

## 백두산의 식생에 따른 토양 미생물의 분포 및 특성

성치남 · 백근식 · 김종홍  
순천대학교 생물학과

### Distribution and Properties of Soil Microorganisms Isolated from Representative Plant Communities of Mt. Paektu

Seong, Chi Nam\*, Keun Sik Baik and Jong Hong Kim  
Department of Biology, Sunchon National University

#### ABSTRACT

Physicochemical factors, microbial population size and the properties of the bacterial isolates were assessed to find out the nature of soil ecosystem of Mt. Paektu. Samples were obtained from the surface layer of soils on which specific plant community is developed. Average content of moisture, organic matter and available phosphate of the soils were 21.6 %, 17.3 % and 2.48 mg/100g, respectively. These values were similar to those of developing forest soils, but were slightly lower than those of climax ecosystem such as Piagol in Mt. Chiri. The population size of soil bacteria ranged from 2.7 to  $202.5 \times 10^5$  CFU/g. dry soil, and the size is somewhat dependent on the content of moisture and organic matter of the forest soil. A large number of bacteria was able to decompose macromolecules such as starch, elastin and gelatin. While the distribution rate of resistant bacteria to antibiotics was high, that to toxic chemicals was low. This means that the competition between microorganisms predominate over the interference with artificial behaviour such as spread of pesticides in the surveyed region. Bacterial species composition of each soil was comparatively simple. *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Flavobacterium* and *Xanthomonas* which are Gram-negative short rods were widely distributed in the forest soils. The endospore forming *Bacillus* species were also main constituents of the soil microflora. Any one of the strains was not identified as *Azospirillum* or *Micrococcus* which are known to be one of major constituents of the forest soil. For the correct identification of isolates chemotaxonomic studies will be proceeded, and the strains are to be stored in the Type Collection Center.

*Key words* : soil ecosystem, population size, identification, *Pseudomonas*, Gram-negative short rods, *Bacillus*.

#### 서 론

토양 생태계는 소수의 조류나 세균을 제외하고는 빛 에너지를 이용할 수 있는 생물이 존재하지 않으므로 이

생태계의 에너지원은 외부로부터 유입된 유기화합물에 의존하게 된다. 즉, 식물이나 동물의 사체가 주된 에너지원이 되며, 특히 전자가 대부분을 차지하게 된다.

토양 환경에서 미생물은 주로 분해자로서의 기능을 수행한다. 생물 사체의 분해 및 광물화를 촉진시켜 궁극

적으로 물질의 재 순환에 이바지하며, 토양 부식질을 형성시켜 토양 수분 함량을 조절하고, 식물생장에 필요한 무기영양물을 공급하는 등 토양의 비옥화에 기여한다 (Dommergues *et al.* 1978). 토양에서의 미생물의 분포 및 종 조성은 낙엽과 같은 식물의 사체, 식물의 뿌리 및 토양의 이화학적 특성에 의해 영향을 받는다. 식물 뿌리에 의한 영양원의 분비가 뿌리 주위의 미생물의 밀도를 높여 이들 사이의 경쟁이 유발되고, 결국 성장속도가 빠르며 다양한 생화학적 특성을 지닌 세균이 우점하게 된다. 즉, 식물 사체의 분해 과정에 참여하거나 뿌리의 분비물에 의해 생장이 촉진될 수 있는 세균들이 산림 토양 내 우점하게 된다. 따라서 토양내 미생물의 개체군이 크고 다양할 수록 식물의 생산력이 높아지고, 토양 생태계가 안정되며, 미생물의 수적인 크기가 토양의 비옥도 및 생물학적 활성의 지표가 될 수 있다 (Bowen 1980, Paul and Clark 1989, 안 등 1995).

예를 들면 동일한 조건에서의 낙엽수림 토양과 침엽수림 토양간의 미생물 개체군의 크기는 전자가 후자에 비해 2 내지 6배 더 많이 분포하고 있으며 (Cobb 1932), 아밀라아제 활성도 낙엽수림 토양에서 높다는 것이 확인되었다 (이와 심 1994). 한편 토양의 함수량, 유기물 함량이나 저해물질의 농도가 미생물의 활성에 큰 영향을 준다. 예로, 유기물의 함량과 함수율이 높을수록 미생물 개체군의 크기가 커지며 탈수소효소와 같은 효소 활성도가 높았다 (이와 김 1995, 송 등 1995). 또한 토양내 함유된 중금속이 토양 미생물의 군집 크기 및 효소 활성도를 낮추는 현상을 밝힌 바 있다 (김과 Birch 1992, 이와 김 1995). 이와같이 토양 생태계의 안정도, 비옥도 및 향후 토양 생태계의 진행과정을 추정하기 위해서는 토양의 물리화학적 특성과 토양 미생물의 다양성, 개체군의 크기 및 그들의 활성을 우선 파악해야 한다 (Anderson and Domsch 1978). 그러나 토양 미생물의 분포와 활성에 미치는 요인이 다양하고 복잡적이기 때문에 대부분의 연구가 특정요인과 미생물과의 관계를 밝히는 것에 국한되어 있다. 또한 여러 고등식물의 식생에 따른 미생물의 분포 및 종 구성과 기능을 밝히는 연구는 미흡한 실정이다.

