

长白山北坡自然保护区森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究*

许光辉 郑洪元 张德生 卢耀波
李玉坤 张淑贤 刘增柱 吴文芳
赵振英 李凤珍 刘瑞君

(中国科学院林业土壤研究所)

摘 要

本文研究了长白山北坡自然保护区森林土壤微生物的生态分布和生化特性。土壤微生物的垂直分布与林型之间有着下列相关性：(1)阔叶林和针阔混交林下土壤中细菌的数量比针叶林下多；(2)不同土类中，放线菌的分布随海拔上升而减少；(3)亚高山针叶混交林下土壤中真菌数量很多。不同林型下土壤酶活性、内源呼吸、氧化代谢能力和土壤有机质中中性糖、氨基糖和糖醛酸的分布有很大差异。以阔叶林和针阔混交林下土壤中为最高，针叶林下土壤中为最低。针叶混交林下土壤中生化活性随阔叶树种增加而提高。不同海拔、不同植被和不同土类下，芽孢杆菌属、放线菌和真菌的生态分布及其种的组合不同。芽孢杆菌属的优势种和放线菌、真菌优势属的组成也不同。不同林型下优势种的组成与水热条件、植物残体的组成及土壤有机质的分解过程密切相关。

长白山北坡自然保护区是目前我国面积最大、自然环境和生态系统保持比较完整的自然保护区。是我国中纬度山地原始森林地区。境内地貌、气候、植被、土壤和动物等自然因素，以及整个生态环境，都具有山地特征，形成了典型垂直分布的山地生态系统。

长白山北坡自然保护区的土壤，随着山地自然因素的变化，自上而下，可以明显地看到一种土壤有规律地被另一种土壤所代替，形成长白山的土壤垂直带谱：山地苔原土、山地生草森林土、山地棕色暗针叶林土和山地暗棕色森林土（中国科学院林业土壤研究所，1980，程伯容等，1981；许广山，1980）。

长白山北坡自然保护区森林茂密，树种繁多，生物种源极为丰富。土壤微生物不仅是该山地生态系统的重要组成部分之一，而且在森林生态系统物质循环和能量转化中，占有特别的地位。在森林生态系统中，微生物在土壤中的分布与活动，既反映了土壤生物因素对微生物的分布习性，群落组成、结构及其内部种间关系，群落的演替变化规律，以及对其功能的影响和作用；也反映了微生物对植物的生长发育，土壤肥力和物质循环与能量转化的影响和作用，揭示土壤发育的现状和趋向。因此，微生物的分布和活动是森林生产环境综合评价的

* 参加工作的还有郑连娣、姚志红、李琦、林鹤鸣。

主要依据之一。

从1979年开始,我们对长白山北坡自然保护区不同海拔高度、不同植被类型和不同土类中微生物的数量分布、类群组成、生物化学特性,以及土壤中腐殖质碳、氮含量的变化,土壤呼吸作用强度和土壤有机质的性质等,进行了比较系统的分析研究,初步积累了一些资料(许光辉、郑洪元等,1980,郑洪元、张德生等,1980、1981)。本文是1979—1981年,3年研究结果的总结。

一、材料和方法

1. 土样的采取

供试土样采自长白山北坡自然保护区。根据不同海拔高度,不同林型和不同土壤的垂直带分布,在统一的综合研究标准地内,按不同的深度采取土样,立即带回室内进行各项测定。供试土壤的基本情况列于表1—4。

表 1 土壤样品的记载

土样编号	采 样 地 点	海拔高度 (米)	植 被 (林型)	土 类	采样深度 (厘米)
1	长白山天池气象站东30米处	2,615	藓类、小叶杜鹃、仙女木、高山罂粟等	山地苔原土	0—13
2	风口东侧	2,260	苔藓、牛皮杜鹃	山地苔原土	6—27
3	白山施业区一分区八林班	1,900	岳桦、落叶松、牛皮杜鹃、越桔、笃斯(杜鹃岳桦林)	山地生草森林土	14—22
5	老白山站桥北	1,200	红松、云杉、冷杉(红松云冷杉暗针叶林)	山地棕色针叶林土	4—15
6	老黄松堡	1,380	落叶松、杜香、苔藓(杜香落叶松林)	山地棕色针叶林土	3—23
7	二道白河西岸,保护局后山	740	红松、椴树、水曲柳、色木、春榆等(灌木阔叶红松林)	山地暗棕色森林土	5—11
9	白河火车站东北	690	长白赤松、胡枝子、苔草、蕨类、蒙古柞、白桦等(胡枝子长白赤松林)	山地暗棕色森林土	3—12

2. 研究方法

测定项目和分析方法如下:

