

지렁이의 생태와 농업적 이용방안

이 주 삼 (교수, 연세대학교 생물자원공학)

들어가면서

종(種)의 기원(起源)을 발표한 찰스 다윈(Chales Darwin, 1881)은 우리에게 잘 알려진 과학자이지만 그가 평생 지렁이의 연구에 몰두하여 『토양형성과 지렁이의 역할』이라는 명저를 남겼다는 사실을 아는 사람은 매우 드물다. 그는 저서에서 특히 지렁이에 의한 유기물의 토양혼합과 그에 따른 토양구조의 개선을 강조하였다.

먼 옛날 우리 인간들이 수렵생활을 끝내고 한 장소에 정착하여 농경생활을 시작한 이래 인간이 발명한 가장 위대한 발명품은 쟁기라고 말하는 사람이 있다. 이는 그 옛날 먹을거리의 생산을 위하여 땅을 가는 일이 얼마나 중요한가를 단적으로 표현한 말이 아닐까? 그러나 인간이 쟁기를 만들기 훨씬 이전부터 지렁이는 땅속에서 묵묵히 땅을 갈아 유기물을 토양과 혼합해 왔으며 지금도 계속 땅을 갈면서 인간들이 먹거리로 이용하는 작물이 건강하게 자랄 수 있도록 도와주고 있다. 지렁이의 학명인 *Lumbricus*는 그리스 말로 대지(大地)의 장(腸)을 의미한다. 즉, 지렁이는 토양 속의 모든 유기물을 섭취하여 분해하고, 토양과 혼합하며, 구멍을 파고, 분립(粉粒)을 생산하여 토

양의 물리성과 화학성을 개선시켜 토양의 비옥도(肥沃度)를 증진시키는데 공헌하고 있다.

다시 말하면 인간들의 먹을거리가 되는 작물은 생육을 위하여 양분과 수분을 표토층에 의존하고 있지만, 표토층은 오랜 기간동안 지렁이의 장을 몇 십번이나 통과하여 만들어진 토층이라고 할 수 있기 때문이다. 이를 입증하는 연구결과로 그래프(Graff, 1971)는 연간 10cm 깊이까지의 표토층 25%가 지렁이의 장을 통과하는 것으로 추정된다고 하였다. 즉, 지렁이는 토양→식물→동물(인간포함)로 이어지는 먹이사슬의 고리 중에서 토양생태계의 건전한 유지와 보전을 위하여 지속적으로 그 기능을 다하고 있다.

1960년대 초부터, 선진국을 중심으로 급격한 산업화로 인해 대량으로 배출되는 유기성 폐기물의 처리에 지렁이를 응용하려는 노력이 시작되었다. 맥파딘(Macfadyen, 1963)은 산업폐기물의 생물학적 처리방법의 하나로 지렁이에 의한 분해자 산업(decomposer industry)의 가능성을 시사하였고, 하르텐슈타인(Hartenstein, 1978)은 지렁이에 의한 유기성 폐기물의 퇴비화 방법을 vermicomposting이라고 명명하였다. 최근에는 하수 슬러지와 같은 유기성 폐기물을 급속히 안정화, 감량시키기 위하여 지렁이를 활용하는 방법을 vermistabilization(Loehr 등, 1988; 이 등, 1995)이라고 한다. 또한 중금속 함량이 높은 유기성 폐기물을 지렁이에게 농축시키는 생물학적 농축방법(박과이, 1998), 지렁이를 이용한 가축분의 인의 제거(이 등, 1999) 등과 같은 환경분야 및 생태계 수복기술(bioremediation)을 위한 연구에도 지렁이를 폭 넓게 활용하고 있다.

그 동안 농업부문에서는 전 세계적으로 지나치게 많이 사용되어 왔던 농약과 화학비료로 인하여 토양열화(土壤劣化)가 심각해진 결과, 저투입지속농업(LISA, low input sustainable agriculture)의 중요성이 강조되기에 이르렀다.

