

脫水素酵素, 脫氮菌 및 黃酸還元菌의 定量을 통한
溫山工團과 摩尼山 山林土壤의 動態 調査¹

朴 賢²

Investigation on Forest Soil Dynamics at Onsan Industrial Estate
and Mt. Mani by the Assay of Dehydrogenase Activity,
Denitrifying and Sulfur-Reducing Bacteria¹

Hyun Park²

요 약

본 연구는 토양의 화학적 특성과 탈질소, 황 환원에 관여하는 세균류 및 탈수소효소 활성의 관계를 살펴보고, 궁극적으로는 산림 토양생태계의 동태를 평가하는 도구로 탈수소효소를 활용할 수 있는지에 대하여 고찰한 것이다. 오염지역으로 여겨지는 온산공단 주변과 해안의 청정지역인 강화도 마니산에서 각각 침엽수림과 활엽수림을 선정, 총 4개 임분을 대상으로 본 연구를 수행하였는데, 마니산 토양은 온산공단 주변에 비하여 상대적으로 유기물, 질소, 유효인산 등의 함량이 높아 미생물의 활동에 유리한 것으로 여겨졌다. 한편, 탈질균이나 황산환원균은 지역간 차이가 없었던 반면, 탈수소효소의 활성은 지역이나 시기에 따른 변화를 뚜렷이 나타내어 두 종류의 미생물 정량기법에 비하여 훨씬 민감하게 나타났다. 또한, 탈수소효소는 미생물의 활성과 깊은 관계가 있는 것으로 여겨지는 유기물함량($r=0.53$, $p=0.004$), 전질소($r=0.41$, $p=0.008$)나 C/Ava. P 비율($r=-0.52$, $p=0.001$) 등과 비교적 높은 상관관계를 나타내었다. 따라서, 비슷한 토성을 지녀야 비교가 가능하다는 다른 연구자들의 지적을 감안하여 수행한다면, 토양생태계의 동태를 파악하는 지표로서 탈수소효소를 활용할 수 있을 것으로 여겨진다.

ABSTRACT

This study was conducted to figure out the relationships among soil chemical properties and bacterial biomass related to denitrification and sulfur-reducing and the activity of dehydrogenase, and ultimately to consider the usefulness of dehydrogenase activity as a tool for evaluating the dynamics of forest soil ecosystem. Four sites were selected for the collection of soil samples within two regions(Onsan industrial estate as a polluted region and Mt. Mani at Kanghwa island as a clean area) with two forest types (coniferous and deciduous stands). The soils of Mt. Mani showed higher amount of organic matter, total nitrogen and available phosphorus than those collected from Onsan industrial estate, which indicated that the soils were more beneficial for microbial growth than those of Onsan. The dehydrogenase activity was more sensitive than the denitrifying bacteria or sulfur-reducing bacteria since the activity was significantly different between the regions and season while the two bacterial biomass were not significantly different between the two regions. In addition, the dehydrogenase activity showed relatively high correlation coefficients with organic matter($r=0.53$, $p=0.004$), total nitrogen($r=0.41$, $p=0.008$) and C/Ava. P-ratio($r=-0.52$, $p=0.001$), which was thought to be closely related with microbial activ-

¹ 接受 1998年 2月 16日 Received on February 16, 1998.

² 산업연구원 산림미생물과 Div. of Forest Microbiology, Forestry Research Institute of Korea.
(e-mail:ParkHyun@hitel.net)

ity. Thus, the dehydrogenase activity was thought to be a useful index of soil ecosystem dynamics with considering that the technique need to be applied with the same soil texture for the comparison of the activity as other researchers indicated.

Key words : soil ecosystem, microbial activity, soil enzyme, C/Ava. P-ratio

서 론

토양은 육상생태계(terrestrial ecosystem)의 토대로서 생태계의 전반적인 발전과 쇠퇴현상의 수용체인 동시에 이러한 동태에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 구성원이다. 이에 따라 토양생태계(soil ecosystem)라는 개념 아래 토양내 각종 물질 변화나 생물상의 동태에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는데, 특히 대기오염을 비롯한 환경오염이 토양생태계에 미치는 영향을 조사하여 생태계의 환경오염에 대한 전반적인 반응도를 평가하기 도 한다.

