

◀ 주제 7 ▶

토양미생물 다양성과 Biomass에 의한 토양건전성 평가

서장선 · 김상효 · 엄명호

(농촌진흥청 농업과학기술원 식물영양과)

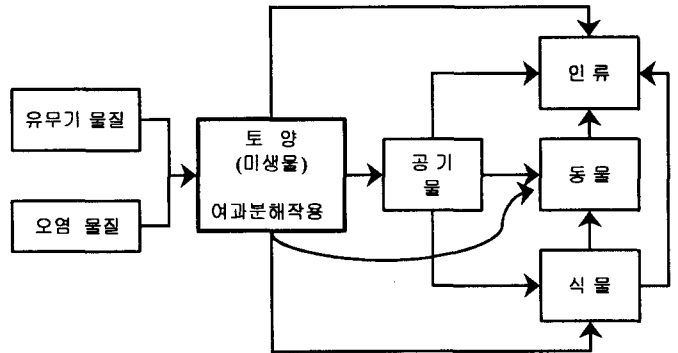
1. 서 론

토양에 대한 관심의 증가와 더불어 토양의 질 혹은 건전성이라는 단어가 최근 들어 많은 사람들에게 의해 사용되고 있다. 특히 OECD에서도 토양의 질 평가에 대한 국제 실무 회의를 거듭하고 있다. 이러한 현상은 토양이 생물권의 필수적인 구성체라는 인식에 의한 것이지만, 이는 식량생산에 대한 토양의 단선적인 기여도에서 벗어나, 토양은 자연정화와 직결되어 있는 환경이라는 인식이 높아 가고 있기 때문이다.

토양의 질과 건전성이란 용어가 일부에서는 같은 뜻으로 사용되기도 하나, 토양의 질은 작물의 생산성이요 건전성은 토양의 생태계적 기능을 환경친화적으로 유지하는 능력이라는 의미에서 접근하여야 할 것이다. 그러므로 토양의 질은 토양의 건전성 유지라는 영역 안에 포함되어 이해되어야 한다. 한편 토양 건전성이란 개념이 아직 새로워, 목적으로 하는 대상에 따라 의도적으로 일부 요인만 적용하여 평가하는 경우가 많다. 이러한 사실은 토양 건전성에 대한 논쟁의 여지가 아직도 많다는 것을 의미한다. 그러나, 토양의 건전성을 평가하고 적용하는 것은 토양관리뿐만 아니라 환경 보전에 필수적이므로, 토양의 건전성을 유지하는 구체적인 방법을 개발하여 활용하여야 한다.

2. 토양의 생태학적 위치

살아있는 여과기의 기능을 가지고 있는 토양은 환경의 질을 높여 생물권 전체를 안정화시킨다. 이 과정에서 토양은 <그림 1>과 같이 물을 순환시키고 화학 물질을 분해·합성하여 생산성과 환경의 질을 유지하



<그림 1> 토양의 생태학적 위치

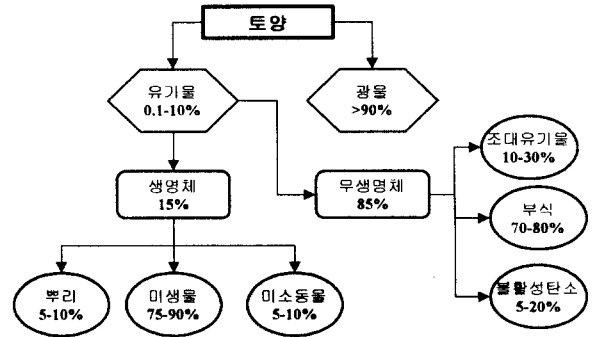
고, 식물·동물·인간의 건강을 증진하는 매체로서의 기능을 수행하고 있다. 이와 같이 토양은 환경을 포용하는 힘을 가지고 있는 살아있는 생명체라 할 수 있다. 그러므로 토양의 건전성을 올바르게 평가하기 위해서는, 환경의 질과 건전성에 관련된 다양한 원리들을 적용하여, 목적으로 하는 조사를 충족시키고 이용하기에 적합한 기술이 먼저 만들어야 해야 한다. 또한 개발된 기술도 농업생산자와 토양관리자가 현장에서 손쉽게 활용할 수 있어야 한다.

