁이(*Amyntas agrestis*)이다. 이 2종류의 지렁이는 생태형과 크기가 아주 달라서 대표종으로 선정했다. 붉은줄지렁이는 주로 퇴비더미와 토양 표층에서 서식하는 10 cm 정도의 크기인 반면에 발지렁이는 토양 심층에서 서식하는 25 cm 정도의 크기이다. 붉은줄지렁이는 제지슬러지 및 하수오니슬러지를 이용하여 국립농업과학원 지렁이양식장에서 지렁이 환대가 있고 체중이 300~600 mg인 개체를 선별하여 실험에 사용하였다. 발지렁이는 토종지렁이로써 휴경지 밭에서 환대가 있는 1,000~3,000 mg인 개체를 채집하여 사용하였다. 채집된 지렁이는 2주 동안 항온실(20±2℃)에서 적응시킨 후에 본 실험에 공식 생물로 사용하였다.

발토양과 유기성폐기물의 특성

발토양은 야산에 있는 토양시료를 채취하여 2 mm 체로 선별한 후 발토양을 분석하였다(Table 1). pH, 유기물, 양이온, 중금속의 함량이 적었고, 토성은 사양토였다. pH만 조절하여 사용하면 지렁이가 서식하고 섭식하는데 문제가 없는 것으로 판단했다.

유기성폐기물은 주정슬러지와 과즙슬러지를 각각 국내 공장에서 채취하여 분석하였다(Table 2). 주정슬러지와 과즙슬러지는 지렁이가 서식하고 섭식하기에 pH, 유기물, 질소, 인산, 가리 함량이 적정범위였으나, 중금속은 아연과 구리의 함량이 많은 것이 특징이었다.

Table 2. Chemical properties of the organic wastes

Wastes	pH (1:5)	OM (g kg <sup>-1</sup> )	T-N (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (g kg <sup>-1</sup> )	Heavy metals (mg kg <sup>-1</sup> )		
						Zn	Cu	Cd
Alcohol fermentation processing sludge	7.3	791	74.6	40.8	7.0	332.9	80.3	1.36
Fruit juice processing sludge	7.0	611	29.9	46.1	6.2	202.1	147.9	0.43

Table 3. Cast amount of earthworm species for 12 days in the upland soil

Species	Replication	Fresh wt. of individual (g)	Total of cast amount for 12 days (g)	Daily cast amount of individual (g)	Daily cast amount per fresh wt. (g g <sup>-1</sup> )
<i>Eisenia andrei</i>	1	0.33	5.91	0.49	1.48
	2	0.29	3.96	0.33	1.14
	3	0.33	4.50	0.38	1.14
	4	0.28	5.25	0.44	1.56
	5	0.44	9.02	0.75	1.71
	mean±SD		0.33±0.06	5.73±1.98	0.48±0.17
<i>Amynta agrestis</i>	1	0.88	2.63	0.22	0.25
	2	0.85	2.29	0.19	0.22
	3	0.79	4.19	0.35	0.44
	4	0.29	2.16	0.18	0.62
	5	0.99	5.49	0.46	0.46
	mean±SD		0.76±0.27	3.4±1.44	0.28±0.12

### 분변토 발생량 및 오염물질 분석

분변토의 발생량 및 중금속이 분변토 발생에 미치는 영향을 평가하기 위하여 발토양 90%에 피트모스 10%를 혼합하여 섞고, 증류수를 부어 토양수분 함량이 50%가 되게 만들었으며, pH는 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)을 첨가하여 6.0±0.5 범위가 되도록 조절하여 만들었다. 또한 중금속 함량에 따라 분변토 발생량을 조사하기 위하여 아연은 zinc nitrate(Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), 구리는 copper nitrate(Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O), 카드뮴은 cadmium nitrate(Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O)을 시약으로 구입하여 발토양에 지령이 치사에 영향 없는 무영양농도(Spurgeon, 1994)와 무영양농도의 2, 4, 8배를 감량하여 발토양과 혼합한 후 지령이 3마리를 각각 처리하였고, 자세한 절차 및 실험방법은 Na(2000) 문헌을 따라 했다.