백두산은 온대식물과 한대식물의 분포가 분명하게 나타나며 고도 2,000 m 이상에는 한반도의 다른 지역에서 볼 수 없는 고산 툰드라대의 식물상을 나타내고 있다 (장 등 1990). 백두산에 대한 연구는 1945년 전의 연구 (박 1942)를 제외하고는 외국학자나 북한에서 조사한 문헌에 의존하여 왔으나 최근 들어 식물분류학, 식물생태

학과 지질학을 중심으로 연구가 이루어지고 있다 (장 등 1990, 장 등 1992, 홍, 1990).

본 연구에는 백두산의 식물 군락에 따른 12개 지점의 토양을 실험 대상으로 삼았다. 각 식물 군락에 따른 토양의 환경요인과 토양 미생물의 개체군 크기와의 상호관계를 측정하였다. 또한 토양 미생물 중 특정 효소를 분비하는 세균의 분포를 조사하였으며 대표적인 세균들을 순수분리하여 그 특성을 파악하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지역 및 토양시료 채취

백두산 일대를 탐사하여 해발 1,500 m 이상의 식생이 비교적 잘 발달된 지역 12개 지점에서 10 cm 미만의 표토층 토양을 채집하여 시료로 사용하였다 (Table 1).

### 토양의 물리화학적 특성

함수율은 2 mm 체로 친 토양을 105°C에서 2시간 동안 진공 건조시킨 후 상온에서 24시간 방치하여 감소된 무게를 측정 후 중량에 대한 비율로 환산하였다. 총 유기물 함량은 Bear (1964)의 방법에 따라 진공 건조된 토양시료를 600°C에서 30분간 연소시켜 감소된 무게를 건조중량에 대한 비율로 환산하였다. 가용성 인 ( $PO_4\text{-P}$ )은 건조 토양 시료와 0.002N  $H_2SO_4$ 를 1:50으로 혼합한 후 진탕하여 추출한 인산염 인의 양을 Stannous-reduced molybdophosphoric blue color법으로 발색시켜 660 nm에서 비색정량하여 산출하였다 (Jackson 1967).

### 토양 미생물의 분리

Plate count agar (PCA) 배지를 일반 세균의 분리 배지로 사용하였다. 토양 현탁액을 연속 희석하여 pour plate 법으로 접종한 후 25°C에서 5일간 배양하여 나타난 집락을 계수하였다. 특정효소 분비 세균의 비율을 파악하기 위해서 배양된 세균 집락에 Methylumbelliferyl (MUF)- $\alpha$ -D-glucoside, MUF- $\beta$ -D-glucoside, MUF-cellobiside와 MUF-phosphate를 기질로 주어 5분후에 364nm에서 형광을 발하는 세균 집락의 수를 계수하여 출현빈도를 측정하였다 (Hoppe, 1986). 분리배지에 형성된 대표적인 세균 집락을 PCA 평판 배지에 도말하여 순수분리될 때까지 계대 배양한 후 균체를 glycerol 용

**Table 1.** Vegetation type and soil properties of the sampling sites in Mt. Paektu

Site	Vegetation /Site description	Altitude(m)	Moisture content(%)	Organic matter(%)	Available phosphate (mg/100g)
1	Crater /Dalmoon		35.0	9.5	4.6
2	<i>Poaceae</i> sp. Com*	2400	9.3	2.5	2.5
3	Alpine plants	2600	15.0	6.1	1.7
4	<i>Phyllodoce caerulea</i> Com.	2200	20.0	8.9	3.9
5	<i>Rhododendron aureum</i> Com.	2200	10.9	1.6	1.1
6	<i>Phyllodoce caerulea</i> -Cyperacea sp. Com.	2140	45.4	18.0	ND
7	<i>Salix rotundifolia</i> - <i>Astragalus membranaceus</i> Com.	2100	8.0	2.1	1.4
8	<i>Abies holophylla</i> Com.	1500	10.1	7.8	2.5
9	<i>Abies nephrolepis</i> Com.	1450	15.2	13.3	1.8
10	<i>Betula ermanii</i> Com.	1800	39.8	8.4	ND
11	<i>Abies and mixed forest</i>	1405	20.1	11.9	2.9
12	<i>Veratrum grandiflorum</i> Com.	1800	30.3	19.7	ND
Average			21.55	9.15	2.49