3. 토양생태계에서 미생물이 차지하는 비율

미생물이 토양 안에서 차지하는 비율은 <그림 2>와 같이 다른 조성에 비해 적지만 이들 미생물이 수행하는 기능에 의해 생태계가 유지되고 있음에서 토양미생물의 중요성을 알 수 있다.

이러한 토양미생물의 기능을 올바르게 이해하기 위해서는 토양의 물리·화학 그리

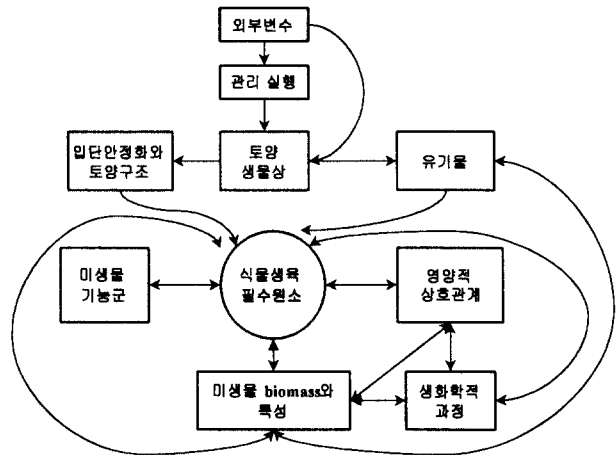
고 생물학적 특성을 알아야 하는데, 그 이유는 관련 분야가 에너지 전이와 대사·효소작용·미생물의 상호작용과 군락형성 그리고 복원력 등 매우 넓기 때문이다.



〈그림 2〉 토양 구성성분의 분포 비율

4. 토양미생물의 양분학적 관계

지구 생태계를 구성하는 대부분의 물질은 지구권내의 생물학적 변환과정을 뜻하는 지구 생물화학적 순환과정을 거친다. 비록 이런 작용이 한줌의 흙 안에서 일어난다 하여도 그 결과는 지구 전체 생태계에 영향을 미치기 때문에, 지구라는 거대한 시스템에서의 미생물의 역할 및 양분 순



〈그림 3〉 양분순환에 있어 토양구성원의 역할

환작용을 평가하고 이용하여야 한다. 양분순환에 관여하고 있는 여러 가지의 생물학적 요인들의 상호관계를 〈그림 3〉처럼 표시할 수 있다.

여기서 알 수 있는 것은 토양 생태계내의 모든 생물은 양분의 흐름 안에서 밀접한 관계를 형성하고 있다는 것이다. 이는 어느 한 요인만이 독자적으로 작용할 수 없다는 것이다. 그러므로 작물 재배 등 토양을 기반으로 하는 모든 일은 이러한 자

연 순환적인 양분동태를 파악하고 이들 기능을 적절히 활용할 수 있는 기법을 개발하고 이용하여야 한다.

5. 토양에는 얼마나 많은 미생물이 있는가

토양 미생물에는 세균, 사상균, 항생물질을 생성하는 방선균 그리고 조류(algae) 등 그 종류가 매우 많지만, 현재까지 알려져 있는 미생물의 종류별

〈표 1〉 토양미생물 종류별 개체수와 량

구 분	미생물 수(개체수/g 토양)	미생물체량(kg/ha)
사 상 균	20,000~1,000,000	2,500
세 균	100,000,000~10,000,000,000	1,000~2,000
방 선 균	100,000~10,000,000	0~2,000
조 류	1,000~1,000,000,000	7~300
원생동물	10,000~100,000	0~500

비율은 세균이 10%, 곰팡이와 효모 등의 균류가 5%, 그리고 조류는 67%라고 한다. 이처럼 이용할 수 있는 기지의 미생물이 일부에 지나지 않지만, 미지의 균이 많은 것은 미생물의 새로운 기능을 찾을 수 있는 가능성이 높다는 점에서는 긍정적으로 생각할 수 있다. 이것이 토양이 가지고 있는 잠재적 기능일 수도 있기 때문이다.