하지만, 토양의 이화학적 특성은 환경오염이 발생한다고 할지라도 단기간 내에 그 영향이 반영되지 않아 뚜렷한 영향 평가를 하기 어려워 최근에는 지의류를 비롯한 토양미생물을 이용한 토양생태계의 건전도 평가기법이 시도되고 있다(유정환 등, 1995). 하지만, 토양미생물의 양을 단순히 파악하는 것으로는 토양생태계의 동태를 설명하는 것은 불가능한데, 이는 토양미생물 모두가 활성을 띠고 토양 동태에 적극적으로 관여하고 있는 것은 아니기 때문이다(Tate, 1995).

토양생태계의 활력이나 동태를 파악하려면 토양에서 일어나는 실질적인 활력을 평가하는 기법이 요구되는데, 이를 충족할 수 있는 좋은 기법의 하나가 토양효소를 이용하는 방법이다(Burns, 1978). 토양내에는 여러 가지 효소가 있는데, 이 모든 효소의 제공원은 대체로 토양내에 존재하는 각종 미생물이므로(Burns, 1982), 이들을 통하여 토양생태계의 동태를 평가하는 기법이 최근에 많이 활용되고 있다(Dick과 Tabatabai, 1993; Garcia와 Hernandez, 1997). 특히, 탈수소효소(dehydrogenase)는 전반적인 미생물의 활력이나 유기물 분해력과 밀접한 관계가 있어서 각종 물질처리 에 따른 미생물상 변화를 파악할 때 지표로 활용된다(Frankenber와 Dick, 1983; Chander 등, 1995; Serrawitting 등, 1995).

이러한 배경에서 본 연구는 산림토양의 이화학

적 특성이나 기타 산림생태계 구성 요소와 탈수소효소의 연관성을 평가하고, 또한, 다른 토양미생물상의 검정결과와 비교를 통하여 탈수소효소를 산림 토양생태계의 동태 연구에 활용할 수 있는지 고찰하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

대기오염에 의한 토양오염이 심할 것으로 여겨지는 울산시 소재 온산공단 주변과 청정 해안지역으로 생각되는 강화도 마니산에서 각각 비슷한 토양형을 지닌 침엽수림과 활엽수림을 선정하였다. 온산공단 주변의 침엽수림은 표고 60m 내외의 25° 경사를 지닌 산정부에 위치한 동사면으로서 소나무(*Pinus densiflora*)가 상층을 우점하고 있었다. 초본은 산거울(*Carex humilis*)과 큰까치수영(*Lysimachia clethroides*)이 많이 나타나고 있었다. 침엽수림 아래에 위치한 활엽수림은 표고 20m에 경사도 15° 내외를 지닌 산록부의 동사면이었다. 이 곳에는 주름조개풀(*Oplismenus undulatifolius*)이 초본류를 대표하고 있었으며 상수리나무(*Quercus acutissima*)와 밤나무(*Castanea crenata*)가 상층부를 우점하고 있었다. 한편, 해안에 위치한 강화도 마니산의 침엽수림은 표고 20m 내외의 산록부에 위치하고 있었는데 경사도 15°의 북동사면이었다. 이 숲은 우세목인 소나무(*Pinus densiflora*) 사이에 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 일부 침입한 상태이었고, 하층에는 털대사초(*Carex ciliato-marginata*)가 초본류를 대표하고 있었다. 인접한 활엽수림은 북서사면으로서 표고는 약 50m에 달하며 경사도는 20°이었고, 신갈나무(*Quercus mongolica*)가 우점하고 있는 상태에서 관목층에는 진달래(*Rhododendron mucronulatum*)가 다수 출현하는 숲이었다.

전반적인 생활형 구성을 보면 온산공단 주변이 마니산에 비하여 1년생 식물이 상대적으로 높게 나타나 생태적인 관점에서 볼 때 공단 주변이 다소 불안정한 모습을 나타내고 있었다. 두 지역의

Table 1. Physicochemical properties of soils collected from four stands used for the experiments.