\* : Community

**Table 2.** Population size of the soil bacteria of Mt. Paektu

Site	No. of general bacteria ( $\times 10^5$ CFUs/g. dry soil)	No. of Actinomycetes ( $\times 10^5$ CFUs/g. dry soil)	Rate(%) of exo-enzyme secreting bacteria					
			Phosphatase	$\alpha$ -Glucosidase	$\beta$ -Glucosidase	Cellobiosidase		
1	65.4	21.8	7.8	36.4	21.8	1.5		
2	36.3	18.2	21.3	55.6	14.6	2.5		
3	19.3	12.8	17.4	47.4	26.4	2.5		
4	2.7	0.4	NT	NT	NT	NT		
5	7.0	0.4	17.2	15.9	26.7	8.0		
6	95.8	68.2	8.8	17.7	14.3	1.0		
7	30.9	14.5	16.2	38.4	26.4	2.5		
8	10.9	6.4	10.2	34.8	28.7	4.8		
9	19.4	11.4	NT	NT	NT	NT		
10	73.8	26.8	10.7	6.3	21.7	8.5		
11	42.0	14.2	NT	NT	NT	NT		
12	202.5	84.6	NT	NT	NT	NT		
Average			54.7	23.3	13.7	31.6	22.6	4.1

NT: not tested

액 (20%, w/v)에 현탁하여  $-30^\circ\text{C}$ 로 보관하였다.

### 분리 세균의 특성

분리균을 PCA에 배양하면서 집락의 형태, 색소 생성 및 운동성을 조사하였으며, 그람염색과 내생포자 염색을 실시하여 형태적 특성을 관찰하였다. 한천 배지에 분리균을 접종한 후 10, 37,  $45^\circ\text{C}$ 로 각각 배양하여 성장 가능 온도를 측정하였으며, 한천 배지에 NaCl, adenine,

crystal violet, sodium selenite 및 sodium azide를 첨가하여 분리균의 이들 물질들에 대한 내성을 측정하였다 (Table 3). 분리균이 젤라틴, 요소, 전분 등을 분해할 수 있는지 조사하였다. 젤라틴 액화는 Nutrient gelatin agar (Difco Co.)를, 그리고 요소 분해는 Urea broth를 사용하여 시험관에서 실시하였다. 전분 분해능은 PCA 배지에 1.0%의 전분을 첨가한 후  $30^\circ\text{C}$ 에서 2~3일간 배양한 후 관찰하였다. Casein, tyrosine, hypoxanthine과 elastin 같은 고분자 물질을 분해할 수 있는지는

**Table 3.** Properties of bacterial isolates from soils of Mt. Jangbak(Paektu)

Unit characters	Percent positive		
	Total	Site 5	Site 12
Gram positive	30.0	50.0	33.3
Rod form	96.7	100.0	100.0
Endospore formation	21.7	25.0	33.3
Catalase	93.3	100.0	100.0
Growth at			
10°C	10.0	0.0	33.3
37°C	61.7	75.0	66.7
45°C	30.0	57.1	33.3
7% NaCl	1.7	0.0	0.0
Degradation of			
Adenin	8.3	0.0	0.0
Casein	28.3	50.0	33.3
2Elastine	68.3	75.0	100.0
Gelatin	90.0	100.0	100.0
Hypoxanthine	28.3	25.0	0.0
Starch	78.3	100.0	66.7
Urea	60.0	75.0	33.3
Growth on			
Crystal violet(0.005%)	28.3	50.0	0.0
Sodium selenite(0.01%)	81.7	100.0	66.7
Sodium azide(0.005%)	1.7	0.0	0.0
Resistant to antibiotics			
Amikacin(30mcg)	28.3	50.0	0.0
Kanamycin(30mcg)	45.0	75.0	0.0
Penicillin(10U)	81.7	100.0	66.7
Tobramycin(10mcg)	35.0	50.0	0.0
Vancomycin(30mcg)	56.7	75.0	33.0

PCA 배지에 이들 고분자 물질을 첨가하여 30°C 에서 2~3 일간 배양한 후 세균 집락 주위에 투명환이 생기는지 관찰하였다. 항생물질에 대한 내성은 PCA 배지에 면봉으로 세균을 도말한 다음 항생물질 disc를 얹어 놓아 2~3일간 배양한 후 disc 주위의 투명환의 직경을 계산하여 내성 정도를 파악하였다 (Table 3).

### 분리균의 동정

분리균의 동정은 분리세균의 특성 결과와 BIOLOG (Biolog Co. U.S.A.) 동정용 kit를 사용하였으며 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (Holt *et al.* 1984) 과 The Prokaryotes (Balows *et al.* 1991)를 참조하여 동정하였다.

## 결 과

### 토양의 물리화학적 특성

조사된 백두산 산림의 식생과 토양의 물리화학적 특성은 표 1과 같다. 조사지역 토양의 함수율은 식물군락에 따라, 그리고 고도 및 주변 지형에 따라 조사지 간에 차이가 심했다. 조사지점 7이 8.0%로 가장 낮았으며 지점 6이 45.4%로 가장 높았고, 평균 21.6% 였다. 이 값은 도서지방 산림토양의 함수율과 거의 유사하였으나 지리산 피아골의 극상림 토양의 40% 보다는 낮은 값이었다 (최와 이 1983, 정과 신 1989).