토양미생물의 수는 〈표 1〉과 같으며, 이들의 생물체량은 토양 1 헥타르를 기준으로 사상균 2,500kg 세균 1,000~2,000kg, 방선균 0~2,000kg, 조류(algae) 7~300kg, 원생동물 0~500kg, 식물의 뿌리는 20,000~90,000kg에 이른다. 미생물의 수가 어느 정도인가를 쉽게 생각하기는 어렵지만, 작물재배시 사용하는 비료량이 대략 헥타르 당 100~300kg이라 할 때 미생물체량이 어느 정도 되는지를 쉽게 추정할 수 있을 것이다. 한편 미생물체의 양적 개념을 떠나, 미생물도 사멸하면 쉽게 이용될 수 있는 유기물이라는 관점에서 이들이 가지고 있는 양분량이 비료학적으로 얼마나 높은지를 추정할 수 있을 것이다. 그러므로 미생물의 생태계 안에서의 역동적인 기능을 고려

할 때 미생물이 가지고 있는 역할과 잠재적 기능을 무시할 수 없다. 이러한 기능을 극대화하는 것이 바로 환경친화적 토양관리이며 작물재배라 할 수 있을 것이다.

6. 토양건전성 평가 지표

인류의 에너지 확보에 대한 열정만큼 지구의 자연순환 기능은 무거운 짐을 지고 있다. 그래서 지난 십 여년 동안 토양 침식·대기오염·과도한 경작·목축·산림황폐화·염류화 그리고 사막화 등에 의해 지구의 경작지 10% 이상이 심각하게 퇴화되고 있다고 보고되고 있다. 또한 지표수 및 지하수질이 집약적 경지 관리와 탄소 및 질소 물질의 불균형된 순환에 의해 위협을 받고 있어, 현대의 인류는 깨끗한 환경 유지와 식량생산에 필요한 균형된 토양관리체계를 확립해야 할 당위성에 직면해 있다. 이러한 문제를 풀기 위해서는 토양평가 요인을 생산성유지와 환경 복리에 관련된 토양의 다양한 기능이 포함된 지구생물화학적인 차원에서 종합적으로 파악해야 한다.

토양 건전성 평가는 인간의 건강진단 및 치료방법을 적용할 수 있다. 즉 발생된 문제점 혹은 증상에 따라 체계적으로 접근하여 진단하고 치료하는 것이다. 이러한 과정으

〈표 2〉 토양의 질과 건전성평가 지표요인

지	표	토 양	
		질	건전성
물 리 성	광물 조성	+	-
	토 성	+	-
	토 심	+	-
	가 비 중	+	+
	포장용수량	+	+
	공 극 률	+	+
화 학 성	pH	+	+
	전기전도도	+	+
	양이온치환용량	+	+
	유 기 물	+	+
	다량원소	+	+
	중 금 속	+	+
생 물 성	미생물체량	+	+
	토양호흡량	+	+
	가급태 질소	+	+
	효소활성	+	+
	미생물의 풍부성	+	+
	미소동물의 풍부성	+	+
	뿌리병해	+	+
	토양생물다양성	-	+
	먹이사슬구조	-	+

- 관련성이 약하거나 없음. + 관련성이 높음

로 토양을 평가 할 때 사용되는 방법은 생태계 작용과 상호관련성이 좋아야 하고, 토양 물리, 화학 그리고 생물학적 특질을 종합적으로 평가할 수 있어야 하고, 직접 측정하기에 어려운 토양기능 평가에도 기초 정보로 활용될 수 있어야 하고, 현장에서 사용이 편리해야 하고, 전문가와 생산자 모두가 동일한 결과를 얻을 수 있어야 하고, 영농관리나 기후와 같은 거시적 외부 변동에 민감하여야 하고, 기존의 토양 분석자료를 가능한 이용할 수 있어야 한다는 점이다.

