

Vermicomposting에 의한 농산부산물의 처리

사과박과 분뇨 슬러지의 혼합비율이 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향*

이용세** · 이주삼*** · 조익환** · 전하준** · 이영옥**** · 김민**
 대구대학교 자연자원대학** · 연세대학교 생물자원공학과*** · 대구대학교 생물학과****

Treatment of Agricultural By-Products by Vermicomposting
Effects of Mixture Ratio of Apple Pomace and Nightsoil Sludge on the Growth of
Earthworm(*Eisenia Foetida*) and the Chemical Composition of Worm Casts*

Lee Yong-Se** · Lee Ju-Sam*** · Jo Ik-Hwan** · Jun Ha-Joon** · Lee Yong-Ok**** · Kim Min**
 College of Natural Resources, Taegu University**
 Dept. of Biological Resources & Technology, Yonsei University***
 Dept. of Life Science, Taegu University****

SUMMARY

In order to investigate the possibility of treating the different mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge by vermicomposting was performed and the stability of worm casts, and availability of worm casts as plant growth media was evaluated by the analysis of chemical composition.

The results were obtained as follows ;

1. The value of cast production at 100% apple pomace treatment was higher than those of other mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge.
2. The highest values of increasing rate and reproductive efficiency were obtained at mixture ratios of 60% apple pomace with 40% nightsoil sludge.
3. The value of increasing rate at 100% nightsoil sludge treatment was lower than those of other mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge.
4. Organic matter, available inorganic nutrients and stability of worm casts showed

high values in all treatments. It means that worm casts are an excellent plant growth media source with a high chemical composition and their stability

Key words : apple pomace, nightsoil sludge, vermicomposting, worm cast

I. 서 론

현대 산업사회에 있어서 생태계의 파괴원인 중의 하나는 도시와 농촌간에 물질순환의 차단에 있다고 생각된다. 즉, 급속한 산업화에 따라 대량으로 발생하는 농산부산물과 인구증가와 도시로의 인구집중 현상에 비례하여 발생량이 증가되는 분뇨슬러지 등과 같은 유기성 자원들이 농경지에 환원되지 못하고 폐기물이라는 이름으로 매립 처분되어, 농경지에 부족한 무기양분을 거의 전량 화학비료에 의존하게 된 것이 높은 생산성과 효율만을 추구한 현대 농업의 문제점이라고 할 수 있다. 따라서 자원으로 재활용될 수 있는 유기성 폐기물을 가능한 한 모두 토양으로 환원시켜 토양의 비옥도를 높이는 것이 지속 가능한 농업의 유지를 가능케 하여 생태계의 보전에 기여하는 일이라고 생각된다.

특히 원예산업 중에서도 경제성이 가장 높다고 알려진 육묘산업에 있어서 상토의 거의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 대량으로 발생하는 유기성 폐자원을 재활용한 양질의 상토의 생산은 단위 면적 당 육묘의 생산성을 높여 육묘산업의 국제 경쟁력을 강화시키는데 크게 기여할 것으로 생각된다.

우리 나라에서의 사과 생산량은 1997년도 75만 톤이었던 것이 1998년에는 50만톤으로 감소하였지만, 이용형태는 직접소비에서 간접소비(가공)로의 이행과정에 있어 가공 농산부산물로서 비가식 부위인 사과박의 생산량은 매년 증가되고 있는 실정이다(농업통계, 1999).

사과박은 수분함량이 높아서 여름철에 발효되기 쉽고, 발효에 의한 알코올의 생성비율이 높으며 단백질 함량과 pH가 낮아서 그 동안 퇴비가 가장 보편적인 재활용 방안이었다(이 등, 1999). 그러나 최근들어 건조와 silage 조제 등의 가공방법을 통하여 반추동물의 조사료 자원으로 활용가능성이 높다는 것이 입증되었다(조 등, 1997 ; 조 등, 1999).