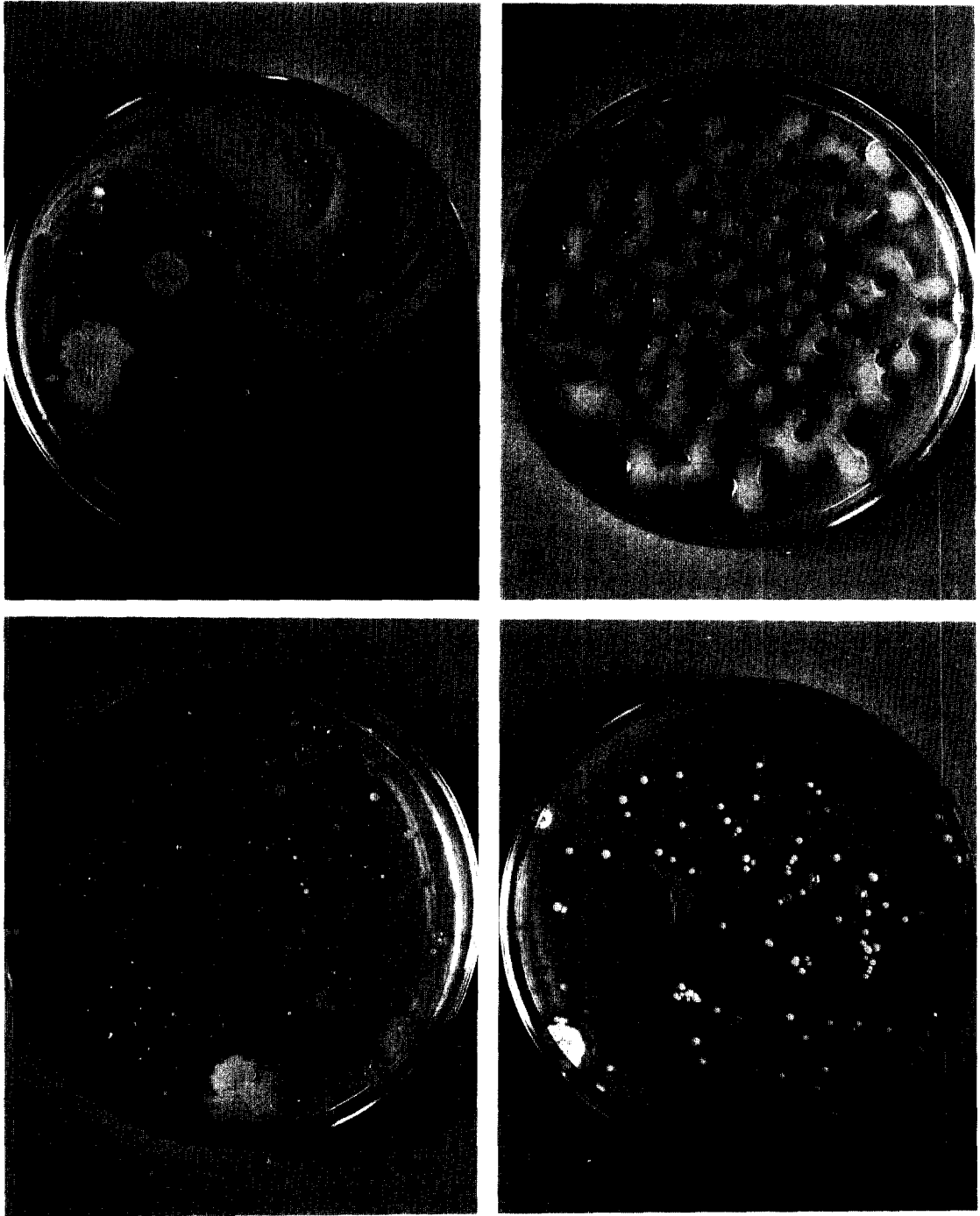
토양내 존재하는 총 유기물의 함량은 2.1~19.7%의 범위로 지역 및 식생 간에 큰 차이가 있었다. 평균 9.15%로서 완도의 9.5% (홍과 장 1982)와 비슷하였으나 식생이 잘 발달된 한반도의 도서지역 및 산림보다는 낮았다 (Choi 1982, 홍과 장 1984, 성 등 1994). 주로 화본과 식물 군락지인 2, 5 및 7 조사지점이 5% 미만으로 매우 낮은 반면, 가솔송 군락지인 지점 6과 박새군락지인 12 지점은 약 20% 정도로 상대적으로 높았다.

가용성 인의 함량은 1.1~4.6 mg/100g으로 평균 2.48 mg/100g이었다. 거문도의 3.9 mg/100g (홍과 장 1984) 보다는 다소 낮으나 진도와 완도 (홍과 신 1987)에 비해 높았다.

