

한우분내에 인의 첨가가 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향

이주삼 · 이필원

연세대학교 문리대학 자연과학부

Effect of supplementing phosphorus to Korean cow manure on the growth and cast production of earthworm (*Eisenia foetida*)

Lee Ju-Sam and Lee Pil-Won

Division of Natural Sciences, College of Liberal Arts & Sciences, Yonsei University

Summary

This experiment was carried out to investigate the effect of supplementing phosphorus to Korean cow manure on the growth and cast production of earthworm(*Eisenia foetida*), and to estimate the optimal phosphorus level for the growth and cast production of earthworm and ratios of available phosphorus and calcium content of cast in optimal phosphorus levels. Phosphorus supplementing ratios to Korean native cow were 0, 1%, 2%, 4% and 8%, respectively. The volume of raising box was 3375cm³(15 × 15 × 15cm), and 500g of cow manure filled up to 10cm layer. Raising density was 90cm³ per worm during the experimental period(60 days).

The maximum fresh weight and cast production of earthworm were obtained at 2~4% and 1% levels of phosphorus supplementation to Korean native cow manure.

The total phosphorus and available phosphorus contents of earthworm tissues were not significant among in all treatments. There was a positive significantly differences between total phosphorus and available phosphorus of cast and residual matters.

Available phosphorus content of cast were ranged from 9.3mg/g to 17.3mg/g at 1~4% levels of phosphorus supplementation.

Ratios of available phosphorus and calcium contents of cast were 1.94~3.15:1 and 0.87~1.33:1 at 2~4% and 0~1% levels of phosphorus supplementation.

(Key words : Vermicomposting, Phosphorus, Earthworm, Manure)

서론

현재 우리 나라의 가축분뇨 발생량은 연간

약 4300만 톤으로 추정된다(축산기술연구소, 1997). 그러나 자원으로의 재활용율은 매우 낮은 실정으로 이의 효율적인 처리가 시급하

다고 생각된다. 가축 분을 급속히 안정화시킬 수 있고 처리산물을 안전하게 토양으로 환원시킬 경우, 토양의 이화학적 개선효과가 뛰어나다는 점에서 지렁이에 의한 퇴비화는 가축분의 재활용에 매우 유용한 생물학적 처리방법의 하나라고 생각된다.

지렁이에 의한 유기성 폐기물 퇴비화의 장점은 폐기물을 지렁이의 먹이로 이용하여 환경오염원을 감소시키고, 처리과정에서 유기성 폐기물을 급속히 안정화시킬 수 있으며, 대량으로 생산되는 지렁이와 분리를 동물성 단백질 자원과 토양 개량제 또는 상토재로 활용할 수 있다는 점에서 유기농업 또는 친환경농업을 통한 안전한 농산물의 생산 증대에 기여할 수 있다(이, 1995). 현재 우리나라의 유기농업의 경우 유기질 비료자원으로서 가축분뇨와 부산물 퇴비제품에 의존하여 토양의 비옥도를 개선시키고 있지만, 지렁이 분리의 시용은 토양의 물리성과 화학성을 동시에 개선시킬 수 있고, 식물체의 생육을 촉진시키는데 유용하다(이와 유, 1993; 이, 1995; 이와 이, 1999). 또한 지렁이의 분리는 pH 7-8의 범위를 나타내는 약 알칼리성으로 산성토양을 개량할 수 있고, 입단구조(aggregates)로 되어있어 토양 공극량의 증대를 통한 보수성, 통기성 및 투수성을 높여 토양의 물리적 개선에 크게 공헌한다(渡邊 등, 1979). 분리의 양분적 특성으로 볼 때, 유기물 함량, 치환성 양이온 함량, 전질소 함량 및 유효인 함량이 높으며, 탄질율(C/N비)은 10-15 전후, 그리고 양분보전능(CEC)은 25 이상을 나타내어 상토재로서 우수한 양분조성을 가지고 있다(이, 1995; 이와 이, 1996). 분리를 상토재로 이용할 경우, 토양(양토)과의 혼합비율 40-60%에서 식물체 뿌리의 건물분배율과 지상부 건물수량이 유의하게 많았고(이와 유, 1993), 피트모스(peat moss)와는 50:50%의 혼합비율에서 목초의 유식물체 생육이 가장 좋았으며(이와 이, 1999), 화학비료와 함께 시