또한 사과박의 재활용 방안의 하나로서 토양생물의 분해와 생산능력을 이용한 vermicomposting을 통하여 식물 생육에 필요한 양질의 상토를 생산할 수 있다. 즉, vermicomposting이란 유기성 폐기물을 지렁이의 먹이로 이용하여 처리하는 방법(이 등, 1992 ; 이, 1995)으로, 처리과정에서 대량으로 생산되는 분립은 상토로, 지렁이는 동물성 단백질 사료자원으로 활용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 특히 vermicomposting을 통한 사과박의 처리는 먹이의 섭취량과 난포 생산성을 높일 수는 있지만 증체속도가 낮다는 단점이 있다(조 등, 1996). 이를 충족시키기 위해서는 부족한 질소를 보충하여야 하는데, 질소원으로는 질소함량이 높아서 vermicomposting에

* 본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 대구대학교 농산물저장·가공 및 산업화 연구센터의 지원에 의한 것임.

알맞는 탄질율을 나타내고, 분립생산량이 많으며, 안전성이 높고 대량으로 생산되며 완전한 재 활용이 가능한 분뇨슬러지(이와 이, 1996)가 적당하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율의 차이가 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향을 검토하여, vermicomposting에 알맞는 먹이의 혼합비율을 추정하고, 상토로서의 분립의 안전성과 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험은 1999년 10월부터 11월까지 2개월간 실시되었다.

공시 지렁이는 엽토종인 줄무늬 지렁이(*Eisenia Foetida*)를 사용하였다. 공시시료는 대구의 사과즙 생산업체에서 생산된 사과박과 양평 분뇨처리장에서 배출된 분뇨 슬러지를 사용하였다. 사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율은 각각 100+0, 60+40, 60+40, 0+100%의 4 수준으로 하여 15×15×15cm 크기의 사육상자에 혼합비율이 다른 먹이를 생중으로 1kg씩 충전한 후, 생체중이 거의 같은 성체 지렁이 25마리씩을 사육상자에 방사하여 1개월간 사육하였다.

조사내용은 생존율, 증체량, 난포수, 산자수를 조사한 후, 사육상자내의 고형물을 건조기내에서 80℃, 48시간 건조하여 분립생산량(<2mm)과 잔식량(>2mm)을 측정하였다.

또한 vermicomposting을 위한 공시시료의 안전성 평가를 위하여 중금속 함량과 이화학적 조성을 분석하였고, 그 결과는 <표 1>과 같다.

Table 1. Physico-chemical analysis data of the apple pomace and nightsoil sludge used before the experiment.

	Apple pomace	Nightsoil sludge
Moisture(%)	72.3	58.5
Total solids(TS, %)	27.7	41.5
Volatile solid(VS, %)	(62.6)	(67.7)
Fixed solid(FS, %)	(37.4)	(32.3)
Total Nitrogen(TN, %)	2.79	4.23
NH ₃ -N(mg/g)	-	9.13
C/N ratio	22.4	6.64
pH	3.30	5.60
Heavy metals(mg/kg)		
As	1.24	3.04
Cd	0.05	0.64
Cr	0.95	7.55
Cu	1.14	93.33
Pb	10.74	9.27
Hg	0.11	1.22

총 고형분은 80℃에서 48 시간 건조한 후 측정된 건물중으로 하였고, 건물을 550℃의 회화로에서 3시간 태운 후 휘발성 고형분(VS)과 고정 고형분(FS)의 값을 구하였다.

전 질소함량(TN)은 micro-kjeldahl법(AOAC, 1980)으로, 암모니아태 질소는 Okuda와 Fujii (1966)의 방법, C/N율은 총 탄소함량과 전질소함량의 비율로 구하였으며, pH는 이온전극법으로 측정하였다. 중금속 중에서 수은(Hg)은 Mercury Analyzer(M-6000A)으로 분석하였고, 그 밖의 중금속은 ICP-MS(Varian, Ultramass 700)로 측정하였다. 또한 분립의 화학적 분석방법은 토양화학분석법(농진청, 1988)에 준하였다.

III. 결 과

1. 지렁이의 생육결과에 대한 분산분석

사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율의 차이에 따른 지렁이의 생육결과에 대한 분산분석은 <표 2>와 같다.

Table 2. Analysis of variance for the values on measured growth characteristics of the earthworm in different mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge.