이러한 개념에서 적용되는 지표요인은 <표 2>와 같다. 물론 토성·토양 PH·E C·질소·인산·칼리와 같은 개별요인을 검정하여 비옥도 영역에서 접근하기도 하지만, 비옥도는 생산성에 그리고 건전성은 환경에 관련되어있다는 점을 이해해야 한다. 그러므로, 토양 평가 지표요인의 생태계와의 연관성을 충분히 이해하고 있어야 한다. 생태계는 생물의 특성 및 작용별로 일정한 체계를 이루며 하나의 시스템을 형성하고 있기 때문이다. 따라서, 토양 건전성이란 이러한 거시적 생태계 질서 안에서의 토양의 기능을 평가하는 것이라고 할 수 있다.

7. 생물학적 토양 건전성 평가

생물학적 토양건전성평가 방법이 정립되어야 하지만 실험실(in vitro)과 현장(in situ)간의 연계성 부족 때문에 여러 가지 문제점들이 도출되고 있어, 이를 극복하기 위한 방법들이 다양하게 연구되고 있다.

생물성에 대한 평가를 자세히 살펴보면 <표 3>과 같이 여러 분야에서 검토되고 있지만 여기서는 미생물 수(population)·다양성지수(diversity)·미생물활성(activity) 및 미생물체량(biomass) 등에 대해 논하고자 한다.

〈표 3〉 생물학적 토양건전성 평가 지표

생물학적 지표		방법의 유효성	기술 요구성	지식 요구성	해석의 용이성	종합 결과
미생물체량	절 대 값	+++	+++	+++	++	+++
	미생물 지수	+++	+++	+	++	+++
미생물 활 성	토양 호흡	+++	++	+++	+++	++
	호흡지수	+++	++	+	+	+++
	질소무기화작용	++	+++	++	++	++
미생물상 분포	세 균	++	+	++	+	+
	사 상 균	++	++	++	+	+
	방 선 균	+++	++	+	+	+
	조 류	+++	++	+	+	+
미생물 기능군	셀룰로스 분해미생물	+++	++	++	++	++
	질화세균	+++	+++	++	++	++
	탈질세균	+++	+++	++	+	+
	뿌리혹박테리아	+++	++	+++	+++	++
	비공생질소고정균	++	+++	++	+	+
	균 근 균	++	+++	++	++	+++
미생물 군 락	뿌리병원균	+++	+++	++	+++	+++
	구 성 체	++	+++	+	++	+++
토 양 효 소	기능다양성	++	+++	+	++	+++
	탈수소효소	+++	++	+++	++	+++
토 양 효 소	인산가수분해효소	+++	++	+++	++	+++
	Sulphatases	+++	++	+++	++	+++
	Peptidases	+++	++	+++	++	+++
	효소 지수	-	+++	+	++	+++

- 없음, + 낮음, ++ 중간, +++ 높음

1) 토양 미생물 수

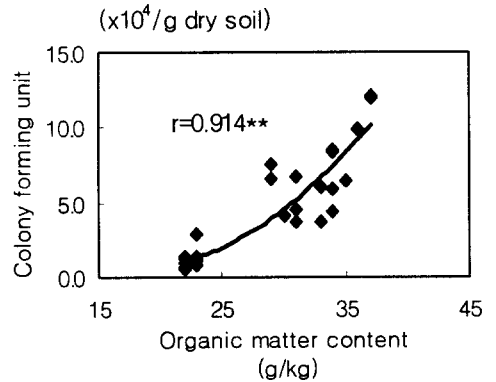
토양미생물수란 콜로니를 형성할 수 있는 하나의 독립된 미생물의 세포를 의미한다. 그렇기 때문에 단순히 개수라는 것보다는 콜로니 형성수(colony forming units, CFU)라 표현하는 것이 합리적이다. 토양종류별 주요 미생물의 콜로니 형성수는 〈표 4〉와 같이 전전지와 염류집적지간에 유의적인 차이가 있음을 확인할 수 있다. 그러나, 토양 미생물 계수에 사용되는 배지상에 나타나는 콜로니는 극히 제한되어 있기 때문에

배양 방법에 대한 내용이 구체적으로 언급되어져야 한다. 이와 같은 문제는 속 (genus)간 계수에서도 마찬가지다.