용할 경우에는 높은 상승효과(priming effect)를 기대할 수 있다(Pimpini 등, 1992). 이와 같이 분리가 상토재로서 식물체의 생육에 유용한 것은 지렁이에 의한 토양으로의 유기물 혼합과정에서 일어나는 양분증강과정(NEP)과 섭취된 유기물이 지렁이의 장을 통과하는 과정에서 일어나는 효소의 생산, 생화학적 반응 및 미생물의 활성과 관련된 과정(GAP)의 결과라고 생각된다(Devliegher와 Vertraete, 1997). 또한 분립 중에는 식물생장촉진물질(Springette와 Syers, 1978) 혹은 수량영향물질(Graff와 Makeschin, 1980)이라고 불리는 물질과 Gibberellin, Cytokinin, Auxin 등과 같은 식물생장 조절제가 함유되어 있어(Tomati 등, 1987), 상토재, 토양 개량제 및 식물의 생장 촉진제로서 앞으로의 활용가능성은 매우 높다고 판단된다.

특히 지렁이에 의한 퇴비화 과정에서 대량으로 생산되는 분립 중에는 유효인 함량이 높다는 특징을 나타낸다(李 등, 1992). 가축분내의 인의 형태는 phytate의 형태로 존재하지만 유기물의 분해과정에서 유효 인(available phosphorus)으로 변화되어 식물체에 흡수, 이용되지만, 산성토양에서는 유해이온(Al^{3+} , Fe^{3+})들과 결합하여 토양에 고정되어 있다가 오랜 기간 서서히 방출되므로 토양 중의 인 함량이 높아져 유실량이 증가되는 원인이 되기도 한다(Sharpley 등, 1993).

지렁이가 토양내의 인 함량의 변화에 미치는 영향에 관하여 Sharpley와 Syers(1976)는 분립 내에 존재하는 거의 모든 인은 물리적 흡착상태로 존재하기 때문에 식물체에 쉽게 흡수, 이용될 수 있는 형태라고 하였다. 또한 李 등(1992)과 이(1995)는 지렁이 분립 중에는 유효 인 함량이 높아서 토양개량제로서 유효하다고 하였다. Casalicchio와 Graziano(1987)는 지렁이를 도입한 처리구의 유효인산 함량은 대조구와 유의한 차이가 없었으며 오히려 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하

였고, 이 등(2000)은 우분을 지렁이의 먹이로 이용하였을 때, 지렁이 분립 중의 총 인과 유효 인 함량은 무처리구에 비하여 각각 41.0%와 36.4%가 감소되었다고 보고하여 지렁이에 의한 가축 분내의 인의 제어 가능성을 시사하였다.

따라서 유기질 비료자원 또는 상토재로서 분립의 유용성을 검토하기 위해서는 첫째로 분립중의 유효 인 함량이 식물체의 양분 요구량에 충분한 수준인가? 둘째로 지렁이에 의한 가축분내의 인의 제어가 가능한 것인가? 셋째로 줄무늬과 지렁이(Lumbricidae)는 일반적으로 칼슘 분비선을 가지고 있어 (Jamieson, 1981), 체내의 칼슘대사를 위한 적정수준의 인이 요구된다고 추정된다.

따라서 본 실험에서는 인과 칼슘(인산칼슘 불력)을 급여하지 않은 한우 분에 인의 첨가 수준을 달리했을 때, 지렁이의 생육과 분립 생산량에 미치는 영향을 조사하여 분립의 유용성 평가와 가축분내의 인의 제거 가능성을 검토하고, 지렁이의 증체량과 분립생산량을 증가시키는 최적 인의 첨가수준과 최적 인의 첨가수준에서 칼슘과 인의 비율을 추정하려고 하였다.

재료 및 방법

공시 지렁이는 우리 나라에서 자생하는 줄무늬 지렁이(*Eisenia foetida*)를 사용하였다.

한우 분은 사육과정에서 무기물 블록(인산칼슘)을 급여하지 않은 부숙 중인 것을 사용하였다. 한우 분을 사육상(15 × 15 × 15cm)에 500g(건물중)씩 충전하였다. 먹이의 퇴적 높이는 10cm로 하였고, 사육밀도는 개체 당 평균 생체중 0.45±0.05g인 지렁이 25마리(마리 당 90cm³)를 방사 하였다.