SV	df	Mean of Squares							
		SR	FW ₁	FW ₂	IR	NC	CA	CA/W	RM
Treatment	3	192.0	2.47	83318.8***	3.92***	952.6**	3981.6***	6.03***	11620.1**
Error	11	76.0	2.01	2316.6	0.16	112.2	226.2	0.34	812.8

** and *** are significantly differences at 1% and 0.1% level, respectively.

SR : survival rate(%), FW₁ : mean fresh weight(mg) of adult worm at initial time, FW₂ : mean fresh weight of adult worm at final time, IR : increasing rate(Ln FW₂-Ln FW₁/t₂-t₁×100), NC : number of cocoons, CA : dry weight of cast(g, <2.0mm), CA/W : dry weight of cast per worm(g) and RM : residual matter(g, >2.0mm).

생존율(SR)과 실험 개시시의 평균 생체중(FW₁)은 혼합비율에 따라서 유의성이 인정되지 않았다. 그러나 실험 종료시의 평균 생체중(FW₂), 증체속도(IR), 분립생산량(CA), 마리당 분립생산량(CA/W)은 각각 0.1% 수준에서 유의성이 인정되었고, 난포수(NC)와 잔식량(RM)은 1% 수준에서 유의성이 인정되었다.

2. 지렁이의 생육결과

사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율의 차이에 따른 지렁이의 생육결과를 나타낸 것이 <표 3>이다.

생존율(SR)과 실험 개시시의 평균 생체중(FW₁)은 혼합비율의 차이에 따라서 유의한 차이가 인정되지 않았다. 그러나 실험 종료시의 평균 생체중(FW₂)과 증체속도(IR)는 분뇨슬러지 100% 구에서 유의하게 낮아서 각각 350.5mg과 0.32를 나타내었다. 난포수(NC)에서는 사과박 60%+

분뇨슬러지 40% 혼합비율에서 38.0개를 나타내어, 다른 혼합비율의 난포수보다 유의하게 많았다. 분립생산량(CA)은 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라서 낮아지는 경향을 나타내어 사과박 100% 구가 다른 혼합비율보다 유의하게 많은 112.0g이었고, 마리당 분립생산량(CA/W)도 같은 경향을 나타내었다. 또한 잔식량(RM)은 사과박 100% 구에서 유의하게 적은 222.3g을 나타내었고, 다른 혼합비율간에서는 유의한 차이가 인정되지 않았다.

Table 3. The values on measured growth characteristics of earthworm in different mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge.

Mixture ratios of A*+N**(%)	SR	FW ₁	FW ₂	IR	NC	CA	CA/W	RW
100 + 0	100.0 ^a	312.7 ^a	629.3 ^a	2.33 ^a	2.33 ^b	112.0 ^a	4.48 ^a	222.3 ^b
60 + 40	100.0 ^a	311.5 ^a	714.5 ^a	2.76 ^a	38.0 ^a	65.7 ^b	2.63 ^b	362.7 ^a
40 + 60	100.0 ^a	311.1 ^a	684.9 ^a	2.63 ^a	5.67 ^b	46.3 ^{bc}	1.85 ^{bc}	315.7 ^a
0 + 100	84.0 ^a	312.9 ^a	350.5 ^b	0.32 ^b	0 ^b	27.0 ^c	1.20 ^c	343.7 ^a

A* : apple pomace and N** : nightsoil sludge

Mean with the same letter are not significantly different at 5% level by Duncan's Multiple Range Test.

3. 분립의 화학적 조성

사과박과 분뇨슬러지 혼합비율의 차이에 따른 지렁이 분립의 화학적 조성은 <표 4>와 같다.

Table 4. Chemical analysis data of worm casts in different mixture ratios of apple pomace and nightsoil sludge.

Chemical composition (DM basis)	Mixture ratios(%) of A*+N**			
	100+0	60+40	40+60	0+100
Moisture(%)	2.58	1.84	3.76	2.65
Organic matter(%)	57.43	49.14	45.72	42.18
Total Nitrogen(TN, %)	2.42	2.49	3.36	3.78
Total carbon(%)	49.64	47.65	45.67	41.05
C/N ratio(%)	20.51	19.14	13.59	10.86
NaCl(%)	0	0	0	0
K ₂ O(%)	0.86	0.26	0.20	0.16
P ₂ O ₅ (%)	0.86	3.41	4.42	4.65
Heavy metals(mg/kg)				
As	2.29	5.02	2.52	2.68
Cd	0	0.35	0.72	1.22
Cr	13.31	72.08	42.86	57.88
Cu	10.57	169.03	250.18	264.35
Hg	0	0	0	0
Pb	10.57	10.61	61.47	75.43