〈표 4〉 토양종류별 주요 미생물의 콜로니 형성수

토 양	미생물(cfu/g건토)				
	호기성 세균 (x10 ⁶)	방선균 (x10 ⁵)	사상균 (x10 ⁴)	Bacillus속 (x10 ⁵)	형광성 Pseudomonas속 (x10 ³)
척 박 지	51.7 b	35.0 ab	27.5 a	5.7 b	29.7 a
건 전 지	95.0 a	49.9 a	16.2 b	44.4 a	25.0 a
염류집적지	38.7 b	23.7 b	12.4 b	13.6 b	1.2 b
LSD 5%	31.2	19.0	4.0	13.2	13.8

예를 들어 토양의 고온성 *Bacillus*속 세균수는 〈그림 4〉 처럼 토양유기물함량과 유의성의 매우 높은 정의 상관관계가 있다. 이와 같이 토양의 미생물수를 측정하고자 할 때는 시험 목적에 알맞은 미생물을 선택적으로 측정하는 것이 필수적이다.



〈그림 4〉 논토양 유기물함량이 고온성 *Bacillus*속의 밀도에 미치는 영향

토양의 특성은 외부요인이 의해 끊임 없이 변해가고 있다. 그 가운데 미생물성은 매우 민감한 반응을 보이기 때문에 지속적인 관찰이 필요하다. 현재와 같이 토양 오염이 빈발하는 경우에 지표성 미생물의 변동상을 지속적으로 관찰함은 토양관리에 매우 유효하다고 생각된다. 이러한 과정의 하나로 우리나라 논토양의 연도간 미생물 변동상을 조사한 결과 〈그림 5〉와 같이 논토양에서는 미생물 밀도가 커다란 변화가 없이 안정화를 이루고 있음을 확인 할 수 있었다.

2) 토양미생물 다양성

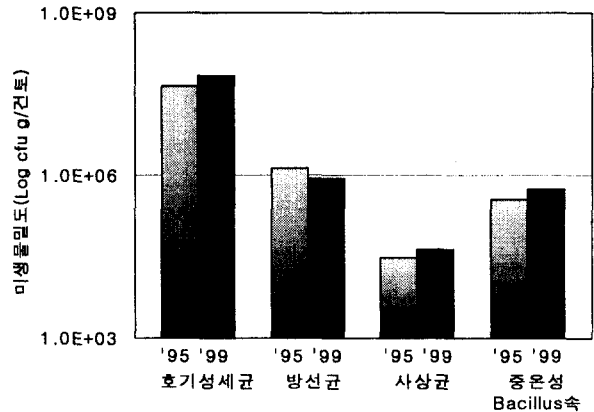
다양성이란 주로 동식물 생태학에서 사용되고 있는 용어지만 근래 들어 미생물에도 종 다양성 및 기능다양성과 같은 개념을 토양 건전성 평가에 이용하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

과거에는 세균, 사상균, 방선균과 같이 종류별 미생물수에

대한 관심이 많았지만, 현재는 이들 미생물 안에서도 어떠한 종류의 미생물이 어느 정도로 분포하고 있는가 하는데 관심을 기울이고 있다. 예를 들어 유기물이 분해되면서 생성되는 질소는 토양 안에서 질산화작용 혹은 탈질작용을 받게 된다. 이런 경우 일반적으로 말하는 세균의 수는 별 의미가 없다. 그러므로 속 및 종까지 세분화된 균의 밀도, 즉 질산화 작용에서는 *Nitrosomonas*속과 *Nitrobacter*속의 균이 각각 얼마나 되는지를 계수하는 것이 대사작용을 해석하는데 있어 보다 합리적인 것이다.