Region/forest	soil type	soil texture	pH	OM (%)	total N(%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K Ca Mg Na				SO ₄ (ppm)	
							(extractable, me/100g)					
Ulsan	conifers	B ₁	SiL	4.47	4.56	0.19	5.22	0.16	0.98	0.29	0.19	147.8
	deciduous	B ₃	SiL	4.79	4.57	0.23	9.34	0.20	2.70	0.94	0.19	65.3
Kanghwa	conifers	B ₂	SL	4.57	6.33	0.27	18.97	0.11	0.53	0.18	0.16	86.67
	deciduous	B ₃	L	4.70	9.18	0.38	41.27	0.15	0.63	0.17	0.18	51.7

숲을 형성하는 기반은 모두 갈색산림토양(Brown forest soils)의 범주에 속하였고 A층은 모두 5cm 이상의 두께를 나타내었지만, 토성을 비롯한 이 화학적 특성은 각 지역과 임형(林形)별로 다소 차이를 나타내었다(Table 1).

2. 토양시료 채취 및 조제

각 지역별로 두 가지 유형의 임분(소나무림, 활엽수림)에서 5개의 조사구를 선정하였다. 직경 52mm의 토양채취기를 이용하여 4개 지역 모두 A층에 해당하는 표층토양(0~5cm) 3곳 이상을 각 조사구내에서 무작위로 선정하고 토양시료를 채취하여 잘 섞었다. 토양 시료는 봄철(4월 하순)과 여름철(8월 중순)에 채취하였으며, 채취한 시료는 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하여 각 실험목적에 따라 조제한 후 토양미생물상 및 이 화학적 특성과 탈수소효소 정량을 위하여 사용하였다.

3. 탈질균 및 황산환원균 정량

채취된 시료를 실험실로 운반한 뒤 토양을 풍건시키기 전에 2mm의 체로 걸러 10g의 시료를 95ml의 0.85% NaCl 용액에 넣었다. 이 용액은 10⁻⁸까지 희석한 후 각 미생물 종류별로 준비한 액체배지에 접종하여 MPN 방법에 의하여 양을 추정하였다(Alexander, 1982). 동시에 10g의 토양시료를 건조기에서 105°C로 48시간 건조 후 중량을 측정하여 건조량 1g당 bacterial colony forming unit을 추정하였다.

탈질균 조사를 위해서는 1ℓ의 증류수에 KNO₃ 0.5g, nutrient broth 8.0g을 넣은 액체배지를 사용하여 2주간 배양하였다(Tiedje, 1982). 황산환원균은 1ℓ의 증류수에 KH₂PO₄ 0.5g, NH₄Cl 1.0g, CaSO₄ 1.0g, MgSO₄·7H₂O 2.0g, Sodium lactate 3.5g, Yeast extract 1.0g, Ascorbic acid 0.1g, Thioglycollic acid 0.1g, FeSO₄·7H₂O

0.5g을 첨가한 배지상에서 3주간 배양한 후 흑색 침전물의 생성여부를 조사하였다(Neal, 1985).

4. 토양의 화학적 특성 분석 및 탈수소효소 정량

토양산도는 증류수 5배액에 희석한 후 pH-meter를 사용하여 측정하였으며, 유기물함량, 전질소, 치환성 염기(K, Na, Ca, Mg), 유효인산, 황 등은 일반적인 토양 분석법에 의거하여 정량하였다(김동수, 1988).

탈수소효소의 정량기법인 2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride(TTC)를 이용하는 방법과 2-iodophenyl-3-*p*-nitrophenyl-5-phenyl tetrazolium chloride(INT)를 이용하는 방법의 정확도에 대하여는 아직도 이견이 많다(Trevors, 1984; Gong, 1997). 하지만, 탈수소효소의 측정원리는 토양효소에 의하여 유리되는 수소의 수용체로서 TTC나 INT를 사용하는 것이며, 적절한 배양조건에서 제대로 배양한다면 TTC가 간단하면서도 좋은 결과를 나타내므로(Gong, 1997), 본 연구에서는 조제가 상대적으로 간편하며 미국 토양학회에서 권장하는 TTC 이용법을 사용하였다(Tabatabai, 1982). 풍건한 토양 시료 20g에 0.2g의 CaCO₃를 섞은 후, 혼합시료 6g을 배양병에 넣은 후 3% TTC 용액 1ml와 증류수 2.5ml를 첨가하여 잘 섞고 37°C의 항온기에 넣어 24시간 배양하였다. 배양된 토양에 10ml의 메탄올을 넣고 1분간 흔들어 잘 섞은 후 거름종이를 통해 100ml 메스플라스크로 걸러 옮기고 메탄올로 100ml 메스플라스크의 눈금까지 채운 후 표준용액과 더불어 흡광도 측정기로 485nm에서 흡광도를 측정, 비색정량하였다.