### 오염물질(중금속, 유기화합물) 분석

중금속은 마이크로웨이브 전처리 장비(Mars-X, CEM)를 이용하여 시료 0.5 g을 마이크로웨이브 vessel에 취하여 분해액인 왕수(HNO<sub>3</sub>:HCl=1:3) 12 ml를 가한 다음 미국 EPA-method 3051a법에 근거한 분해조건으로 분해하였고, 분해된 시료는 초순수를 가하여 50 ml로 채워 분석용 시료로 사용하였다. 수용성 화학성분 및 중금속 분석은 폐기물공정시험법인 용출시험법을 응용하여 증류수로 침출한 후 여과하여 분석용 시료로 사용하였다.

PAHs는 US EPA의 우선감시물질 목록에 포함된 14가지 PAHs (Naphthalene, Acenaphthene, Fluorine, Phenanthrene,

Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo(a)anthracene, Chrysene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Dibenzo(a,h)anthracene, Bbenzo(g,h,i)perylene)를 분석하였다. 시료 5 g을 무수황산나트륨 20~50 g과 혼합하여 시료 내 수분이 제거된 상태에서 원통여과지에 넣고 Soxhlet에 장착하여 열판에서 16시간 동안 추출하였다. 이 때 사용된 추출용매는 dichloromethane 200 mL이었다 (US EPA, 1994).

## 결과 및 고찰

### 지령이 종류에 따른 분변토 발생량 비교

발토양에서 붉은줄지령이 한 마리가 하루에 0.33~0.75 g의 분변토를 배설했고, 발지령이는 0.18~0.46 g의 분변토를 만들어 냈다(Table 3). 붉은줄지령이 생체무게 1 g에 평균 1.41 g의 분변토를 만든 반면에 발지령이는 1 g에 평균 0.40 g의 분변토를 만드는 것으로 분석되었다. 붉은줄지령이는 자기 체중보다 1.40배 많은 분변토를 만들었고, 발지령이는 0.4배로 적게 분변토를 만들었다. Choi(1992)는 붉은지령이(*rumbricus rubellus*)의 생체무게 1 g에 0.18 g의 분변토가 발생한다고 보고했다. 이것은 붉은줄지령이보다 7.8배 적고, 발지령이보다 2.2배 적은 분변토 량이다. 이와 같이 분변토 량이 크게 차이가 나는 것은 지령이 종류와 먹이가 각각 서로 달랐기 때문이라고 판단된다.

유기성폐기물에서 붉은줄지령이 한 마리가 하루에 0.25

Table 4. Cast amount of earthworm species for 12 days in the organic wastes

Species	Replication	Fresh wt. of individual (g)	Total of cast amount for 12 days (g)	Daily cast amount of individual (g)	Daily cast amount per fresh wt. (g g <sup>-1</sup> )
Alcohol fermentation processing sludge					
<i>Eisenia andrei</i>	1	0.43	4.03	0.34	0.78
	2	0.30	3.01	0.25	0.84
	3	0.33	2.96	0.25	0.75
	4	0.35	3.12	0.26	0.74
	5	0.41	3.90	0.33	0.79
	mean±SD	0.36±0.05	3.40±0.52	0.28±0.04	0.78±0.04
	Fruit sewage sludge				
<i>Eisenia andrei</i>	1	0.35	3.80	0.32	0.90
	2	0.46	4.32	0.36	0.78
	3	0.36	3.54	0.30	0.82
	4	0.31	3.09	0.26	0.83
	5	0.40	3.94	0.33	0.82
	mean±SD	0.38±0.06	3.74±0.46	0.31±0.04	0.83±0.04
	<i>Amynta agrestis</i>	0*			

\*The casts have not been collected because all earthworms were died after the treatment.