A* : apple pomace and N** : nightsoil sludge

분립의 유기물 함량은 사과박 100%구에서 가장 높은 57.43%를 나타내었고 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라서 낮아졌다. 전 질소함량은 사과박 100%구가 2.42%였으나, 분뇨슬러지 100%구는 3.78%로 가장 높았다. 총 탄소함량은 사과박 100%구에서 가장 높은 49.64%를 나타내었지만, 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라서 총 탄소함량은 낮아져 분뇨슬러비 100%구에서는 41.05%를 나타내었다. 탄질율은 사과박 100%에서 20.51이었으나 분뇨슬러지 100%구에서는 10.86으로 분뇨슬러비의 혼합비율이 높아짐에 따라 낮아졌다. 칼리함량은 사과박 100%구에서 가장 높은 0.86%였으나 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라서 낮아졌다. 인함량은 칼리함량과 반대의 경향을 나타내어 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라 증가되었다.

분립 중의 중금속함량에서 비소(As)함량은 혼합비율에 따라서 큰 차이가 인정되지 않았다. 카드뮴(Cd)함량은 사과박 100%구에서는 인정되지 않았고, 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라 증가되어 분뇨슬러지 100%구에서 가장 높은 1.22mg/kg이었다. 크롬(Cr)함량은 혼합비율에 따라서 13.31-72.08mg/kg의 범위를 나타내었고, 구리(Cu) 함량은 사과박 100구에서는 10.57mg/kg으로 낮았으나 분뇨슬러지의 혼합비율이 높아짐에 따라 급격히 증가되었다.

납(Pb)함량은 사과박 100%구와 분뇨슬러지 40% 혼합비율에서는 각각 10.57mg/kg과 10.61mg/kg이었지만, 분뇨슬러지 60% 혼합비율과 100%구에서는 각각 61.47mg/kg과 75.43mg/kg으로 높은 함량을 나타내었다.

IV. 고 찰

효율적인 vermicomposting의 공정운용을 위해서 가장 중요한 것은 사육환경이며, 그 중에서도 생육과 증식 그리고 분립생산에 알맞은 먹이조건의 설정이 중요하다(이 등, 1992; Edwards, 1988). 즉, 적절한 먹이조건에서 생존율이 높아지고 증체속도가 빨라지며, 증식효율이 높아지고 먹이의 소화속도를 높여 분립생산량을 증가시킬 수 있기 때문이다.

그러나 vermicomposting에서 적절한 먹이 조건이란 어떠한 목적에서 공정을 운용하느냐에 따라서 다음과 같은 두 가지로 구분할 수 있다고 생각된다. 첫째는 생존율을 높이고 증식효율을 향상시킬 수 있는 먹이조건에서는 분립생산량이 많아지는 경향을 나타내므로 유기성 폐기물의 처리를 통한 분립생산을 목적으로 하는 경우에 응용될 수 있다고 생각되며, 두번째는 증체속도가 높은 먹이조건에서는 증식효율은 낮지만 단위 용적 당 개체의 생체량이 많아지는 경향을 나타내므로 지렁이의 현존량이 가장 많은 시기에 수확하여 동물성 단백질 자원으로 활용하는 경우라도 생각할 수 있다(Edwards, 1988; 이 등, 1992; 이와 이, 1996).

본 실험의 결과에서 사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율간에는 증체량, 증체속도, 난포수, 분립생산량 및 잔식량에서 1% 이상의 높은 유의성이 인정되어 혼합비율의 차이가 생존과 생육이

미치는 영향이 컸다는 것을 의미한다(표 2).

단위 시간 동안의 증체량을 나타내는 실험종료시의 평균 생체중(FW₂)은 분뇨슬러지 100%구보다 모든 사과박의 혼합비율에서 유의하게 많아서 사과박의 첨가가 지렁이의 생육을 촉진시킨 결과 증체속도(IR)도 높아졌다고 생각된다(표 3). 특히 사과박 100%구에서는 생존율(SR)과 증체속도(IR)가 높았고 분립생산량(CA)이 많았지만 난포수(NC)가 적었고, 사과박 60% 혼합비율에서는 생존율과 증체속도가 높았고 난포수(NC)가 다른 혼합비율보다 유의하게 많았지만 분립생산량은 상대적으로 적었다(표 3).