한우 분내의 인(NaH₂PO₄·2H₂O=156.01) 첨가수준은 대조구, 1%(=1.98g), 2%(=3.97g), 4%(7.94g), 8%(15.88g)의 5 수준으로 하였고,

처리당 3 반복하였다.

사육기간중 실험실내의 온도는 20±5℃, 사육상의 수분조건은 65± 5%로 유지하여 60일간 사육하였다.

공시 한우 분의 특성은 표 1과 같다.

총 고형분(TS)은 105℃에서 24시간 건조한 후 측정된 건물중으로 구하였고, 휘발성 고형분(VS)은 한우 분 시료를 550℃의 전기로에서 3시간 태운 후 남은 조회분량(FS)을 총 고형분에서 뺀 값(TS-FS)으로 나타내었다. 전 질소 함량은(TN)은 micro-kjedahl법(AOAC, 1980)으로, C/N율은 총 탄소 함량과 전 질소함량의 비율로 구하였고, pH는 pH meter(Model 420 A)로 측정하였다.

Table 1. The characteristics of the Korean cow manure used for the experiment.

Sources	Contents(% DM basis)
Moisture conte	50.7%
Total solids(TS)	49.3%
Volatile solids(VS)	63.2%
Fixed solids(FS)	36.8%
Total nitrogen(TN)	2.4%
C/N ratio	12.9
pH	6.8

조사는 실험 종료 후 지렁이의 생존율, 증체율, 난포수, 산자수를 조사하였고, 분립생산량과 잔식량은 건조기내에서 105℃ 24시간 건조 후 입경 2mm의 체로 분리하여 고형물의 입자가 2mm 이하인 것을 분립량으로, 2mm 이상인 것을 잔식량으로 하여 각각의 무게를 측정하였다.

또한 지렁이의 체 조직, 분립 및 잔식량 중의 총 인 함량과 유효 인 함량은 Lancaster 법으로 분석하였고(Bray와 Kurtz, 1945), 분립과 잔식량 중의 칼슘 함량은 환경오염공정시

험법(환경부, 1992)에 준하여 분석하였다.

결 과

1. 인의 첨가수준에 따른 생육결과

인의 첨가수준에 따른 지렁이의 생육결과를 나타낸 것이 표 3이다.

지렁이의 생존율(SR)은 인의 첨가수준에

따라서 유의한 차이가 인정되지 않았다.

실험종료시 개체당 평균 생체중(FW2)은 인 2%와 4% 수준에서 다른 첨가수준보다 유의하게 무거운 624.4mg과 664.2mg을 나타내었고, 8% 수준에서는 실험개시시의 개체당 평균 생체중보다 가벼운 332.8mg이었다.

증체율(IR)은 인 4% 수준에서 0.2mg을 나타내어 다른 수준보다 유의하게 높았지만 8% 수준에서는 유의하게 감소하였다.

Table 2. The values on the measured growth characteristics of the earthworm in different phosphorus levels

Phosphorus level(%)	Growth characteristics							
	SR(%)	FW ₁ (mg)	FW ₂ (mg)	IR(mg/hr)	NC	NY	CW(g)	RM(g)
0	100.0a	374.9a	488.4b	0.07c	9.3bc	0.3c	471.0a	549.6c
1	98.6a	372.0a	518.3b	0.10c	4.0c	0.6c	476.6a	596.0b
2	97.3a	372.4a	624.4a	0.16b	35.0a	1.0c	408.6b	752.0a
4	97.3a	373.4a	664.2a	0.20a	29.6a	5.3b	300.6c	732.0a
8	100.0a	373.4a	332.8c	-0.02d	14.3b	40.0a	321.3c	616.3b
LSD _{0.05}	NS	NS	71.3	0.0	7.8	1.9	38.3	28.3

^{a,b,c,d}Means within the same column are not significantly different by least significant difference test(p=0.05).

NS: non-significant difference

SR : survival rate(%), FW₁: mean fresh weight of adult worm at initial time(mg), FW₂: mean fresh weight of adult worm at final time(mg), IR: increasing rate of adult worm(FW₂-FW₁/t₂-t₁), NC: number of cocoon, NY: number of young worms, CW: dry weight of cast(s,g, <2.0mm) and RM: residual matter(g, >2.0mm).