5. 통계분석

조사된 자료의 통계분석을 위해서는 SAS system을 사용하여 ANOVA(GLM)를 실시하고, 유의차가 인정될 경우 각 조사치 평균값의 차이를 a

=0.05의 범주에서 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다(SAS, 1985). 아울러, 미생물 활성과 연관되는 토양의 이화학적 특성과 탈수소 효소와의 상관성은 Pearson의 Correlation 방식에 따라 각 인자간의 상관관계를 분석하였다.

연구 결과

1. 토양의 이화학적 특성

함수율은 임형에 따른 차이는 없었지만, 봄철이 여름에 비하여 함수율이 높고, 온산공단 주변이 마니산에 비하여 높았다(Table 2). 아울러, 토양의 pH도 지역에 따른 차이는 없었으나 봄에 비하여 여름, 침엽수림에 비하여 활엽수가 높게 나타났다. 하지만, 이 결과를 토대로 온산공단 주변의 토양 산성도가 거의 없는 것으로 결론짓기는 어려운데, 그 이유는 온산공단 주변의 토양에 칼슘 등 양이온의 함량이 상대적으로 높고(Table 1), 온산공단 지역의 모암이 강화도지역의 모암인 화강암 계통에 비하여 상대적으로 pH가 높은 퇴적암계 물질임을 감안하여야 하기 때문이다.

유기물 함량과 전질소 함량은 시기에 따른 차이는 크지 않으나 온산공단 주변에 비하여 마니산이, 침엽수림에 비하여 활엽수림이 높게 나타났다. 즉, 강화도 마니산의 토양이 온산공단 주변에 비하여 유기물과 질소함량이 높은 것으로 나타났는데 이러한 현상은 유효인산에서도 마찬가지로 모습을 나타내었다. 또한, 유효인산은 봄철에 비하여 여름철에 약 2배 정도로 상승하는 모습이 나타났는데, 이는 pH의 상승과 더불어 가용한 인산의 양이 급증하게 됨을 시사한다. 즉, 봄철에 수분과 더불어 양이온이 수목에 의하여 활발히 흡수됨에 따라 봄에는 낮은 pH를 나타내다가 여름이 되면서 pH가 상승하는 현상이 파생된 것으로 여겨지며, 이에 따라 pH에 민감하게 반응하는 유효인산도 계절변이를 나타내게 된 것으로 추측된다.

아울러, C/N-ratio(炭窒率)는 11.5~16.5의 범위를 나타내며 지역이나 임형, 시기에 따른 유의차가 전혀 없었지만, C/Ava. P-ratio(炭磷比)는 지역, 임형, 시기별로 통계적인 유의차가 나타났다(Table 3). C/Ava. P-ratio가 낮을수록 일정한 유기물원에 비하여 에너지원인 인산이 많음을

Table 2. Soil physicochemical properties of soil surface(0~5cm) collected from Ulsan and Kanghwa (mean±standard error, n=5).*

region	season	forest type	moisture content(%)	soil pH	organic matter(%)	total N (%)	available P ₂ O ₅ (ppm)
Ulsan	spring	conifers	33.0±1.5 ^c	4.37±0.03 ^a	4.53±0.25 ^b	0.19±0.01 ^a	6.4±0.3 ^b
		deciduous	27.4±0.7 ^b	4.70±0.03 ^c	5.34±0.21 ^c	0.26±0.01 ^b	10.9±0.9 ^c
	summer	conifers	35.8±0.7 ^c	4.57±0.01 ^b	4.58±0.31 ^b	0.19±0.01 ^a	4.1±0.5 ^a
		deciduous	24.8±0.8 ^b	4.87±0.08 ^d	3.80±0.20 ^a	0.19±0.01 ^a	7.8±1.8 ^b
Kanghwa	spring	conifers	23.8±2.4 ^b	4.52±0.04 ^b	6.18±0.66 ^{cd}	0.26±0.02 ^b	22.7±2.8 ^c
		deciduous	34.4±2.5 ^c	4.70±0.04 ^c	8.19±0.81 ^e	0.34±0.07 ^{bc}	49.6±8.5 ^d
	summer	conifers	15.8±3.4 ^a	4.61±0.04 ^{bc}	6.47±1.10 ^d	0.28±0.04 ^b	15.3±3.1 ^d
		deciduous	24.6±1.9 ^b	4.70±0.04 ^c	10.16±0.57 ^e	0.41±0.05 ^c	34.6±4.2 ^f