최근들어 우리 나라에서도 유기농법, 자연농법, 무경운 농법(No-tillage method) 및 환경농업에 관한 관심이 높아지면서 땅

만들기가 얼마나 중요한 일인가를 깨닫게 되었다. 즉, 건강한 땅에서 건강한 식물과 동물이 살수 있으며 이를 먹이로 할 때 인간의 정신과 육체가 건강해 질 수 있다는 생태계 보전원칙이 국민들 사이에 인식되기에 이르렀고 사회적으로는 흙 살리기 캠페인 등이 벌어지고 있다.

건강한 땅을 만들기 위해서는 토양생물인 지렁이의 생산과 분해기능을 이해하여 최대한으로 활용할 수 있는 방법이 모색되어야 한다고 생각된다. 여기에서는 토양생물인 지렁이가 어떠한 방법으로 토양 비옥도의 증진에 공헌하고 있는가를 토양의 물리성, 화학성, 및 생물성 측면에서 설명하고, 유기성 폐기물의 처리에 지렁이가 어떻게 이용되고 있는가를 설명하고자 한다.

토양동물의 정의

토양동물이란 토양권에 서식하는 동물의 총칭이다. 생활사의 전 기간을 토양 중에서 지내는 동물이라는 좁은 의미의 정의와 토양 중에서 발견되는 모든 동물 즉, 일시적 또는 발육과정의 한 시대 또는 수 시대를 토양의 표면에 접촉하거나 토양 중에서 생활하는 동물이라는 넓은 의미로 정의하는 경우가 있다. 일정한 기간이라도 토양 중에서 생활하는 동물, 즉 월동을 위하여 알이나 어린 시기만을 토양에서 지내는 동물도 토양에 미치는 영향이 크기 때문에 토양동물로 취급하는 것이 일반적이다. 토양동물은 크기에 따라 대형동물(2mm 이상), 중형동물(0.2-2mm), 소형동물(0.2mm 이하)로 분류한다.

지렁이는 생활사의 전 기간을 토양 중에서 지내는 토양동물로서, 대형동물에 속한다. 또한 환형동물(環形動物, Annelida) 중에서 빈모류(貧毛類, Oligochaeta)에 속하며, 서식환경에 따라서 다음과 같은 세 가지 종으로 분류한다.

1. 엽토종(교사체종): 주로 낙엽과 퇴비더미 등에 서식하는

종으로 *Eisenia foetida*, *Lumbricus rubellus* 등이 있으며, 유기물의 분해능력이 뛰어나 퇴비화에 적합한 종이다.

2. 표토종: 지표의 얇은 토양 층에 서식하며 *Allolobophora* 속 등이 있으며, 지표면의 유기물을 토양층에 혼합하는 능력이 뛰어나다.

3. 심토종: 땅 속에 깊은 구멍을 만들어 서식하고 있는 종으로 *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea caliginosa*, *Pheretima* 속 등이 있으며, 유기물 함량이 낮은 흙을 먹이로 하며 분립생산량이 많다.

토양에서의 지렁이의 역할

지렁이가 토양의 이화학적(理化學的) 성질 및 생물상의 변화에 미치는 영향은 다음과 같다. 먼저 이화학적 성질에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

1. 유기물을 분해하며 유기물을 토양과 혼합한다.

지렁이는 토양 중의 유기물을 섭취, 분해하여 토양과 혼합하는 과정에서 유효양분이 증가된다. 또한 토양과 유기물이 지렁이의 장을 통과하는 과정에서 생화학적 반응, 효소의 생산 및 혼합작용 등이 동시에 일어나 양분의 무기화(無機化)가 촉진되어 분립의 형태로 배설되므로 토양의 양분보전능(CEC)을 높인다.

2. 부식을 형성한다.

부식의 형성은 지렁이의 배설물(분립)의 퇴적과 병행하여 일어나는데, 이는 지렁이의 존재가 유기물의 분해와 함께 미생물에 의한 부식형성(mor)을 촉진한다.

3. 토양입자의 조성을 변화시킨다.

지렁이는 지표 토양을 지중 깊이까지 운반하여, 경운, 교반

에 의하여 토양의 다른 입자를 혼합, 균일하게 하며 분립의 배설로 토양을 입단구조화(crumbly structure) 한다.