Table 3. The values of total phosphorus and available phosphorus contents in earthworm tissue, cast(s) and residual matters.

Phosphorus level(%)	WT (mg/g)	WA (mg/g)	CT (mg/g)	CA (mg/g)	RT (mg/g)	RA (mg/g)
0	61.2a	4.7a	124.7c	6.0c	108.7c	5.1c
1	73.7a	2.8a	122.7c	9.3c	153.1c	8.0c
2	69.4a	3.5a	124.4c	11.3bc	128.5c	8.6c
4	80.2a	4.3a	212.6b	17.3b	261.0b	14.1b
8	85.2a	4.1a	369.5a	30.5a	406.9a	31.3a
LSD _{0.05}	NS	NS	34.0	7.0	53.4	3.9

WT: total phosphorus of earthworm tissue, WA: available phosphorus of earthworm tissue, CT: total phosphorus of cast(s), CA: available phosphorus of cast(s), RT: total phosphorus of residual matters and RA: available phosphorus of residual matters.

난포수(NC)는 인 2%와 4% 수준간에서는 유의한 차이가 없었고, 산자수(NY)에서는 인 8% 수준에서 다른 수준보다 유의하게 많았다.

분립생산량(CW)은 인 1% 수준과 대조구간에서, 그리고 4%와 8% 수준간에서 각각 유의한 차이가 인정되지 않았다. 잔식량(RM)에서는 인 2%와 4% 수준에서 각각 752.0g과 732.0g으로 다른 수준보다 유의하게 많았다.

2. 지렁이 체 조직, 분립 및 잔식량 중의 총 인 함량과 유효 인 함량

인의 첨가수준에 따른 지렁이 체 조직, 분립 및 잔식량 중의 총 인 함량과 유효 인 함량의 변화를 나타낸 것이 표 3이다.

지렁이 체조직의 총 인 함량(WT)과 유효 인 함량(WA)은 인의 첨가수준간에 각각 61.2mg/g~85.2mg/g와 2.8mg/g~4.7mg/g의 범위를 나타내었지만 유의한 차이가 인정되지 않았다.

그러나 분립 중의 총 인 함량(CT)은 인 8% 수준에서 369.5mg/g을 나타내어 다른 수준보다 유의하게 많았다. 분립 중의 유효 인 함량(CA)은 대조구에서 6.0mg/g으로 가장 낮았지만 인의 첨가수준이 높아질수록 증가하여 인 8% 수준에서는 30.5mg/g으로 다른 수준보다 유의하게 많았고, 잔식량 중의 총 인 함량(RT)과 유효 인 함량(RA)은 분립 중의 총 인 함량과 유효 인 함량의 변화와 거의 같은 경향을 나타내었다.

3. 지렁이 체 조직, 분립 및 잔식량의 총 인 함량과 유효 인 함량과의 상관관계

지렁이 체 조직, 분립 및 잔식량의 총 인 함량과 유효 인 함량과의 상관관계를 나타낸 것이 표 4이다.

Table 4. Simple correlation coefficients between total phosphorus and available phosphorus contents of worm tissue, cast and residual matters

WT:WA	CT : CA	RT : RA
-0.121	0.979***	0.978***

*** is significantly different(P<0.001)

지렁이 체 조직의 총 인 함량과 유효 인 함량과의 관계는 부의 상관을 나타내었지만 유의성이 인정되지 않았고, 분립과 잔식량의 총 인 함량과 유효 인 함량과의 관계는 각각 0.1%의 유의한 정 상관을 나타내었다.

4. 지렁이 분립과 잔식량 중의 칼슘 함량

인의 첨가수준에 따른 지렁이 분립과 잔식량 중의 칼슘 함량의 변화를 나타낸 것이 표 5이다.

Table 5. The values of calcium contents in casts and residual matters.

Phosphorus level(%)	CC (mg/g)	RC (mg/g)
0	6.92a	5.96a
1	6.98a	6.24a
2	5.83a	6.35a
4	5.49a	6.41a
8	5.76a	6.05a
LSD _{0.05}	NS	NS

CC : calcium of casts and RC: calcium of residual matters.