1) 微生物学分析

细菌数:肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹法。

芽孢细菌数:肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹法。

固氮细菌数:阿西比(Ashby)无氮琼脂平板表面涂抹法。

硝化细菌数:矽胶平板法。

真菌数:马丁(Martin)培养基平板表面涂抹法。

表 2 长白山北坡各林带的水热状况*

标准地号	植被 (林带)	海拔高度 (米)	热 量 状 况		水 分 状 况	
			年平均温度 (℃)	≥10℃ 的积温 (℃)	年降雨量 (毫米)	湿度系数
1	苔原灌丛	2,460—2,000	-3.8—-5.9	704—945	1,075.5—1,238.9	5.87—7.09
2	苔原灌丛	2,400—2,600	-3.8—-5.9	704—945	1,075.5—1,238.9	5.87—7.09
3	亚高山岳桦林	2,000—1,700	-2.3—-3.8	945—1,178	967.3—1,075.5	4.95—5.87
5	暗针叶林	1,700—1,100	-2.3—0.9	1,178—1,833	782.4—967.3	3.12—4.95
6	落叶松林	1,950—500	-3.6—3.9	980—2,850	632.8—1,056.7	1.30—5.12
7	阔叶红松林	1,100—500	0.9—3.9	1,833—2,850	632.8—782.4	1.30—3.12
9	长白赤松林	1,300—650	-0.2—3.1	1,582—2,552	667.3—839.7	1.75—3.73

* 引自迟振文等 (1981)。

表 3 主要林型下枯枝落叶层的蓄积量*

标准地号	植被 (林型)	土 类	海拔高度 (米)	枯枝落叶层蓄积量 (吨/公顷)			A _{oo} /A _o
				A _{oo}	A _o	A _{oo} + A _o	
3	牛皮杜鹃岳桦林	山地生草森林土	1,990	6.72	6.52	13.24	1.03
5	苔藓岳桦云冷杉林	山地棕色针叶林土	1,620	5.60	5.59	11.19	1.01
6	杜香落叶松林	山地棕色针叶林土	1,380	7.79	5.73	13.52	1.36
7	灌木阔叶红松林	山地暗棕色森林土	740	5.81	8.87	14.68	0.66

* 引自许广山等 (1980)。

表 4 长白山北坡主要土壤的腐殖质组成*

土样编号	海拔高度 (米)	土层深度 (厘米)	有机质含量 (%)	腐殖质组成 (占土重%)				腐殖质碳含量** (毫克/克干土)	腐殖质氮含量** (毫克/克干土)
				总碳	胡敏酸	富里酸	胡敏素		
1	2,615	0—7	3.46	2.01	0.221	0.617	1.172	3.599	0.327
		7—13	2.42	1.41	0.096	0.413	0.901		
2	2,260	6—14	16.78	9.73	0.991	1.179	7.550	12.060	0.706
		14—27	3.29	1.95	0.178	0.723	1.049		
3	1,990	3—9	22.13	12.83	1.691	1.938	9.201	11.890	0.473
		9—18	12.48	7.24	1.203	1.447	4.590		
5	1,620	4—10	12.36	7.17	0.889	1.551	4.730	10.600	0.402
		10—16	1.75	1.02	0.089	0.367	0.564		
6	1,380	3—8	21.40	12.39	1.674	1.220	9.496	5.690	0.350
		8—11	3.38	1.96	0.259	0.300	1.401		
7	740	3—5	27.56	15.99	2.232	2.080	11.678	16.490	0.825
		5—11	6.66	3.86	1.194	2.107	0.559		
9	690	3—12	—	—	—	—	—	—	—

* 引自许广山等 (1980)。

** 为本组分析结果。

放线菌数：高泽一号合成培养基平板表面涂抹法。

2) 酶活性分析

蛋白酶活性：以酪素为基质，用比色法测定酶解释放出的酪氨酸量。

转化酶活性：以蔗糖为基质，用滴定法测定酶解释放出的葡萄糖量。

接触酶活性：以过氧化氢为基质，用滴定法求出相当于被分解的过氧化氢的 0.1N KMnO_4 量。

多酚氧化酶活性：以连苯三酚为基质，用瓦勃呼吸器测定耗氧量。

3) 土壤呼吸强度的测定 用瓦勃呼吸器进行。分别测定不添加基质的情况下（内源呼吸），及添加基质（0.1M 葡萄糖，0.1M 丙酮酸钠，0.1M 连苯三酚）的情况下，土壤释放二氧化碳和吸收氧量。