### 토양미생물의 개체군의 크기

PCA 배지를 이용해 조사대상 12개 지점의 토양 세균을 분리한 바 각 지점별로 우점하는 세균이 다름을 알 수 있었고, 토양마다 형태적으로 단순한 세균 집락을 관찰할 수 있었다 (Fig. 1). 토양 미생물 개체군의 분포는 Table 2와 같다. 건조토양 1 g에 분포하는 일반세균 개체군의 크기는  $2.7 \sim 202.5 \times 10^5$  CFU로서 정점 및 식생 간에 큰 차이가 있었으며 평균  $54.7 \times 10^5$  CFU였다. 조사지점 6과 12의 세균 개체군의 크기가 큰 반면 조사지점 4와 5의 그것은 극히 작았다.

방선균의 분포는 개체수 뿐만 아니라 일반 세균수에 대한 비율에서 토양간에 큰 차이를 보여주었다 (Table 2). 방선균 개체군의 크기는  $4.4 \times 10^4 \sim 84.6 \times 10^5$  (평균  $23.3 \times 10^5$ )으로 일반세균의 42.6%에 달했다. 조사지점 5의 경우  $4.4 \times 10^4$  CFU (일반세균의 6.3%) 로 매우 낮은 반면 지점 6의 경우  $68.2 \times 10^5$  CFU (일반세균의 71.



**Fig. 1.** Photographs showing the isolation plates. (A; site 4): Filamentous growing microorganisms prevent the colonization of other organisms. (B; site 5): Exo-polysaccharide producing bacteria predominate. (C; site 11): The more complex species composition, but still not much diverse, is found. (D; site 3): Two thirds of the bacterial colonies are actinomycetes.

2%)에 달했다. 방선균도 일반세균의 분포양상과 유사하게 유기물과 함수율이 높은 토양에서 많은 분포를 보였다.

### 특정효소 분비세균의 분포

특정효소 분비 세균의 비율을 파악하기 위해서 배양된 세균 집락에 MUF- $\alpha$ -D-glucoside, MUF- $\beta$ -D-glucoside, MUF-cellobiside와 MUF-phosphate 같은 비형광 물질을 기질로 주어 5분후에 364 nm에서 형광을 발하는 세균 집락의 수를 계수하여 출현빈도를 측정한 결과는 Table 2에 나타나 있다. Phosphatase를 분비하는 세균은 일반세균의 7.8~21.3%에 달했으며,  $\alpha$ -glucosidase를 분비하는 세균은 6.3~55.6%,  $\beta$ -glucosidase를 분비하는 세균은 14.3~26.7%, 그리고 cellobisidase를 분비하는 세균은 1.0~8.5%에 달했다. 식물 균락별 특정효소 분비세균의 비율은 특이한 경향을 관찰할 수 없었다.

### 분리 세균의 특성

순수 분리된 60개의 분리세균의 특성은 Table 3에 나타나 있다. 분리 균은 모두 간균이거나 단간균의 형태를 지니고 있었으며, 그람양성 세균이 30.0%를 차지하였다. 10°C와 37°C 에서 생장이 가능한 세균의 비율은 각각 10.0%와 61.7% 였으며, 45°C에서도 성장할 수 있는 세균은 30.0%에 달했다. 7%의 NaCl이나 0.005% sodium azide에 내성을 지닌 균주는 각각 1균주에 불과했다. Crystal violet 에 내성을 지닌 세균은 28.3%, sodium selenite에 내성을 지닌 세균은 81.7% 였다. Amikacin, kanamycin, penicillin, tobramycin 그리고 vancomycin의 항생물질에 내성을 지닌 세균의 비율은 각각 28.3, 45.0, 81.7, 35.0, 그리고 56.7%에 이르렀다.

Adenine, casein, elastin, hypoxanthine, starch와 urea를 분해할 수 있는 세균은 각각 8.3, 28.3, 68.3, 28.3, 78.3 그리고 60.0%에 달했으며, 젤라틴은 거의 모든 분리균에 의해 액화될 수 있었다.

합습량과 유기물함량이 높고 일반세균 개체군의 크기가 큰 조사지점 12와 대조적인 특성이 나타난 조사지점 5로부터 분리된 세균들의 특성을 비교한 바 저해물질과 항생물질에 대한 내성균의 분포에서 차이를 발견할 수 있었다 (Table 3). 즉, 함수율과 유기물의 함량이 낮은 지점 5로부터 분리된 세균들이 함수율과 유기물의 함량

이 높은 지점 12로부터 분리된 세균들에 비해 모두 내성이 높음을 알 수 있었다.

### 분리균의 동정

60개의 분리균의 형태적, 생리적 특성과 동정용 kit를 이용한 동정 실험결과는 Table 4에 나타나 있다. *Pseudomonas*와 *Bacillus* 속이 각각 14균주와 13균주로 전체의 45.0%를 차지하였다. 다음으로 *Flavobacterium* 속이 6개, *Xanthomonas*속으로 동정된 세균이 5개 균주였다. 이외에 *Agrobacterium* 속과 *Enterobacter* 속이 2균주 그리고 *Cellulomonas* 속과 *Corynebacterium* 속이 각각 1균주씩 동정되었으며, 17균주는 동정이 불완전하였다. *Pseudomonas aeruginosa*가 단일 종으로서 6개 균주가 동정되었으며, 식물 병원균의 가능성이 있으며 점액질을 분비하는 *Xanthomonas maltophila*가 5균주로 상당히 많은 부분을 차지하고 있었다. 또한 노란색 색소를 형성하는 *Flavobacterium* 속의 세균도 산림토양에 상당히 분포하고 있음을 알 수 있었다. *Bacillus* 속은 6종이 동정되어, 비교적 다양한 종으로 구성되어 있음을 알 수 있었으며 내생포자의 형태도 다양하였다.