Table 5. Effect of earthworm's cast amount with levels of heavy metals in the upland soil

Species	Zn		Cu		Cd	
	Levels of treatment. (mg kg <sup>-1</sup> )	Daily cast amount per fresh wt. (g g <sup>-1</sup> )	Levels of treatment. (mg kg <sup>-1</sup> )	Daily cast amount per fresh wt. (g g <sup>-1</sup> )	Levels of treatment. (mg kg <sup>-1</sup> )	Daily cast amount per fresh wt. (g g <sup>-1</sup> )
<i>Eisenia andrei</i>	36.1	1.15±0.15	26.3	0.66±0.09	37.5	0.97±0.08
	72.3	0.74±0.06	52.5	0.22±0.02	75.0	0.50±0.05
	144.5	0.59±0.12	105.0	0*	150.0	0.19±0.01
	289.0	0.07±0.05	210.0	0*	300.0	0.05±0.03
	Control	1.39±0.22				
<i>Amynta agrestis</i>	36.1	0.36±0.04	26.3	0.30±0.05	37.5	0.78±0.13
	72.3	0.42±0.09	52.5	0.20±0.06	75.0	0.43±0.07
	144.5	0.20±0.06	105.0	0*	150.0	0.02±0.02
	289.0	0.13±0.04	210.0	0*	300.0	0*
	Control	0.38±0.12				

\*The casts have not been collected because all earthworms were died after the treatment.

~0.36 g의 분변토를 배설했고, 발지렁이는 모두 죽어서 분변토를 얻지 못했다(Table 4). 붉은줄지렁이 생체무게 1 g에 주정슬러지 분변토 0.78 g, 과즙슬러지 분변토 0.83 g를 각각 만드는 것으로 분석되었다. 이는 붉은줄지렁이 체중보다 적게 분변토를 만들었다. 이것은 발토양에서 자기 체중보다 많이 만든 것과는 대조적이다. 붉은줄지렁이는 분변토를 적게 만들고 발지렁이는 모두 죽은 이유는 유기성폐기물의 오염물질들이 영향을 미친 것으로 생각된다.

#### 중금속이 분변토 발생량에 미치는 영향

발토양에 중금속을 농도별로 처리한 후 2종류의 지렁이 분변토 발생량을 조사했다(Table 5). 아연 처리구의 분변토 발생량은 붉은줄지렁이 0.07~1.15 g, 발지렁이 0.13~0.42 g 이었고 대조구와 비교하면 중금속 농도가 높을수록 대체로 분변토 발생량이 적었다. 구리는 붉은줄지렁이 0.22~0.66 g, 발지렁이 0.20~0.30 g이었고 무영양농도의 2배(105 mg kg<sup>-1</sup>)와 4배(210 mg kg<sup>-1</sup>)를 감량한 처리구에서는 지렁이가 모두 죽어서 분변토를 조사하지 못했다. 카드뮴은 붉은줄지렁

**Table 6. Change of heavy metal content before and after the eating of organic wastes with earthworm, *Eisenia andrei***

Organic wastes	Heavy metal content (mg kg <sup>-1</sup> )					
	Alcohol fermentation processing sludge			Fruit juice processing sludge		
	Zn	Cu	Cd	Zn	Cu	Cd
Before the treatment (materials)	332.9	80.3	1.36	202.1	147.9	0.52
After the treatment (cast)	410.8	123.1	1.63	250.6	148.9	0.67
Ratio (A%)	23.4	53.3	21.3	24.0	0.7	29.9

**Table 7. Change of PAHs content before and after the eating of organic wastes with earthworm, *Eisenia andrei***

Compounds	PAHs content(ug kg <sup>-1</sup> )					
	Alcohol fermentation processing sludge			Fruit juice processing sludge		
	Before the tr. (materials)	After the tr. (Cast)	Ratio (%)	Before the tr. (materials)	After the tr. (Cast)	Ratio (%)
Naphthalene	63.5	70.8	-11.5	99.9	38.1	+61.9
Acenaphthene	7.3	4.4	+39.7	10.3	4.3	+58.3
Fluorene	183.7	60.7	+67.0	242.1	117.6	+51.4
Phenanthrene	425.1	13.7	+96.8	974.2	386.4	+60.3
Anthracene	45.3	n.d.*	n.d.*	53.9	17.5	+67.5
Fluoroanthene	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*	n.d.*
Pyrene	n.d.*	97.7	n.d.*	82.5	83.4	-1.1
Benzo(a)anthracene	13.8	21.1	-52.9	9.2	57.4	-523.9
Chrysene	116.6	32.5	+72.1	63.8	227.9	-257.2
Benzo(b)fluoroanthene	17.3	20.1	-16.2	7.8	22.6	-189.7
Benzo(k)fluoroanthene	7.3	5.1	+30.1	5.4	13.6	-151.9
Benzo(a)pyrene	8.4	10.4	-23.8	10.5	19.9	-89.5
Dibenzo(a,h)anthracene	22.5	19.3	+14.2	15.4	30.7	-99.4
Benzo(g,h,i)perylene	152.1	182.0	-19.7	109.3	166.2	-52.1
Total	1465.2	731.0	+50.1	2248.8	1424.9	+36.8