* The same letters indicate that the values in each column were not significantly different at the 5% level.

Table 3. C/N- and C/Ava. P-ratio of each soil samples collected from Ulsan and Kanghwa(mean±standard error, n=5).*

ratio	treat	Ulsan(Onsan industrial estate)				Kanghwa island(Mt. Mani)			
		coniferous stands		deciduous stand		coniferous stands		deciduous stand	
		spring	summer	spring	summer	spring	summer	spring	summer
C/N		13.5±0.4 ^a	13.7±0.6 ^a	12.1±0.1 ^a	11.5±0.3 ^a	13.7±0.8 ^a	13.2±0.3 ^a	16.5±3.4 ^a	15.2±1.9 ^a
C/P		4100±300 ^d	6700±400 ^e	2900±200 ^c	3300±600 ^c	1600±100 ^b	2500±200 ^c	1000±200 ^a	1800±200 ^b

* The same letters indicate that the values in each row were not significantly different at the 5% level.

의미하므로, 마니산 토양이 온산공단 주변에서 채취한 토양에 비하여 미생물동태가 활발한 것으로 예상할 수 있는 지표이다.

2. 탈질균, 황산환원균 및 탈수소효소

탈질균은 지역(온산공단과 마니산)이나 임형(침엽수림과 활엽수림)에 따라 유기물함량이 큰 차이를 나타낸 것과는 대조적으로 통계적인 유의차가 없고, 채취시기에 따라서 변화가 발생함을 나타내었다(Table 4). 특히, 봄에 비하여 여름철에 탈질균의 양이 많아지는 것으로 나타났는데 이는 일반적으로 온대지방에서 토양미생물의 활성이 봄에 비하여 여름철에 높게 나타나는데 기인한 것으로 여겨진다(Higashida와 Takao, 1985). 반면, 지역이나 임형에 따른 차이가 뚜렷하지 않은 것은 일반적으로 탈질화작용이 혐기적 기작으로서 수분함량이나 무기태 질소가 풍부한 곳에서 국소적인 형태로 많이 발생하는데 기인한 것으로 생각된다. 즉, 탈질균은 전반적인 토양환경의 차이가 뚜렷한 경우에는 큰 차이를 나타내지만(박현, 1997), 계절에 따른 온도조건의 변이 등 국소환경 변이의 영향을 크게 받음을 알 수 있었다.

반면, 황산환원균은 각 지역, 시기, 임형별로 다소 차이가 있었지만 일정한 경향을 파악하기 어려웠다. 온산공단 주변에서는 침엽수림에 비하여 활엽수림에서 황산환원균의 활성이 높은 것으로 나타났지만, 마니산에서는 오히려 침엽수림에서 더 높은 활성을 나타내었으며, 계절에 따른 변이는 통계적인 유의차를 발견할 수 없었다.

한편, 탈수소효소의 활성은 임형에 따른 차이는 크지 않았으나 지역이나 시기별로 뚜렷한 차이를 나타내어 탈질균이나 황산환원균과 다른 반응을 나타내었다. 탈질균과 마찬가지로 여름철에 활성이 높았던 것은 Serrawittling 등(1995)이 설명한 것처럼 탈수소효소가 미생물의 전반적인 동태를 반영한 것으로 여겨지며, 온산공단 주변에 비하여 마니산에서 활성이 높게 나타난 것은 유기물 분해도 등 양료순환과 관계하는 각종 미생물 동태가 마니산이 온산공단 주변에 비하여 상대적으로 활발함을 추론케 하였다.