이러한 경우 비록 토양으로부터 인공적으로 측정할 수 있는 미생물의 종류가 제한적이긴 하지만 기능적으로 해석할 수 있기 때문이다. 그러므로 종다양성을 아는 것도 토양 생태계를 평가하는 데 있어 중요한 지침이 될 수 있다.

논 토양에서도 지형 및 토성에 따라 다양성에 차이가 있음을 확인 할 수 있다. 토성별 미생물 다양성은 <표 5>처럼 사질계 토양일수록 높아진다는 것이다. 물론 이 자료는 검출 가능한 세균에 의한 것이지만, 토양의 현



<그림 5> 논토양 주요 미생물의 연도간 변화

<표 5> 토성별 다양성 지수

토 성 (Soil Type)	다양성지수 (Diversity Index)
사 질 (Sandy soil)	0.443
사 양 질 (Sandy loam)	0.427
미사식양질 (Mehlich soil)	0.414
식 양 질 (Loam soil)	0.405
식 질 (Clay soil)	0.362

상을 미생물학적인 방법으로 해석할 수 있음을 의미하는 자료라 할 수 있다.

시설재배지 토양 미생물상 변화를 하나의 다른 예로 들 수 있다. 시설재배지 토양의 중온성 *Bacillus* 속 및 형

〈표 6〉 재배년수별 시설재배지 토양의 다양성지수

재 배 년 수	중온성 <i>Bacillus</i> 속 (x10 ⁶)	고온성 <i>Bacillus</i> 속 (x10 ³)	형광성 <i>Pseudomonas</i> 속 (x10 ⁴)	방선균 (x10 ⁵)	<i>Fusarium</i> 속 (x10 ²)	다양성 지 수
7 <	28.1	130.9	108.4	50.8	14.1	0.26
4- 6	22.7	88.4	91.5	60.7	12.1	0.27
1- 3	12.2	109.0	51.9	51.2	18.0	0.29

광성 *Pseudomonas*속 등 일부의 밀도는 재배년수가 높을수록 증가한 반면 다양성 지수는 〈표 6〉처럼 감소하였다. 이는 연작이 가능하도록 토양을 개량을 했다 하여도, 재배기간이 길수록 시설재배지 토양 안의 미생물종이 단순화되고 있음을 의미한다. 이와 같이 다양성 지수는 토양 안에서 미생물 종이 어느 정도로 균형을 유지하고 있는가를 파악하는 자료로 활용할 수 있다.

기능다양성이란 미생물의 기능인 활성이 환경 안에서 얼마나 높은가를 나타내는 것이다. 그러므로 이러한 특징을 체계화시키면 생태계에서의 미생물의 역할을 보다 분명하게 파악할 수 있어, 농업환경에서의 미생물의 기능을 보다 유용하게 이용할 수 있을 것이다. 왜냐하면 기능다양성은 배양방법에 의해 검정되지 않는 미생물의 생화학적 기능을 평가하는 것이기 때문이다.

종다양성이란 어떠한 종류의 미생물이 어느 정도로 분포하고 있는가를 뜻하며, 기능다양성이란 특수한 기능을 가지고 있는 미생물이 어느 정도로 분포하고 있는가 하는 것이다. 미생물이 어떠한 역할을 수행하고 있다는 점에서는 이 두 개념이 비슷하다고 생각할 수 있지만, 배양법으로 분리할 수 없는 미생물이 배제된 종다양성과는 달리 기능다양성에는 분리하기 어려운 미생물의 생화학적인 물질 대사능도 포함되어있다는 점에서, 기능다양성이 종다양성 보다 더욱 확장된 개념이라 할 수 있을 것이다.

정상적인 생태계란 여러 종류의 미생물이 상호작용을 하는 생물학적 완충능이 형

성되어 있는 곳이기 때문에, 토양 안에서는 각각의 미생물이 끊임없이 견제작용을 하고 있다. 비록 인류에게 직접적인 이로움을 주지 않는 미생물이라도 다른 종류의 동식물에 영향을 주고 있기 때문에, 생태계 전체의 물질 순환을 고려한 먹이사슬의 입장에서는 여러 종류의 생물이 환경에 적응하여 고루 분포하는 것, 즉 종다양성이 높게 확보되는 것이 무엇보다 중요하다. 그러므로 이러한 관계가 균형을 이루고 있는 환경을 건전한 생태계라 할 수 있다.