분립 중의 칼슘 함량(CC)과 잔식량 중의 칼슘 함량(RC)은 인의 첨가수준간에 각각 5.49 mg/g~6.98mg/g과 5.96mg/g~6.35mg/g의 범위를 나타내었지만, 첨가수준간에는 유의한 차이가 인정되지 않았다.

5. 인의 첨가수준에 따른 분립 중의 유효 인과 칼슘 함량의 비율

인의 첨가수준에 따른 분립 중의 유효 인과 칼슘 함량의 비율을 나타낸 것이 표 6이다.

Table 6. The ratios of available phosphorus(CA) and calcium(CC) contents of casts in different phosphorus levels.

Phosphorus level(%)	CA : CC ratio
0	0.87 : 1
1	1.33 : 1
2	1.94 : 1
4	3.15 : 1
8	5.20 : 1

분립 중의 유효 인과 칼슘 함량의 비율은 인의 첨가수준이 높아짐에 따라서 직선적으로 증가하여 1% 수준에서는 1.33:1, 2% 수준에서는 1.94:1, 4% 수준에서는 3.15:1 그리고 8% 수준에서는 5.20:1의 비율을 나타내었다.

고 찰

자연상태에서 유기 인은 phytate 형태로 폭 넓게 존재하지만 토양에서의 유기물 분해과정에서 무기태 인인 유효 인의 형태로 전환되어 식물체에 흡수 이용된다(Sharpley 등, 1993). 그러나 토양에서 유효 인 함량이 지나치게 높을 경우에는 유실되기 쉬어 토양과 호소(湖沼)의 부영양화의 원인이 된다. 특히 인과 질소 등과 같은 영양물질이 풍부하게 함유된 가축분뇨의 대량 방출은 심각한 환경오염원이 되고 있지만 재활용율은 매우 낮은 실정이다. 가축 분을 지렁이에 의한 퇴비화할 경우, 처리과정에서 대량으로 생산되는

지렁이와 분립의 안전성을 확보하는 것은 유기성 폐기물의 재활용과 토양 생태계의 보전 그리고 유기농업과 지속적 저투입 농업을 통한 농산물 생산을 위하여 매우 중요하다고 생각된다(이, 1995).

실험 종료시 지렁이 개체의 평균 생체중(FW₂)과 증식효율을 나타내는 난포수(NC)는 인 2%와 4% 수준에서 유의하게 높았고, 증체율(IR)은 4% 수준 그리고 분립생산량은 1% 수준에서 유의하게 높았다(표 3). Lee 등(1992)과 이(1995)는 지렁이는 좋은 먹이 조건에서 증식효율과 분립생산량은 증가하지만, 먹이조건이 불량해지면 생존전략으로서 증체율이 높아지고 분립생산량은 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하였는데, 본 실험의 결과에서는 증체율과 증식효율을 높이기 위한 적정 인의 첨가수준은 2%~4%의 범위이며, 분립생산량의 증대를 위해서는 1% 수준이 유효하였다는 것을 의미한다.

지렁이 분립은 질소, 칼리, 칼슘 및 마그네슘과 같은 식물의 생육에 필요한 유효양분을 풍부하게 함유하고 있으며(Graff, 1970), 토양에 비하여 많은 양의 유효 인을 가지고 있어 식물생장에 유용하다고 알려져 있다(Vimmerstedt와 Finney, 1973; Lee 등, 1992; 이, 1995). 그러나 지나친 유효 인 함량은 토양유실에 의한 하천이나 호소의 부영양화의 원인물로 작용하므로 생태계에서의 인의 흐름은 매우 중요하다(Sharpley 등, 1979; Stewart와 Rohlich, 1967; Vollenweider, 1968.). 특히 경작지로부터의 가축분과 화학비료에 의한 인의 유입에 관심이 집중되고 있어(Ryden 등, 1973; Syers, 1974), 토양에서의 적정한 유효 인 함량의 유지가 필요하다고 생각된다. 본 실험에서 지렁이 체 조직의 총 인 함량과 유효 인 함량은 인의 첨가수준간에 유의한 차이가 인정되지 않았던 것은(표 3), 지렁이 먹이 중에 인 함량이 증가하더라도 체 조직의 총 인 함량과 유효 인 함량은 체내의 조절작