이와 같은 결과는 사과박 100%의 먹이조건에서 먹이의 소화량과 난포수가 가장 많았다는 조 등(1996)의 결과와는 다른 경향이었다. 또한 먹이 조건이 좋을 경우에는 증체속도 보다 증식효율을 향상시키며, 먹이조건이 나쁠 경우에는 증식효율은 낮아지지만 증체속도는 빨라진다고 한 이 등(1992)의 보고와 좋은 먹이조건에서 지렁이의 생육은 증식효율 의존적이며 나쁜 먹이 조건에서는 증체속도 의존적인 생육결과를 나타낸다고 한 이(1995)의 결과와 비교할 경우, 사과박 60%의 혼합비율은 증체속도와 증식효율의 두 가지 성장요인을 함께 충족시킨 적절한 먹이조건이었다고 할 수 있다. 그러나 증식효율은 난포수와 산자수를 포함하는 개념(이 등, 1993)이므로, 사육기간을 보다 길게 하여 정확한 증식효율을 검토할 필요가 있다고 생각된다. 따라서 분립생산량을 많게 할 경우에는 증체속도가 높았지만 증식효율이 낮았던 사과박 100% 조건이 유리하며, 지렁이의 생체량을 높이기 위해서는 증체속도와 증식효율이 높은 사과박 60%를 혼합한 먹이조건이 유리하다고 볼 수 있다(표 3).

특히 분뇨슬러지 100%구에서의 생존율(SR)은 다른 혼합비율과는 유의한 차이는 인정되지 않았지만 84%의 생존율을 나타내었고, 증체속도는 0.32g/hr에 불과하였으며, 난포생산이 인정되지 않았고 분립생산량이 유의하게 낮았던 것은, 전 질소함량이 높아서 탄질율이 지나치게 낮았던 것과 암모니아태 질소함량이 높았던 것이 지렁이 생육의 제한 요인으로 작용하였기 때문이라고 생각된다(표 1). 일반적으로 vermicomposting에 알맞는 탄질율은 20-30% 전후이며(이, 1995), 암모니아태 질소는 0.5mg/g 미만이기 때문에(Edwards, 1988), 분뇨슬러지를 자원으로 재활용하기 위해서는 암모니아태 질소함량이 생육의 제한요인으로 작용하지 않도록 충분한 부숙기간이 필요하다고 생각된다.

Vermicomposting의 최종산물인 지렁이의 분립은 입단구조로 되어 있고, 가용성 무기물 함량이 높아서 토양의 이화학적 성질을 개선시키는데 기여한다(Syers 등, 1979). 따라서 토양으로 환원할 경우 토양개량제와 유기질 비료원으로서의 유용성은 매우 높다고 알려져 있다(Reddy, 1983). 특히 분립은 근권환경을 개선시켜 식물체의 생육을 촉진시키는데 효과적인데(Edwards와 Lofty, 1980), 특히 뿌리의 건물분배율을 높이며(이와 유, 1993), 분립 중에는 식물생장 촉진물질이 함유되어 있어(Springett and Syers, 1978), 양질의 상토로서 분립의 유용성은 매우 높다고 생각된다. 따라서 상토로서 분립을 평가할 경우에 고려할 사항은 식물체의 생육에 대한 안전성이 보장되어야 하고, 유기물함량이 높아서 보수성이 뛰어나야 하며, 가능한

한 식물체의 생육을 촉진시킬 수 있는 무기양분이 충분해야 한다고 생각된다. 본 실험의 결과, 분립의 특성은 모든 혼합비율에서 유기물 함량은 40% 이상이었고, 전 질소함량은 2.42~3.78%, 탄질율은 10.86~20.51%, 칼리함량은 0.16~0.86%, 인산함량은 0.86~4.65%의 범위를 나타내었다(표 4). 또한 퇴비의 안전성의 지표가 되는 분립의 중금속 함량도 모든 항목에서 부산물퇴비의 중금속 허용치(퇴비관리법, 1996)보다 훨씬 낮아서 안전성도 높다고 판단된다(표 4). 이상의 결과에서 볼 때, vermicomposting에 의한 사과박의 처리과정에서 얻어지는 지렁이의 분립은 유기물 함량이 높고, 무기양분이 풍부하여 양분보전능이 높은 특징을 나타내는 양질의 상토라고 판단된다. 앞으로 분립 중의 내수성 입단의 비율, 공극량, 보수성 및 투수성 등과 같은 물리성에 대한 보다 자세한 조사연구를 통하여 상토로서의 분립의 활용 가능성을 더욱 확대할 필요가 있다고 생각된다.