고 찰

토양내의 유기물 함량을 비롯한 각종 화학적인 특성의 변화는 매우 느리게 진행되므로 실제 변화를 감지하기까지는 꽤 오랜 시간이 걸린다. 반면, 토양내 생물학적인 특성은 각종 환경오염이나 간섭에 대하여 상대적으로 단기간내에 민감하게 반응하므로 토양생태계 변화의 지표로 활용된다(Dick과 Tabatabai, 1993). 또한, 토양 미생물에 의하여 분비되는 각종 효소는 점토입자나 토양유기물과 공유결합 등의 상태로 존재하며 토양 생태계의 동태를 추측하는 도구로 활용될 수 있고(Burns, 1982), 특히, 탈수소효소는 유기물분해의 초기단계 등 전반적인 미생물의 활력도의 지표로 활용될 수 있는 것으로 여겨진다(Trevors, 1984; Bolton 등, 1985; Garcia와 Hernandez, 1997). 물론, 이에 대한 이견도 제법 있는데, 특히 탈수소효소의 활력은 토성의 영향을 심하게 받는 것

Table 4. Biochemical properties of soils collected from Ulsan and Kanghwa(mean±standard error, n=5).*

region	season	forest type	denitrifying	sulfur-reducing	dehydrogenase
			log(no. of bacteria/g soil)		($\mu\text{g TPF/g soil}$)
Ulsan	spring	conifers	3.85 ± 2.54 ^a	4.82 ± 3.51 ^a	32.86 ± 3.84 ^a
		deciduous	4.25 ± 2.94 ^b	5.52 ± 4.21 ^b	22.15 ± 6.25 ^a
	summer	conifers	6.98 ± 5.67 ^{cd}	4.67 ± 3.36 ^a	52.66 ± 7.41 ^b
		deciduous	6.13 ± 4.82 ^c	5.21 ± 3.90 ^b	82.04 ± 6.11 ^c
Kanghwa	spring	conifers	3.88 ± 2.57 ^a	6.10 ± 4.79 ^c	147.3 ± 26.2 ^d
		deciduous	3.84 ± 2.56 ^a	5.39 ± 4.08 ^b	159.4 ± 10.6 ^d
	summer	conifers	6.76 ± 5.45 ^c	5.02 ± 3.71 ^b	226.1 ± 19.3 ^e
		deciduous	7.16 ± 5.85 ^d	5.29 ± 3.98 ^b	250.0 ± 47.8 ^e

* The same letters indicate that the values in each column were not significantly different at the 5% level.

으로 보고되고 있다(Beyer 등, 1993; Garcia와 Hernandez, 1997).

이에 따라 본 연구에서는 비슷한 토양형(soil type), 토성을 지닌 4개의 임분을 대상으로 식생이나 오염원과의 거리 등 지리적인 여건으로 인하여 예상되는 환경오염도 등을 조사하였다. 토양의 이화학적 특성과 더불어 탈질균, 황산환원균 및 탈수소효소의 활성을 비교한 결과, 탈질균이나 황산환원균에 비하여 탈수소효소의 활성도에 의한 차이가 더욱 민감함을 확인할 수 있었다. 또한, 탈수소효소는 일반적으로 미생물의 활성과 밀접한 관계를 지니는 유기물 함량과 $r=0.5349(p=0.004)$, 전질소 함량과는 $r=0.4114(p=0.008)$, C/Ava. P-ratio와는 $r=-0.5202(p=0.001)$ 의 상관관계를 나타내어 전반적인 미생물 동태와 깊은 상관이 있음을 알 수 있었다. 즉, 탈수소효소는 미생물 활성도를 평가하는 좋은 지표임을 알 수 있었다.