용에 의하여 일정한 수분에서 유지된다는 것을 의미한다. 따라서 Casaliccho와 Graziano (1987)와 이 등(2000)이 보고한 결과와 같이 지렁이에 의한 퇴비화에 의하여 가축분내의 인의 제어 기능성은 매우 적다고 판단된다. 그러나 분립과 잔식량의 총 인 함량과 유효 인 함량은 인의 첨가수준이 높아질 수록 유의하게 증가하였고(표 3), 이들 상호간에는 0.1% 수준의 유의한 정 상관성이 인정되었다(표 4) 이와 같은 결과는 지렁이의 체내 조절작용에 의하여 체 조직 중에 인을 축적하지 않더라도 장내의 alkaline phosphatase와 같은 가수분해효소나 미생물 작용으로 증가된 유효 인 함량이 분립으로 배설되기 때문이라고 생각된다(Satchell과 Martin, 1984). 또한 Mackay 등(1982, 1983)이 *Lumbricus rubellus* 가 서식하는 토양표면에 인산 암 분말과 과린산 석회를 사용했을 때 총 인 함량과 인의 유용성이 증가되었다고 한 결과와도 일치한다고 생각된다.

지렁이의 분립 중에는 유효 인의 함량이 높다는 특징을 가지고 있어 상토재로서 유용하다고 알려져 있다(李 등, 1992; 이, 1995). 본 실험의 결과 인 1~4% 수준에서 분립 중의 유효 인 함량은 9.3~17.3mg/g의 범위를 나타내어(표 3), 작물생산에 적합한 토양 중의 유효 인 함량은 30mg/kg(Mozaffari와 Sims, 1994)보다 무려 300~600배(9~18g/kg)에 달하는 높은 수준이었다. 이상과 같이 분립 중에 인의 함량이 높을 경우 인의 유실량이 많아질 위험이 있는데, Sharpley와 Syers(1976)는 분립에 함유된 무기 인은 물리적으로 느슨하게 흡착되어 있는 형태로서, 초지에서 분립 중의 인의 유실은 분립의 퇴적량과 강우기간에 영향을 받는다고 하였다. 또한 Sharpley 등(1979)은 초지의 표토 층에 분립이 없었을 때 인과 질소의 유실량은 적었지만, 분립량이 많았을 때 인과 질소의 전체 유실량은 증가한다고 하였다. 즉, 영구 초지와 같이 식물

고사체와 토양 무기물이 혼합된 표토 층 위에 지렁이 분립으로 완전하게 덮여 있는 Mull 층 토양(Muller, 1978)에서 분립 중의 인의 유실 가능성이 높다는 것을 의미한다. 그러나 우리 나라의 경지에서 단위면적당 작물의 생육에 필요한 요구량을 충족시키기 위하여 분립만을 사용하지 않고, 분립이 혼합되는 토층의 깊이를 고려할 때, 토양에서의 유효 인 유실의 위험성은 매우 낮다고 생각된다. 현재 농촌진흥청에서 권장하고 있는 인산질 비료의 연간 사용량은 150kg/ha 수준이므로 지렁이에 의한 가축 분의 퇴비화로 분립 중의 유효 인 함량을 증강시켜 경지에서 안전한 토양개량제로 사용할 수 있다고 판단된다. 특히, 분립에 함유된 무기 인은 물리적으로 느슨하게 흡착되어 있어 토양으로 빠르게 방출되어 유실량도 증가하므로(Sharpley와 Syers, 1976), 식물체에 의한 유효 인의 흡수 이용율도 높아져 다른 상토재와의 적절한 혼합비율의 조건에서는 육묘용 상토재로서 분립의 유용성은 매우 높다는 것을 시사한다.

인의 첨가수준에 따른 분립중의 유효 인 함량과 칼슘 함량의 비율(표 6)은, 증체율과 증식효율이 높았던 인 2~4% 수준에서 유효 인 함량과 칼슘의 비율은 1.94~3.15 : 1 이었고, 분립생산량이 유의하게 많았던 대조구와 인 1% 수준에서는 0.87~1.33 : 1을 나타내어 성장요인과 분립생산량에 관여하는 유효 인 함량과 칼슘 함량의 비율에 차이가 있음이 인정되었다. Springett와 Syers(1984)는 지렁이에 의한 분립생산량은 토양의 높은 pH와 칼슘수준에서 증가하지만, 토양의 pH가 일정할 때에는 칼슘 함량의 증가는 인정되지 않았다고 보고하였는데, 본 실험에서도 대조구와 인 1%에서 분립생산량이 많았던 원인으로 먹이 중의 높은 칼슘 함량에 기인하였기 때문이라고 생각된다(표 6).