\*Non detected

이 0.05~0.97 g으로 대조구보다 농도가 높을수록 분변토 발생량이 적었고, 발지렁이 0.02~0.78 g으로 대조구(0.38 g)보다 무영향농도 2배 감량(150 mg kg<sup>-1</sup>)에서 0.02 g으로 현저히 적었으나, 4배 감량과 8배 감량 처리구에서는 오히려 많은 분변토가 발생했고 무영향농도에서는 지렁이가 모두 죽었다. Spurgeon *et al.* (1994)은 붉은줄지렁이와 비슷한 종류인 줄지렁이(*Eisenia fetida*)의 치사에 영향을 없는 농도 즉 무영향농도(NOEC, no observed effect concentrations)가 아연 289, 구리 210, 카드뮴 300 mg kg<sup>-1</sup>로 보고하였지만, 구리의 무영향농도와 2배 감량 농도(105 mg kg<sup>-1</sup>)에서 붉은줄지렁이와 발지렁이가 모두 죽었고 카드뮴의 무영향농도에서 발지렁이가 모두 죽었다. 2종류의 지렁이 모두 중금속 농도

높을수록 분변토 발생량이 적은 것은 중금속이 지렁이에게 악영향을 미치는 것으로 판단된다. 지렁이가 적게 먹고 적게 배설하는 것은 다양한 원인이 있을 수 있으므로 피부자극, 섭식 장애, 장내 미생물 활성화 등 어떤 부분에 영향을 미쳤는지는 더 면밀한 실험이 필요하다고 본다.

#### 지렁이 섭식 전후의 중금속과 PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) 함량 변화

유기성폐기물(주정슬러지, 과즙슬러지)에 대한 붉은줄지렁이의 섭식 전후의 중금속(Zn, Cu, Cd) 함량의 변화를 조사했다(Table 6). Table 4에서 조사된 것처럼 발지렁이는 유기성폐기물에서 모두 죽기 때문에 제외했다. 붉은줄지렁이 분변

토의 중금속 함량은 지렁이가 먹은 슬러지보다 0.7~53.3%까지 더 증가했다. 주정슬러지에서는 아연 23.4%, 구리 53.3%, 카드뮴 21.3%가 증가했고, 과즙슬러지는 아연 24%, 구리 0.7%, 카드뮴 29.9%가 증가했다.

PAHs의 함량 변화는 Table 7과 같다. 주정슬러지에서 14종류 유기화합물의 총량은  $1,465 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이었으나 붉은줄지렁이가 섭식하고 배설한 분변토에서는  $731 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로서 50.1%가 감소했다. 과즙슬러지도  $2,249 \mu\text{g kg}^{-1}$ 에서  $1,423 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 36.6%가 감소했다. 두 종류의 슬러지에서 지렁이의 섭식후에 분해되어 함량이 적어진 유기화합물은 Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene, Anthracene로 4종류였다. 반대로 지렁이의 섭식후에 농축되어 함량이 많아진 유기화합물은 Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene으로 4종류였다. Nam *et al.* (2002)은 우리나라 하수슬러지의 총 PAHs 함량이  $142\sim 20,102 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 평균  $3,289 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 보고한 것과 비교하면 주정슬러지와 과즙슬러지는 우리나라 평균치보다 상당히 적은 함량을 가지고 있었다. 지렁이에 의해서 PAHs가 분해되거나 농축되는 현상과 분해에 대한 기작 구명은 추후 더 면밀한 실험이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 요 약