**Table 4.** Identification of the bacterial isolates from Mt. Paektu

Identification	No. of strains
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6
<i>P. fluorescens</i>	2
<i>P. mucidolens</i>	2
<i>P. corrugata</i>	1
<i>P. stutzeri</i>	1
<i>Pseudomonas</i> sp.	2
<i>Flavobacterium campestri</i>	2
<i>F. gleum</i>	2
<i>F. multivorum</i>	2
<i>Xanthomonas maltophila</i>	5
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	2
<i>Enterobacter cloacae</i>	2
<i>Bacillus sphaericus</i>	2
<i>B. mycoides</i>	2
<i>B. thuringiensis</i>	2
<i>B. brevis</i>	2
<i>B. cereus</i>	2
<i>B. amyloliquefaciens</i>	2
<i>Bacillus</i> sp.	1
<i>Cellulomonas turbata</i>	1
<i>Corynebacterium</i> sp.	1
Unidentified	16

## 고 찰

백두산의 주요 식생별 토양환경과 토양미생물의 분포 및 분리균의 특성에 대해 분석하였다. 조사지역 산림토양의 함수율과 유기물의 함량은 기존 조사된 천이과정 중의 산림 토양과 비슷하였으나, 지리산 피아골과 같은 극상림의 토양에 비해 다소 낮았다.

토양세균의 개체군 크기는 함습량과 유기물의 양이 높은 지역인 분화구내 달문 (조사지점 1), 가솔송과 사초과 군락지 (조사지점 6) 및 박새군락 (조사지점 12) 등에서 높았다. 방선균에 속한 세균도 일반 세균의 40% 이상을 차지하고 있어 고분자 물질의 분해과정에 기여하고 있음을 알 수 있었다. 체외효소를 분비하는 세균의 분포를 형광기질을 사용하여 조사한 결과 수생태계에 비해 낮게 나타났다. 이것은 산림 토양의 유기물의 농도가 수생태계에 비해 높을 뿐 아니라 곰팡이에 의한 고분자 물질의 분해가 상당 부분을 차지 하고 있기 때문이다. 또한 토양 생태계는 식물 뿌리와 공존하기 때문에 식물로부터 분비되는 단당류, 유기산 및 비타민들이 풍부하므로 체외효소를 분비하는 세균의 비율이 높지 않을 것으로 사료된다 (Smith 1976). 타 지역의 경우에 대한 보고가 없어 비교하기 어려우나 호소와 같은 수생태계에서의 효소 분비 세균의 분포보다는 낮았다 (Ahn 1990). 특히 섬유소 분해와 밀접한 연관이 있는 cellobiosidase를 분비하는 세균의 비율이 낮다는 것은 섬유소의 분해는 진균이 큰 역할을 하고 있다는 것을 시사해 준다.

특정세균을 분리하기 위한 농화배양 방법을 택하지 않고 PCA 배지를 사용하여 분리한 결과 각각의 토양은 비교적 단순한 종으로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 산림 토양에서 식물의 뿌리에 의한 영양원의 분비가 뿌리 주위의 미생물의 밀도를 높여 이들 사이의 경쟁이 유발되고, 결국 생장속도가 빠르며 다양한 생화학적 특성을 지닌 세균이 우점하게 된다는 연구와 일치한다 (Bowen 1980). 즉, 식물 사체의 분해 과정에 참여하거나 뿌리의 분비물에 의해 생장이 촉진될 수 있는 세균들이 산림 토양 내 우점하게 된다. 결과적으로 식물 뿌리 주변에서는 그람 양성 세균이나 포자형성균 보다는 그람음성이며 단간균인 *Pseudomonas*, *Achromobacter*나 *Agrobacterium* 등이 우점하게 된다 (Richards 1987). 본 실험에서도 *Pseudomonas*속의 세균이 가장 많이 동정되었으며 *Agrobacterium*이 조사지점 5와 같은 특정 시료