4. 토양의 공극량을 증가시킨다.

지렁이는 서식을 위하여 땅속에 구멍을 만들고 이를 유지, 보강하는데, 영구적인 구멍과 일시적인 구멍 등 두 가지 기본형으로 구분할 수 있다. 지렁이 개체의 영구적인 구멍은 지표면과 통해 있으며 먹이를 모아놓고 분립물질을 지표면으로 옮겨 구멍을 유지하며, 또 다른 하나는 일시적인 것으로 지렁이가 구멍을 만들고 그들에게 가장 적합한 온도와 수분조건을 찾아서 토양내의 한 장소에서 다른 장소로 이동하고 토양을 섭취하며 그 속에 함유된 유기화합물을 먹이로 한다.

토양에 대한 지렁이 구멍의 물리적인 효과는 토양의 공극량, 투수성 그리고 통기성에 미치는 영향이 크며, 지표면에 배설하는 분립층 역시 공극율의 증대에 중요한 영향을 미친다.

지렁이 구멍의 크기와 공극량과의 관계를 살펴보면, 크레차 마르(Kretzschmar, 1982)는 1년 반 동안에 형성된 지렁이 구멍의 길이는 $142-888\text{m}^2$ 로 용적으로는 $1.3-9.2\text{L}/\text{m}^2$ 였다고 하였는데, 이 구멍은 빗물을 신속하게 지하로 침투시키든지 일시적으로 저수하여 표토층의 침식을 저하시키고 토양의 가스교환을 촉진하는데 공헌한다고 하였다. 에드워즈(Edwards, 1990) 등은 지렁이 활동이 활발한 경운하지 않은 밭에서 강우량의 1-10%가 지렁이의 구멍에 침투하여 경운한 토양에 비하여 빗물의 표면유실은 1/60에 불과하였다고 하였다.

또한 필자는 지렁이 구멍이 식물생장에 최소한으로 필요한 토양공극량의 10.4-18.8%에 달한다고 추정하였다. 일반적으로 지렁이에 의한 구멍 만들기는 m^2 당 100-300개로, 토양 공극량의 약 2/3를 차지하는데, 심토층은 2-3m 깊이까지 구멍을 만들며 토양 중의 식물체 뿌리 잔사를 섭취하므로 공극량을 증대시킨다.

일반적인 경지(耕地)에서는 m^2 당 100-150 개체의 지렁이가

서식하는데, 그 이상의 밀도로 높일 필요가 있으며 이를 위해서는 토양으로의 충분한 유기물의 환원이 필요하다.

5. 보수성을 높인다.

지렁이의 구멍과 분립배설로 토양중의 공극량과 입단구조가 증가되는데 공극량의 증가와 입단구조로 된 분립 중에는 수분을 축적할 수 있어 보수성을 높인다.

6. 콜로이드 (Colloid) 물질을 증가시킨다.

보수력의 증가는 유기물과 광물질 토양의 혼합으로 만들어진 콜로이드 물질의 증가에도 원인이 있으며, 특히 지렁이의 분립은 보수력이 큰 콜로이드로 전환된다.

7. 투수성을 좋게 한다.

토양 중에 만들어진 공극과 지렁이 구멍 등으로 물이 흐르기 때문에 배수를 좋게 한다. 지렁이가 있는 토양에서는 15분만에 약 50mm의 강우량을 흡수하지만, 지렁이가 없는 토양에서는 같은 량의 강우량을 흡수하는데 약 2시간이 걸린다.

8. 토양 중에 양분을 축적한다.

지렁이의 체단백질 함량은 약 54-72%의 범위를 나타내며, 마리 당 10 mg의 질산태 질소를 함유하고 있다. 지렁이에 의한 토양질소의 증가는 죽은 조직, 오줌, 점액 단백질의 형태로 토양으로 환원된다. 즉, 오줌은 암모니아와 요소로 배설되는데, m² 당 50-150g, 연간 오줌유래 질소는 ha 당 18-50kg 정도 배설되는 것으로 추정되며, 거의 같은 량의 질소가 점액 단백질의 형태로 배설된다.