지렁이는 토양의 물리화학적 변화에 중요한 역할을 한다. 본 연구는 발토양과 유기성폐기물에서 지렁이의 분변토 발생량 및 오염물질(중금속, PAHs)의 변화 특성을 밝히고자 하였다. 지렁이 종류에 따라 분변토 발생량을 비교하면, 발토양에서는 붉은줄지렁이 생체무게 1 g에 평균 1.41 g의 분변토를 만든 반면에 발지렁이는 1 g에 평균 0.40 g의 분변토를 만들었고, 유기성폐기물에서는 붉은줄지렁이 생체무게 1 g에 주정슬러지 분변토 0.78 g, 과즙슬러지 분변토 0.83 g를 각각 만든 반면에 발지렁이는 모두 죽어서 분변토를 얻지 못했다. 중금속이 분변토 발생량에 미치는 영향을 조사한 결과, 붉은지렁이의 분변토량은 대조구와 비교해서 아연이 0.1~0.8배, 구리가 0.2~0.5배, 카드뮴이 0.1~0.7배 감소했다. 발지렁이의 분변토량은 아연이 0.3~1.1배, 구리가 0.2~0.3배, 카드뮴이 0.1~2.1배 감소했다. 지렁이 섭식 전후의 중금속과 PAHs의 함량 변화를 분석한 결과, 유기성폐기물(주정슬러지, 과즙슬러지)에 대한 붉은줄지렁이 분변토의 중금속(Zn, Cu, Cd) 함량은 지렁이가 섭식전 슬러지보다 0.7~53.3%까지 증가했다. PAHs의 함량은 주정슬러지에서  $1,465 \mu\text{g kg}^{-1}$ 에서  $731 \mu\text{g kg}^{-1}$ 로 50.1%가 감소했다. 과즙슬러지도  $2,249 \mu\text{g kg}^{-1}$ 에서  $1,423 \mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 36.6%가 감소했다. 따라서 이러한 결과들은 향후 유기성폐기물 처리 및 오염토양 복원에 있어서 지렁이 종류 선택 및 처리 방법에 대한 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

## Acknowledgment

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology

Development (Project No. PJ008608)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Dar, G. H. (1997). Impact of lead and sewage sludge on soil microbial biomass and carbon and nitrogen mineralization. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(2), 234-240.
- Elsgaard, L., Petersen, S. O., & Deboz, K. (2001). Effects and risk assessment of linear alkylbenzene sulfonates in agricultural soil. 2. Effects on soil microbiology as influenced by sewage sludge and incubation time. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(8), 1664-1672.
- Hernández, T., Moreno, J. I., & Costa, F. (1991). Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Science and Plant Nutrition*, 37(2), 201-210.
- Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Chaney, R. L., & Daniels, R. B. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *Journal of Environmental Quality*, 22(2), 335-348.
- Lerch, R. N., Barbarick, K. A., Westfall, D. G., Follett, R. H., McBride, T. M., & Owen, W. F. (1990). Sustainable rates of sewage sludge for dryland winter wheat production II. Production and income. *Journal of Production Agriculture*, 3(1), 66-71.
- Na, Y. E., Han, M. S., Lee, S. B., Kim, S. G., & Park, H. M., (2000). Establishment of disposing method for dairy cow manure by vermiculture. *Korean Journal of Soil Zoology*, 5(2), 125-131.
- Nam, J. J., Lee, S. H., Kwon, S. I., Hong, S. Y., Lim, D. K., Koh, M. H., & Song, B. H. (2004). Toxicity assessment of the soil by bioassay following a long-term application of sewage sludge. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 23(4), 258-263.
- Petersen, J. (2001, March). Review of Danish field experiments with sewage sludge and composted household refuse as a fertilizer source. (ed : Dhir, et al.), pp. 175-189. *Recycling and Reuse of Sewage Sludge. Proceedings of the International Symposium at University of Dundee, Scotland, UK.*
- Smith, S. R. (1996). *Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environment*, WRC Marlow Buckinghamshire UK.
- Spurgeon, D. J., Hopkin, S. P., & Jones, D. T. (1994). Effects of cadmium, copper, lead and zinc on growth,

reproduction and survival of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny): assessing the environmental impact of point-source metal contamination in terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 84(2), 123-130.

Vulava, V. M., Torrents, A., & James, B. R. (1997). Copper solubility in Myersville B horizon soil in the presence of DTPA. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 44-52.