V. 적 요

지렁이의 먹이로서 사과박과 분뇨슬러지의 혼합비율을 달리했을 때, 지렁이의 생육에 미치는 영향과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향을 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사과박 100% 조건에서 분립생산량은 다른 혼합비율보다 유의하게 많았다.
2. 사과박 60%와 분뇨슬러지 40% 혼합비율에서는 증체속도와 증식효율(난포수)이 높았다.
3. 분뇨슬러지 100% 조건에서 증체속도는 다른 혼합비율보다 유의하게 낮았다.
4. 분립은 모든 혼합비율에서 유기물 함량과 유효 양분 함량이 높았고 안전성이 인정되어 상토로서 효용성이 높다고 판단된다.

참고문헌

1. 농업통계. 1999. 농림부.
2. 비료관리법. 1996. 농림부.
3. 이영옥·조익환·이용세·전하준. 1999. 사과박 퇴비화에서의 미생물 군집의 천이와 효소 활성도의 변화. 한국유기성폐자원학회. 가을학술대회 논문집. pp.116~122.
4. 이주삼·정재춘·조익환. 1992. 제지 슬러지와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. 한국폐기물학회지 9(2) : 19~26.
5. 이주삼·김성진·조고영. 1993. Vermicomposting에 의한 우분의 처리-사육밀도가 지렁이의 생육과 증식에 미치는 영향 -. 한국유기성폐자원학회지 1(2) : 259~266.

6. 이주삼·유은희. 1993. 지렁이 분립과 토양의 혼합비율이 orchardgrass 유식물체의 생육에 미치는 영향. 한국유기성폐자원학회지 1(2) : 267~274.
7. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우분의 처리-먹이의 탄질율과 사육밀도가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 1(1) : 65~75.
8. 이주삼·이무춘. 1996. Vermicomposting에 의한 분뇨슬러지의 처리. 한국유기성폐자원학회지 4(2) : 35~45.
9. 조익환·이주삼·전하준. 1996. Vermicomposting에 의한 유기성 폐기물의 처리. 한국유기농업학회지 5(1) : 125~135.
10. 조익환·이성훈·김재홍·송해범·전하준. 1997. 농산부산물을 이용한 한국 재래산양의 사료개발에 관한 연구. 한국유기농업학회지 5(2) : 117~128.
11. 조익환·황보순·안종호·이주삼. 1999. 한국재래산양의 육성사료 개발을 위한 농산부산물 중 사과박과 미강의 이용. 한국영양사료학회지 23(4) : 327~334.
12. 토양화학분석법. 1988. 농업진흥청
13. AOAC. 1980. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. Washington D.C., U. S. A.
14. Edwards, C. A. and Lofty, J. R. 1980. The effect of direct and mineral cultivation on earthworm populations. J. Appl. Ecol. 19 : 723~734.
15. Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. In Earthworm in waste and environmental management, eds by C. A. Edwards and Neuhauser, E. F. pp.21~31. Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.
16. Okuda, H. and Hujii, S. 1966. Determination of blood ammonia by the spectrophotometric method. Saishin Igaku 21 : 622~627.
17. Reddy, M. V. 1983. Annual cast production by the megascoleid earthworm *Pheretima alexandri*(Bedard). Comp. Physiol. Ecol. 8 : 84~86.
18. Springett, J. A. and Syers, 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 Crosby, T. K. and Pottinger, R. P., Govenment Printers, Wellington.
19. Syers, J. K. A., Sharpley, N. and Keeney, D., R. 1979. Cycling of nitrogen by surface casting earthworm in a pasture ecosystem. Soil Bio. & Biochem. 11 : 181~185.