분립 중에는 식물체의 생육에 필요한 무기양분 함량과 양분 보존능이 높으며, 식물생장촉진물질 또는 수량영향물질이라고 불리우는 물질이 함유되어 식물의 성장을 촉진한다. 지렁이 체내의 석회선에서 분비되는 탄산칼슘에 의하여 분립은 중성 또

는 약 알칼리성을 나타내어 산성토양의 개량에 유효하다.

또한 분립 중에는 urease, saccharase, phosphatase, cellulase 등과 같은 활성효소가 있다.

라벨(Lavelle, 1978)은 지렁이의 구멍과 구멍벽을 지렁이권(drilosphere)이라고 명명하였는데, 여기에는 유기물 함량과 점액 단백질 함량이 높아서, 미생물이 많이 서식할 수 있는 환경을 제공하고, 식물에게 유용한 양분을 많이 축적하고 있어 특히 뿌리의 이상적인 증식 장소가 된다고 하였다.

9. 분립을 배설한다.

지렁이의 분립(糞粒)은 일명 분변토(糞便土)라고도 하며 식물체의 잔사와 분쇄된 잔사가 토양입자와 혼합되어 만들어진 토양 덩어리로써 입단구조로 되어있다.

배설되는 분립량은 종에 따라서 큰 차이를 나타내지만 하루에 자기 체중과 거의 같은 량의 먹이를 섭취하고 섭취량의 약 1/2-1/4 정도를 분립으로 배설한다고 알려져 있다. 분립의 배설 장소로는 종에 따라 달라서 수평구멍을 만드는 종은 토양으로부터 먹이가 되는 유기물을 선택하고 분립을 구멍 또는 다른 지하, 지표 공간에 배설한다. 또한 지표면이 열려있는 수직구멍을 만드는 종은 지표면 주변으로부터 식물체 조각을 모아 섭취하고 지표면에 분립을 배설한다. 분립은 계란형 또는 준각형부터 각형을 나타내는 두 가지의 기본적 형태를 나타내는데 입자의 크기는 1mm-1cm의 범위로 종의 크기에 따라서 배설되는 분립의 크기가 달라진다. 특히 분립은 입단구조로 되어있어 공극량을 증대시키고 보수성과 통기성 투수성이 뛰어나 토양의 물리성을 개선하는데 크게 기여한다.

토양 중에서 지렁이의 활동이 토양 생물성에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다.

1. 토양동물과 미생물의 서식환경을 제공한다.

지렁이의 구멍은 토양생물이나 토양 미생물의 서식장소가 되며, 식물뿌리가 신장할 수 있는 공간을 제공한다. 특히 지렁이 분립은 유기물함량, 전질소함량, 탄산칼슘 함량이 높아서 토양 미생물의 호적한 번식장소로 이용된다.

2. 토양동물과 미생물의 개체밀도를 증가시킨다.

지렁이의 섭식활동은 균식성 토양동물의 섭식활동을 증가시켜 토양생물의 밀도를 증가시키며, 병원성균 및 작물 병원균의 밀도를 저하시킨다. 또한 지렁이의 이동은 토양 미생물의 분산에 중요한 영향을 미친다.

지렁이에 의한 퇴비만들기

1. 농산부산물이나 가축분(특히 우분)과 같은 유기성 폐기물을 지렁이의 먹이로 이용하여 분립을 대량으로 생산하는 방법을 vermicomposting이라고 한다. 즉, 지렁이의 분립은 peat moss와 같이 취급하기 좋고 입단구조로 되어있어 토양 공극량의 증가에 의하여 보수성과 통기성을 높이는 등 토양 물리성의 개선에 공헌한다.

2. 또한 지렁이의 분립은 pH가 중성 내지 약알칼리를 나타내고 유기물 함량이 높으며 식물체의 생육에 유용한 다양한 무기양분을 함유하고 있는데, 특히 유효인산함량이 높은 특징을 나타낸다. 따라서 유기질 비료자원, 토양개량제 또는 상토로써 활용 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

3. 특히 지렁이의 분립에는 식물생장촉진물질이 들어있어 식물체의 생장을 촉진하고 근권환경(根圈環境)을 개선시켜 뿌리의 생육을 촉진한다.