3) 토양 미생물의 활성

활성(activity)이란 미생물의 대사활동에 필수적인 각종 효소 및 호흡작용 등이 다. 이러한 활성이 최대가 되기 위해서는 해당 효소에 적합한 조건이 주어져야 한

〈표 7〉 토양 종류별 주요 효소 활성(배추재배)

토 양	효 소		
	Dehydrogenase ($\mu\text{g TPF}$)	Phosphatase ($\mu\text{ mol PNP}$)	Protease (nmol Leucine)
척 박 지	11.5 b	1.2 c	6.5 b
건 전 지	26.2 a	2.1 a	12.8 a
LSD 5%	8.1	0.1	4.1

다. 이는 곧 미생물의 생육최적조건과 일치하게 되는데, 토양종류별 주요 효소활성은 〈표 7〉과 같다. 토양효소도 토양미생물수와 마찬가지로 건전지와 척박지가나에 Dehydrogenase와 Phosphatase가 유의적인 차이가 있음을 확인할 수 있다.

4) 토양 미생물체

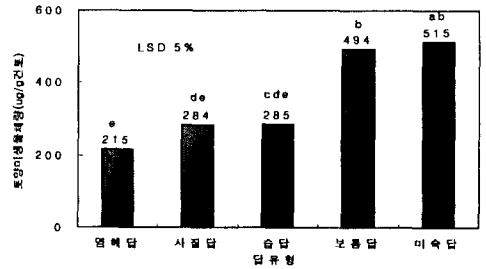
토양관리에 있어 유기물은 매우 중요하다. 특히 살아있는 유기물인 토양미생물체는 물질의 분해·생산 등을 통한 환경 정화 및 양분 순환의 기능과 양분 저장고(pool)로서 그 중요성이 매우 크기 때문에, 토양이 보유하고 있는 미생물체량은 토양의 생물활성량이라 할 수 있다.

우리 나라 밭토양의 농업기후지대별 미생물체량은 남부지방으로 갈 수록 많아지고, <표 8>과 같이 척박지에 비해 건전지에서 Biomass C 및 Biomass N이 높음을 알 수 있다. 또한 미생물 체량이 <그림 6>과 같이 논 토양 유형간에도 유의적인 차이가 있음이 밝혀지고 있다.

이러한 특성을 가지고 있는 토양 미생물체량은 앞에서 설명한 미생물 수 및 활성 값에 대한 보완적인 의미가 크다. 그 이유는 검출되지 않는 미생물들도 미생물체량에는 포함되고, 유기자원으로서 양분보유능도 가지고 있기 때문이다.

<표 8> 토양종류별 미생물체량

토 양	미생물체량 ($\mu\text{g}/\text{g}$ 건토)	
	Biomass C	Biomass N
척 박 지	211 b	17.1 b
건 전 지	270 a	28.2 a
LSD 5%	32	5.2



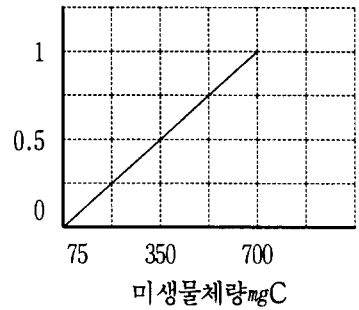
<그림 6> 논토양 유형별 토양미생물체량

8. 토양 평가방법의 적용

토양 평가 적용지표 현장에 적용하기 위해서는 절대적 기준치가 있어야 하지만, 적용 대상이 지구 생태계라는 거대한 시스템이기 때문에 기준치는 지역간에 차이가 있다. 이러한 문제점에도 불구하고 연구자들은 통일된 판정 방법을 제시하고자 노력하고 있다. 평가방법 중 하나는 지표요인별로 평가하여 점수를 매기는 것이다. 예를 들어 지표요인을 지렁이로 하였을 때 지렁이 동태가 없는 것은 0점, 지렁이가 들어간 구멍이나 배설물이 몇 개 있을 때는 2점, 아주 많을 때는 4점으로 매겨 종합 점수화하여 판정하는 것이다. 이외에도 침식, 경작, 토양구조, 압밀성, 침투성, 배수성, 수분보유력, 분해능, 피복성, 경도, 냄새, 토성, 통기성, 토심 등 43