에서는 거의 대부분을 차지하기도 했다 (Fig. 1). *Flavobacterium*과 *Xanthomonas* 속의 세균은 *Pseudomonas* 속과 매우 유사하며 경우에 따라서는 같은 속으로 동정을 하는 경우도 있다는 것을 고려하면 동정된 세균의 50% 이상이 *Pseudomonas* 속의 세균이라고 할 수 있다. 한편 여러 연구 결과 *Enterobacter*, *Bacillus*, *Corynebacterium* 그리고 *Cellulomonas* 속의 세균들의 분리빈도가 높다고 보고된 것과 유사한 결과를 얻을 수 있었다 (Richards 1987). *Enterobacter*는 서식지 내의 포유동물의 장내 세균으로 동물의 변에 의해 토양내 유입되어 토양 미생물의 구성원이 된 종으로 볼 수 있다. *Bacillus*, *Corynebacterium*, 그리고 *Cellulomonas* 속의 세균들은 식물 사체인 다당류의 분해에 큰 기여를 하는 그람 양성 세균들이다. 그러나 산림토양에 상당히 분포한다고 알려진 *Azospirillum* 같은 나선형 세균이나 *Micrococcus*는 동정되지 않았으며 (Richards 1987), *Achromobacter*는 *Pseudomonas*과 유사하기 때문에 동정 과정을 계속 진행할 경우 동정될 가능성이 있다. 한편 토양내 다량 존재하는 활주 세균은 순수 분리과정에서 배제하였으나 조사지의 토양에도 많이 분포하고 있음을 알 수 있었다 (Fig. 1).

분리균들의 특성을 조사한 바 대부분의 분리균들은 젤라틴과 전분을 분해할 수 있었으며, 분리균의 항생물질에 대한 내성은 비교적 높았다. 특히 토양의 함습량과 유기물함량이 세균 개체군의 크기에도 영향을 미치지만 세균들의 특성에도 어느 정도 영향을 미치는 것을 확인하였다. 즉, 토양의 함습량과 유기물함량이 낮고 세균 개체군의 크기가 작았던 지점의 토양에는 저해물질이나 항생물질에 내성을 지닌 세균들의 분포가 높았다. 이와 같은 결과는 동일한 토양내에는 특정 세균이 우점하기 때문에 나타나는 현상이라도 설명할 수 있다 (Bowen 1980). 또한 열악한 환경에서 생장하는 미생물들 사이의 경쟁이 양호한 환경보다는 강하기 때문에 이러한 내성균의 분포가 높다고 볼 수 있다 (Atlas and Bartha 1987).

백두산 조사지점의 토양으로부터 분리된 세균들은 전체적으로 유해물질에 대한 내성균의 분포는 높지 않은 반면 항생물질에 대한 내성은 비교적 높았다. 이 결과로부터 이 지역의 토양 생태계는 토양 미생물 사이의 경쟁관계에 비해 아직까지는 약제의 살포와 같은 인간의 간섭이 적다고 판단된다 (Atlas and Bartha 1987, 성 등 1994).

본 연구는 소량의 토양 시료에 의존할 수밖에 없었다.

따라서 토양의 pH, 양이온 교환 용량 및 중금속 함유량을 측정할 수 없었으며, 특정 미생물의 분리를 위한 농화 배양을 실시하지 못했다. 또한 각 식생에 따른 분리군의 특성을 파악하기가 어려웠다. 그러나 백두산 산림토양의 미생물의 기능은 타 지역에서의 그것들과 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있었다. 즉, 산림토양 내 미생물은 낙엽과 같은 식물 사체의 분해 등과 같은 지화학적 물질 순환에 기여하기도 하지만, 식물 병원체로서 작용하기도 하며, 서식지 내의 포유 동물의 변에 의해 토양에 유입되는 것을 확인하였다.

앞으로 분리군의 세포내 지방산 조성이나 menaquinone의 분석을 계속 진행하여 정확한 동정을 기하도록 할 것이며 분리군들은 생명공학 연구소와 서울대 미생물학 연구소의 종균센터에 보관할 예정이다.

## 적 요

백두산의 주요 식물 군락지의 토양환경과 토양미생물의 분포 및 분리군의 특성에 대해 조사하였다. 조사지역 산림토양의 함수율, 유기물 함량과 유효인산의 평균값은 각각 21.6%, 9.15%와 2.48 mg/100g 으로서 기존 조사된 천이 과정 중의 산림 토양과 비슷하였으나, 지리산 피아골과 같은 극상림의 토양에 비해 다소 낮았다.

토양 세균은 건조토양 1 g에  $2.7 \sim 202.5 \times 10^5$  CFU 분포하고 있으며, 함습량과 유기물의 양이 높은 지역의 토양에 그 분포도가 높았다. 많은 세균들이 전분, elastin이나 gelatin과 같은 고분자 물질을 분해 할 수 있었다. 유해물질에 대한 내성균의 분포는 높지 않은 반면 항생물질에 대한 내성균의 비율은 비교적 높았다. 즉, 이 지역의 토양 생태계는 토양 미생물 사이의 경쟁관계에 비해 아직까지는 약제의 살포와 같은 인간의 간섭이 적다고 사료된다. 각 정점의 토양세균은 비교적 단순한 종으로 구성되어 있었다.