4. 이상과 같이 vermicomposting에 의한 유기성 폐기물의 처리는 환경오염원의 감소 → 지렁이와 분립의 대량생산 → 분립을 이용한 토양비옥도의 증진 → 안전성이 높은 농산물의 생산이라는 생태적 기능의 고리를 연결하는 과정으로 유기농업과

지속농업에 유효하다.

5. 특히 부수적으로 생산되는 지렁이는 동물성 단백질자원으로 동물(가금류와 어류)의 사료로 이용될 수 있으며, 지렁이 체액으로는 항세균성 단백질과 혈전용해제와 같은 의약품 원료가 생산되기도 하여 인간의 건강에 유용하게 사용되기도 한다.

Vermicomposting의 공정

1. 처리공정

유기성 폐기물(먹이) → 분쇄 → 분리 → 혼합과 조합 → 발효 → 지렁이 방사(사육상) → ① 분리채취
② 난포(알) 분리
③ 지렁이 채취

2. Vermicomposting 공정의 적용조건으로는

- 1) 유용한 지렁이 종(엽토종)을 선택한다.
 - (1) *Eisenia foetida*(줄무늬 지렁이)
 - (2) *Lumbricus rubellus*(붉은 지렁이)의 2종이 가장 유용하지만, 우리나라에서는 줄무늬 지렁이가 주로 사용된다.
- 2) 먹이를 잘 만들어야 한다.
 - (1) 먹이의 탄질율(C/N ratio)은 20-30이 적당하다.
 - (2) 먹이의 pH는 6-8의 범위가 좋다.
 - (3) 먹이의 수분조건은 60-80%가 적당하다.
 - (4) 균일한 입자와 혼합도
 - (5) 먹이 중의 암모니아 함량은 0.5mg/g 이하여야 한다.
 - (6) 먹이의 염분농도는 0.5% 이하이어야 한다.
- 3) 지렁이 습성에 알맞는 환경을 만들어야 한다.
 - (1) 사육상의 적정온도는 15-25°C로 유지한다.
 - (2) 사육상의 광조건은 500lux 미만으로 한다.
- 4) Vermicomposting의 효율을 높이는 일이다.
 - (1) 먹이의 완전발효를 통하여 사육기간을 단축시킨다.

(2) 개체밀도는 m^2 당 3-4만 개체를 유지한다.

3. 처리공정에 대한 설명

1) 유기성 폐기물(지렁이의 먹이)

지렁이는 토양 중에 서식하며 토양 중의 유기물을 먹이로 이용하므로 유기물 함량이 높은 물질을 즐겨 섭취한다. 즉, 자연계의 초원이나 논밭 토양보다는 우분이나 식물체 부속된 곳 또는 도시쓰레기가 오랫동안 방치되어 있는 곳과 같이 습윤하고 유기물이 풍부한 환경을 좋아하여 대량으로 모여든다. Vermicomposting은 이러한 지렁이의 습성을 활용하여 유기성 폐기물을 퇴비화는 방법이다. 그러나 유기물 함량이 풍부한 물질이라도 지렁이에게 해가 되는 물질이 함유되어 있을 경우에는 퇴비화가 불가능하므로 먹이의 조건은 다음과 같다.

(1) 독성이 없어야 한다.

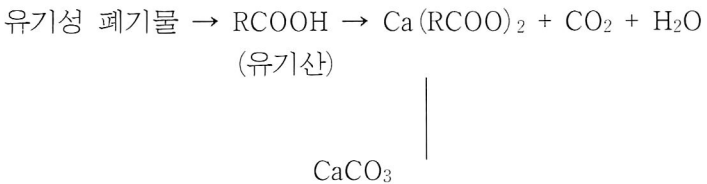
중금속, 포르마린, 페놀, 청산화합물 등과 같이 생물에 대하여 독성을 나타내는 물질이 조금만 함유되어 있어도 지렁이는 사멸한다.

(2) 알칼리성 물질, 특히 pH를 갑자기 높이던지 낮출 수 있는 물질이 함유되어 있지 않아야 한다.