이상과 같이 본 실험에서는 지렁이의 생육을 촉진하고, 분립생산량을 증대시킬 수 있

는 적정 인 첨가수준과, 적정 인 첨가수준에서 분립 중의 유효 인 함량과 칼슘 함량의 비율을 추정하였다. 그러나 적정 인 첨가수준에서 칼슘의 첨가수준을 달리 했을 때, 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향을 조사하여 적정 인과 칼슘 함량의 비율을 추정할 필요가 있다고 생각된다.

적 요

한우 분에 인의 첨가수준을 달리했을 때 지렁이의 생육과 분립생산량에 미치는 영향을 조사하여 적정 인의 수준과 적정 인의 수준에서 유효 인 함량과 칼슘 함량의 비율을 추정하여 지렁이에 의한 퇴비화(vermicomposting)의 효율적인 공정운용을 위한 기초적 자료를 얻고자 하였다. 인(NaH_2PO_4)의 첨가수준은 대조구, 1%, 2%, 4%, 8%의 5수준으로 하였고, 사육상자($15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$)에 500g의 한우 분을 충전한 후, 마리당 90cm^3 사육밀도 조건에서 60일간 사육하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지렁이의 증체량과 증식효율은 높이기 위한 적정 인의 첨가수준은 2~4%, 분립생산량을 증가시키기 위한 적정 인의 첨가수준은 1%로 추정되었다.

2. 지렁이 체 조직의 총 인 함량과 유효 인 함량은 인의 첨가수준간에 유의한 상관 인정되지 않았지만, 분립과 잔식량의 총 인 함량과 유효 인 함량과는 유의한 정 상관 인정되었다.

3. 분립중의 유효 인 함량은 인 1~4% 첨가수준에서 9.3~17.3mg/g의 범위를 나타내었다.

4. 분립중의 유효 인 함량과 칼슘 함량의 비율은 증체량이 많았던 인 2~4% 첨가수준에서 1.94~3.15:1의 비율이었고, 분립생산량이 많았던 인 0~1% 수준에서 0.87~1.33:1의 비율이었다.

인 용 문 헌

1. A.O.A.C. 1980. Official method of analysis. Association of official analytical chemists. Washington D.C., U.S.A.
2. Bray, R. H. and Kurt L. T. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
3. Casalicchio, G. and Graziano, P. L. 1987. A comparison of the chemical properties of compost and wormcasting from solid municipal waste and sewage sludge. On Earthworm. A. M. Bonvicini Pagliai and Omedeo(eds.). Selected Symposia and Monograph U.Z.I., 2. Mucchi, Modena. 437-457.
4. Devliegher, W. and Vertraete, W. 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.
5. Graff, O. 1970. Phosphorus content of earthworm casts. Landb Forsch-Völkenrode. 20:33-36.
6. Graff, O. and Makeschin, F. 1980. Beeinflussung des Ertrags von Weidelgras (*Lolium multiflorum*) durch Ausscheidungen von Regenwürmern dreier verschiedener Arten. Pedobiologia 20:176-180.
7. Jamieson, B. G. M. 1981. "Ultrastructure of the Oligochaeta". Academic Press, London.
8. Mackay, A. D., Syers, J. K., Springett, J. A. and Gregg, P. H. 1982. Plant availability of phosphorus in superphosphate and phosphate rock as influenced by earthworms. Soil Biol. & Biochem. 14:

- 281-287.
9. Mackay, A. D., Springett, J. A., Syers, J. K. and Gregg, R. E. H. 1983. Origin of the effect of earthworms on the availability of phosphorus in a phosphate rock. *Soil Biol. & Biochem.* 15:63-73.
 10. Mozaffari, M. and Sims, J. T. 1994. Phosphorus availability and sorption in an Atlantic Coastal plain watershed dominated by animal based agriculture. *Soil Sci.* 157:97-107.
 11. Muller, P. E. 1878. Studier over Skovjord. 1. Om Bogemuld od Bogemor paa Sand og Ler. *Tidsskr. Skogburg* 3:1-124.
 12. Pimpin, F., Giardini, L., Robin, M. and Giaquinto. 1992. Effect of poultry manure and mineral fertilizers on the quality of crops. *J. of Agr. Sci.* 118:215-221.
 13. Ryden, J. C., Syers, J. K. and Harris, R. F. 1973. Phosphorus in runoff and streams. *Adv. Agron.* 25:1-45.
 14. Satchell, J. E. and Martin, K. 1984. Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biol. & Biochem.* 16(2):191-194.
 15. Sharpley, A. N. and Syers, J. K. 1976. Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off water. *Soil Biol. & Biochem.* 8:341-346.
 16. Sharpley, A. N., Syers, J. K. and Springett, J. A. 1979. Effect of surface-casting earthworm on the transport of phosphorus and nitrogen in surface runoff from pasture. *Soil Biol. & Biochem.* 11:459-462.
 17. Sharpley, A. N., Daniel, T. C. and Edwards, D. R. 1993. Phosphorus movement in the landscape. *J. Prod. Agric.* 6(4):492-500.
 18. Springett, J. A. and Syers, J. K. 1978. Effects of earthworm casts on ryegrass seedlings. In *Proceeding of the Second Australian Conference on Grassland Invertebrate Ecology.* 44-47. Ed. by T. K. Crosby and R. P. Pottinger. Government Printers. Wellington.
 19. Stewart, K. M. and Rohlich, G. A. 1967. Eutrophication -A Review. Report to the State Water Control Board, California.
 20. Syers, J. K. 1974. Effect of phosphate fertilizers on agriculture and the environment. *N. Z. Agric. Sci.* 8:149-164.
 21. Tomati, U., Grappelli, A. and Galli, E. 1987. The presence of growth regulators in earthworm-worked wastes. On *Earthworms.* A. M. Bonvicini pagliai and P. Omodeo(eds.). Selected Symposia and Monographs U.Z.I., 2, Mucchi, Modena, 1987, pp. 423-435.
 22. Vimmerstedt, J. P. and Finney, J. M. 1973. Impact of earthworm introduction on litter burial and nutrient distribution in Ohio strip-mine spoil banks. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:388-391.
 23. Vollenweider, R. A. 1968. Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in Eutrophication. OECD Rep. DAS/CSI/68.27 OECD, Paris.
 24. 渡辺弘之, 森忠一, 平田道, 1979. ミミズの有効利用とその技術.サイエンティスト社. 67-81.
 25. 이주삼, 정재춘, 조익환. 1992. Vermicomposting에 의한 산업폐기물의 처리. 1. 제지 슬러지와 우분의 혼합비율이 붉은 지렁이의 생육과 분립의 화학적 조성에 미치는 영향. *한국폐기물학회지* 9(1):19-26.
 26. 이주삼, 유은희. 1993. 지렁이 분립과 토양의 혼합비율이 orchardgrass 유식물체의

- 생육에 미치는 영향. 한국유기성자원화협
의회학회지 1(2):267-274.
27. 이주삼. 1995. Vermicomposting에 의한 우
분의 처리 - 먹이의 탄질율과 사육밀도
가 지렁이의 생육과 분립의 생산에 미치
는 영향. 한국축산시설환경학회지 1(1):
65-75.
28. 이주삼, 이무춘. 1996. Vermicomposting에
의한 분뇨 슬러지의 처리. 한국유기성폐
자원학회지 4(2):35-45.
29. 이주삼, 박보라, 배희동. 2000. Vermicom-
posting 조건에서 분리한 phytase의 활성
화와 인 함량에 미치는 영향. 한국축산시
설학회지 6(1):45-52.
29. 이필원, 이주삼. 1999. Plant growth media
로서 지렁이 분립이 orchardgrass의 생육
에 미치는 영향. 한국유기농업학회지
7(2):179-188.
30. 축산기술연구소. 1997. 새로운 가축분뇨
처리기술. 농촌진흥청.
31. 환경부. 1992. 환경오염시험공정법 폐기
물편.