환경오염이나 기타 인간의 간섭현상 등으로 인하여 토양생태계의 변화에 대한 조사 또는 monitoring 기법으로 토양미생물의 활력을 검정하는 기법을 도입한다. 그런데, 일반적인 미생물의 정량분석이나 본 연구에서 이용한 탈질균이나 황산환원균 배양은 3주 이상이 소요되는 반면 탈수소효소의 정량은 단 하루의 배양시간이 요구된다. 즉, 탈수소효소의 활성조사는 전통적인 미생물 배양기법에 비하여 시간적인 면에서도 훨씬 효율적이라고 할 수 있다. 또한, 토양세균이나 균류의 검정기법은 토양의 국소적인 변이에 민감하며 시료조제 등에서도 극히 주의가 요구되는 반면, 토양효소는 상대적으로 안정적이다. 이 중 탈수소효소는 전반적인 미생물의 활성을 나타내는 지표로 여겨지고 있고, 특히 유기물 분해의 초기단계에서 가장 중요한 효소로 여겨지므로(Travors, 1984), 토양생태계의 건강도 평가기법으로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서도 다른 미생물 연구기법보다 탈수소효소는 민감한 반응을 나타내었고, 다른 화학적 특성과 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 단, 다른 연구자들에 의하여 지적된 것(Beyer 등, 1993; Garcia와 Hernandez, 1997)을 기억하고 동일한 토성조건을 지닌 대상을 비교에 활용함은 특기할 사항이다.

인 용 문 헌

1. 김동수. 1988. 토양화학분석법. 농촌진흥청, 농업기술연구소. 450pp.
2. 박 현. 1997. 탈질균 및 황산환원균 정량을 통한 서울의 대기오염이 남산의 토양에 미치는 영향 평가. 한국임학회지 86(1): 98-104.
3. 유정환·가강현·박 현. 1995. 여천공단의 대기오염이 토양의 화학적 특성, 지의류, 탈질균 및 황산환원균에 미치는 영향. 한국임학회지 84(2): 178-185.
4. Alexander, M. 1982. Most Probable Number Method for Microbial Populations. Pages 815-820. In A.L. Page, ed. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties. (2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
5. Beyer, L., C. Wachendorf, D. Elsner and R. Knabe. 1993. Suitability of dehydrogenase activity assay as an index of soil biological activity. Biology and Fertility of Soil 16: 52-56.
6. Bolton, H. Jr., L.F. Elliott, R.I. Papendick and D.F. Berdick. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effects of fertilization and cropping practices. Soil Biol. Biochem. 17: 297-302.
7. Burns, R.G. 1978. Soil Enzymes. New York, Academic Press. 380pp.
8. Burns, R.G. 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial activity. Soil Biol. Biochem. 14: 423-427.
9. Chander, K., P.C. Brookes and S.A. Harding. 1995. Microbial biomass dynamics following addition of metal-enriched sewage sludges to a sandy loam. Soil Biol. Biochem. 27(11): 1409-1421.
10. Dick, W.A. and M.A. Tabatabai. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. Pages 95-127. In F.B. Metting, Jr. ed. Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management. New York, Marcel Dekker. 646pp.
11. Frankenberger, W.T. Jr. and W.A. Dick.

1983. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 : 945-951.
12. Garcia, C. and T. Hernandez. 1997. Biological and biochemical indicators in derelict soils subject to erosion. *Soil Biol. Biochem.* 29(2) : 171-177.
13. Gong, P. 1997. Dehydrogenase activity in soil : a comparison between the TTC and INT assay under their optimum conditions. *Soil Biol. Biochem.* 29(2) : 211-214.
14. Higashida, S. and K. Takao. 1985. Seasonal fluctuation patterns of microbial numbers in the surface soil of a grassland. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31(1) : 113-121.
15. Neal, J.L. 1985. *Experiments in Soil Microbiology - a Laboratory Manual*. Virginia Polytech. Blackburg, Virginia. 171pp.
16. SAS Institute Inc. 1985. *SAS/STAT Guide for Personal Computers*, Ver. 6 edit. Cary NC, USA. 378pp.
17. Serrawittling, C.S. Houot and E. Barriuso. 1995. Soil enzymatic response to addition of municipal solid-waste compost. *Biology and Fertility of Soil* 20(4) : 226-236.
18. Tabatabai, M.A. 1982. Soil Enzymes. Pages 903-947. *In* A.L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.*(2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
19. Tate, R.L. 1995. *Soil Microbiology*. New York, John Wiley & Sons. 398pp.
20. Tiedje, J.M. 1982. Denitrification. Pages 1011-1026. *In* A.L. Page, ed. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbial properties.* (2nd ed.). ASA. Agronomy Special Publ. No. 9. Madison, WI. 1159pp.
21. Trevors, J.T. 1984. Dehydrogenase activity in soil. A comparison between the INT and TTC assay. *Soil Biol. Biochem.* 16 : 673-674.