(3) 산화성 물질이나 환원성 물질, 무기염 농도가 높은 것 그리고 에타놀, 메타놀, 기름 등이 다량으로 함유되어 있는 것은 지렁이 먹이로써 부적합하다.

(4) 지렁이 먹이로 이용할 수 있는 유기성 폐기물의 종류로는 크게 동물성, 식물성, 광물성의 3가지로 구분할 수 있다. 즉, 동물성(질소계)은 먹이중의 질소함량을 높일 수 있는 것으로 가축분, 식육가공폐기물, 수산가공폐기물, 인분뇨, 하수오니, 식물성 박류 등이 있다. 식물성(탄소계)은 농산부산물, 제지슬러지, 음식물 쓰레기, 신문지 등으로 먹이 중의 탄소함량을 높일 수 있는 폐기물이다. 광물성(무기계)은 점토, 산토양, 발토양, 제오라이트, 분말탄 등과 같은 무기성 재료로써, 수분 조절제로서 이용 가능한 것들을 들 수 있다.

- 2) 분쇄: 입자의 크기는 2cm 미만으로 분쇄한다.
- 3) 분리: 비닐과 금속류 등과 같이 발효되지 않는 물질을 분리 제거한다.
- 4) 혼합과 조합: 질소, 탄소, 무기계의 먹이를 적정하게 혼합하여 탄질율이 20-30의 범위로 균등하게 혼합한다.
- 5) 발효: 1차 발효가 완료된 먹이로써 유기산이 완전히 분해되어야 하는데, 유기산이 잔류되어 있을 경우에는 중화제로 탄산칼슘을 사용한다.



6) 지렁이의 방사: 사육상에 경쟁이 유발되지 않고 단위 기간동안 분립생산 또는 지렁이 생산량이 많은 적정밀도를 유지하는 것이 중요하데, 적정 개체밀도는 3-4만/m² 또는 먹이와 지렁이의 중량비를 8-10 : 1의 비율로 하는 것이 이상적이다.

7) 분립과 난포의 채취: 분립을 풍건한 후 2mm미만의 분립과 3-5mm 크기의 난포를 채취하여 건조후 상품화(토양개량제 또는 상토)하고, 난포는 사육상 또는 부화기에서 대량으로 부화한다.

8) 지렁이의 채취: 적정 밀도 이상의 지렁이는 채취하여 상품화한다.

지렁이와 분립의 가공과 이용

1. 지렁이의 가공과 이용

1) 습제품(wet protein): 지렁이 → 세척 → 개미산 3%로 처리한 후 밀봉 → 포장(상품화)

2) 건제품(dry protein): 지렁이 → 건조 → 분쇄 → 포장(상품화)

3) 습제품과 건제품은 어류나 가금류 사료의 동물성 단백질 자원으로 이용

4) 지렁이 체액 분리기로 체액을 2 성분으로 분획하여 살균, 정제후 의약품 원료로 이용할 수 있다.

2. 분립의 가공과 이용

1) 분립 → 건조 → 살균 → 다른 재료와 혼합 → 채로 균일한 입자로 조정 → 포장 → 상토 또는 토양개량제로 상품화

2) 분립을 상토로 이용할 경우에는 토양과의 혼합비율은 40-60%, peat moss와의 혼합비율은 50%로 하는 것이 식물체의 생육에 가장 좋다.

나가면서

이상에서 설명한 것과 같이 지렁이는 토양의 이화학적 성질의 변화, 토층의 변환, 환경의 형성 및 생물조절 기능을 강화하여 토양의 비옥도 증진에 밀접히 관여한다. 따라서 유기농업을 통하여 안전성이 높고 질 좋은 농산물의 생산을 위해서는 단위 면적 당 지렁이의 개체밀도를 높일 수 있는 유기물의 토양환원이 중요하다. 또한 현대 사회에서 대량으로 배출되는 유기성 폐기물을 자원화하기 위한 방법의 하나로 지렁이의 분해와 생산 기능을 이용한 생물학적 처리방법인 vermicomposting은 매우 유용하다고 생각된다.