개의 지표요인이 각기 특성에 따라 적용하고 있다(Roming 등, 1995)

다른 방법은 Karlen 등(1994)에 의해 제시된 것인데, 지표에 따라 기능점수를 부여하는 것이다. 즉 기능에 대한 범위와 한계점을 설정하여 놓고 지표별로 평가하는 것이다. 예를 들어 미생물활성·양분순환작용·여과작용 및 완충작용을 평가하는 지표로 활용되는 토양미생물체량의 범위가 75~700mgC/kg이라면, <그림 7>과 같이 설정하여 놓고 미생물체량의



<그림 7> 미생물체량의 기능점수

값을 대입하여 평가하는 것이다. 이 조건에서는 토양 미생물체량이 최소 75mgC이상이어야 하며, 700mgC까지는 많으면 많을수록 좋다는 것을 의미하는 것이다.

여기서 예로든 두 가지의 평가 방법 외에도 다양한 적용방법이 있지만, 이러한 모든 노력은 토양평가에 적용할 수 있는 요인을 종합적으로 다중 검토하여 보다 환경적인 방법으로 토양을 관리하려는 의지가 있을 때 효용가치가 높아질 것이다.

9. 결 론

생태계는 다양한 요인에 의해 복합적으로 영향을 주고받으므로 어떤 현상을 단선적으로 평가하기 어렵다. 물리화학적인 법칙과는 달리 정량화하기 어려운 다양한 규칙이 다중적으로 조화되어 끊임없이 변하기 때문이다. 그러나, 미생물은 환경에 대한 감수성이 빨라 토양의 생물적인 특성 변화를 가장 먼저 나타내기 때문에, 미생물은 생태계의 가변적 변동상의 지표가 될 수 있다.

토양이 가져야 할 중요한 점은 생물학적 완충능 확보와 다양한 미생물상을 유지하는 것이다. 생물학적 완충능이 높고 다양성이 확보된 곳에서는 생물학적 대사능

력(biological metabolizing capacity)이 높기 때문이다. 이외에도 다양한 생물학적 특성이 있지만 이러한 모든 것을 토양이 가지고 있는 고유의 생물학적 용량(biological capacity)이라 할 수 있다.

토양의 생명력은 토양에 서식하는 미생물에 의해 유지되지만, 토양미생물의 역할이 화학물질 효과에 눌러 현실적으로 무시되어 온 것이 사실이다. 그러나, 근래에 들어 식량공급 등 인류의 제반 생산활동이 환경이란 이름 하에 추진되고 있다. 이것은 환경오염에 대한 반작용일 수도 있지만, 미래 인류 환경을 책임진다는 현재의 우리의 의무라 하는 것이 타당하다고 생각된다.

토양은 생태계 물질대사에서 필수적인 기능을 수행하고 있지만 가지고 있는 용량은 제한되어있어, 현대의 기하 급수적인 인구증가와 산업활동의 과팽창에 따른 토양생태계의 퇴화는 필연적일지도 모른다. 그러므로 금세기는 토양의 생물학적치유(bioremediation)능 같은 자정능력 그리고 물질순환능 등이 고려된 생물학적 용량을 고려하여 토양환경을 평가하고 관리 이용하는 지혜로운 접근이 다른 어느 때보다 절실한 시대라 하겠다.

참고문헌

1. Soil quality thunderbook. USDA. USA. 1999.
2. Biological indicators of soil health. CAB international. UK. 1997.
3. Methods for assessing soil quality. Soil Science Society of America. USA. 1996.
4. Soil biota. Management in sustainable farming system. CSIRO. Australia. 1994.