조사지로부터 분리된 세균중 그람음성 간균인 *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Flavobacterium*과 *Xanthomonas* 등이 주된 구성원이었으며, 그람양성균으로는 포자를 형성하는 *Bacillus*가 대부분을 차지하였다. 그러나 산림토양에 상당히 많이 분포한다고 알려진 *Azospirillum* 같은 나선형 세균이나 *Micrococcus*와 같은 구균은 동정되지 않았다. 분리군의 화학 성분 분석에 의한 동정을 진행하여 정확한 동정을 기하도록 하며, 분리군은 종균센터에 보관할 예정이다.

## 인 용 문 헌

- Ahn, T.S. 1990. The microbial degradation in the sediment of red tide area of lake Soyang. Kor. J. Limnol. 23: 15-22.
- Anderson, J.P.E. and K.H. Domsch. 1978. A physiological method for the quantitative measurement for microbial biomass in soil. Soil Biol. Biochem. 10: 210-221.
- Atlas, R.M. and R. Bartha. 1987. Microbial Ecology. 2nd ed. Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park.
- Balows, A., H.G. Tr per, M. Dworkin, W. Harder, and K.H. Schleifer (eds.). 1991. The Prokaryotes, 2nd ed. Springer-Verlag, N.Y.
- Bear, F.E. 1964. Chemistry of the soil. Reinhold Publishing Co. N.Y.
- Bowen, G.D. 1980. Misconceptions, concepts and approaches in rhizosphere biology, pp. 283-303, In D.C. Ellwood, J.N. Hedger, M.J. Latham, J. M. Lynch and J.H. Slater (eds), Contemporary Microbial Ecology. Academic Press, London.
- Choi, Y.K. 1982. Soil and soil microbes in the soil of Deogjeog Archipelago. Kor. Cent. Counc. Nature Preserv. 1: 165-178.
- Choi, Y.K. and Y.H. Lee. 1983. The soil microorganism of the forest flora and soil of the climax forest of Piagol vally in Mt. Chiri. Kor. Assoc. Conserv. Nature 21: 179-191.
- Cobb, M.H. 1932. A quantitative study of the microorganismic population of a hemlock and deciduous soil. Soil Sci. 33: 325-345.
- Dommergues, Y.R., L.W. Belser, and E.L. Schmidt. 1978. Limiting factors for microbial growth and activity in soil. p.49-104. In Alexander, M. (ed.), Advances in microbial ecology. Plenum Press, N. Y.
- Holt, J.G. (editor-in-chief). 1984. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Williams and Wilkins, Baltimore.
- Hoppe, H.G. 1983. Significance of exoenzymatic activities in the ecology of blackish water: measurements by means of methylumberriferyl-substrates.



- Mar. Ecol. 11: 299-308.
- Jackson, M. L. 1967. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, London.
- Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego.
- Richards, B.N. 1987. Microbiology of terrestrial ecosystem. John Wiley and Sons, N.Y.
- Smith, W.H. 1976. Character and significance of forest tree root exudates, Ecol. 57: 324-331.
- 김옥경, P. Birch. 1992. 도시공원의 토양에서 중금속이 미생물의 생체량과 활성에 미치는 영향. 한국생태학회지 15: 267-280.
- 박만규. 1942. 조선고산식물 목록. 조선박물학회지 9: 1-12.
- 송인근, 민병래, 최영길. 1995. 신갈나무 산림토양에서의 효소활성도. 한국생태학회지 18: 503-512.
- 송치남, 박문수, 전영문. 1994. 두륜산의 토양세균의 분포 및 활성도. 환경부 pp. 271-282.
- 안연준, 한명수, 민병래, 최영길. 토양미생물 생태계의 발달지표에 관한 연구. 환경생물 13: 203-214.
- 이인숙, 김옥경. 1995. 환경오염물질이 토양생태계에 미치는 영향. 한국생태학회지 18: 285-295.
- 이희선, 심재국. 1994. 산림토양의 미생물군집과 아밀라아제 활성에 관한 연구. 한국생태학회지 17: 171-183.
- 장남기, 여성희, 이선경. 1992. 백두산 분화구내 천지 주변의 식물 군락 분포에 관한 연구. 한국생태학회지 15: 209-220.
- 장남기, 유혜미, 어은주. 1990. 한국에 있어서 백두산의 고산 툰드라대와 고산과 아고산대의 고산 툰드라 식물상의 비교. 한국생태학회지 13: 237-245.
- 정학성, 신광수. 1989. 안마군도의 토양미생물 군집 및 고등균류. 자연보호 중앙협의회 9: 71-90.
- 홍순우, 신광수. 1983. 진도인근 도서의 토양미생물 및 버섯류. 자연보호 중앙협의회 3: 261-289.
- 홍순우, 장영석, 신광수. 1987. 백령도 인근도서의 토양미생물 및 버섯류. 자연보호 중앙협의회 7: 49-71.
- 홍순우, 장영석. 1984. 거문도 인근도서의 토양환경 및 토양미생물. 자연보호 중앙협의회 4: 35-54.
- 홍영국. 1990. 백두산의 지질, 백두산 자연생태계와 지질예비조사. 과학기술처 pp. 23-44.

(1997년 7월 17일 접수)