4) 土壤腐殖质碳、氮的分析 用 0.1M 焦磷酸钠 (pH 7.0) 抽出，然后按常规分析方法测定抽出物中的碳、氮量。

5) 土壤有机质中糖的测定 土壤有机质经酸水解后，用酚-硫酸比色法测中性糖；用咔唑比色法测糖醛酸；用二甲基氨基苯甲醛比色法测氨基糖。

上述方法详见《土壤微生物分析方法手册》和《土壤动态生物化学研究法》（中国科学院林业土壤研究所，1960；郑洪元、张德生，1980）。

二、结果与讨论

1. 土壤微生物主要类群的数量分布

表 5 数据是我们连续 3 年对土壤微生物各类群数量分布进行 3 次分析的平均结果。3

表 5 长白山北坡自然保护区土壤微生物的数量分布（单位：万/克干土）

土样 编号	海拔 高度 (米)	植被类型 (林型)	土 壤	细 菌			放 线 菌		真 菌		芽孢 细菌	固氮 细菌	硝化 细菌
				微生物 总 数	数量	占微生物 总数 (%)	数量	占微生物 总数 (%)	数量	占微生物 总量 (%)			
1	2,615	藓类、小叶杜鹃、仙女木等	山地苔原土	1,665,001*	1,644,20*	98.75	0.27	0.04	20.53	1.23	1.16	0	0
2	2,200	苔藓、牛皮杜鹃	山地苔原土	550,14	535,80	97.39	0.15	0.03	14.19	2.58	0.65	0	0
3	1,990	杜鹃，岳桦林	山地生草森林土	3,031,973	3,044,70	99.44	0.17	0.02	17.11	0.55	4.00	0	0
5	1,200	红松云冷杉暗针叶林	山地棕色针叶林土	980,46	949,10	96.80	0.72	0.03	30.64	3.12	1.05	0	0
6	1,380	杜香落叶松林	山地棕色针叶林土	1,330,991	1,359,50	98.44	0.28	0.02	21.21	1.54	3.27	0	0
7	740	灌木阔叶红松林	山地暗棕色森林土	5,835,915	5,715,40	97.93	37.39	1.50	33.12	0.57	13.65	0	0
9	690	胡枝子长白赤松林	山地暗棕色森林土	844,07	740,60	87.74	76.17	9.03	27.30	3.23	11.70	0	0

* 1 号标准地细菌数量和微生物总数偏高。这可能与近年来旅游事业发展，天池附近小生态环境受到一定的干扰有关。因此，这个数据与 1979 年发表的结果有出入，仅供参考。

次分析时间为: 1979年9月、1980年9月和1981年7月。

表5表明, 在不同林型下土壤中微生物的总量以灌木阔叶红松林和杜鹃岳桦林下为最高, 其次是杜香落叶松林, 而以红松云冷杉林和胡枝子长白赤松林下为最低。细菌的数量与微生物总量大致相同。在胡枝子长白赤松林下土壤中细菌的数量较少, 只占微生物总量的88%。相反, 放线菌和真菌的数量很多。分别占微生物总量的9%和3%。以针叶树种为主的胡枝子长白赤松林下土壤中微生物的分布, 与土壤水热条件和林型结构密切相关。真菌多, 放线菌更多, 这与针叶含有保存性物质(如单宁物质)较难分解有关。一般认为, 放线菌参与难分解物质的分解过程。

放线菌在其它林型下土壤中分布的数量都较少, 只在灌木阔叶红松林下土壤中数量较多, 但它们所占的百分比很小, 仅占微生物总数的1.5%。总的看来, 放线菌数量分布有着自上而下增加的趋势。这与长白山北坡各林带水热状况变化密切相关(见表2)。热量是自上而下逐渐增加, 水分则自上而下逐渐减少。放线菌喜热耐旱的特性, 在这里得到了一定的反映。

真菌的数量在不同林型下的分布却是另一种情况。它们在胡枝子长白赤松林下很多。而在红松云冷杉林和杜香落叶松林下的土壤中也很多。它们分别占微生物总量的3%和1.5%。在灌木阔叶红松林下, 真菌的数量在7个植被下土壤中是最高的, 但它们占微生物总量的百分比并不高, 只占0.6%。同样, 在杜鹃岳桦林下土壤中真菌的数量很少, 也只占微生物总量的0.55%。这反映了在以针叶树种为主的胡枝子长白赤松林、红松云冷杉林和杜香落叶松林下, 由于枯枝落叶的组成以难分解的针叶为主, 真菌在植物残体分解过程中常常起着较大的作用。同时, 真菌比细菌和放线菌更适应于在pH较低的土壤条件下发育。

在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下土壤中, 微生物数量较大。而其中细菌占绝对优势, 它们占微生物总量的99.4%。显然, 细菌在阔叶的分解中起着重要的作用。一般地说, 在这种林型下土壤中有机残体的分解过程较为强烈, 特别是在温度、湿度适宜的条件下。

在细菌中, 产芽孢细菌(主要指芽孢杆菌属的细菌)是一类具有较强氨化作用能力的菌群。它们的数量分布也以灌木阔叶红松林和杜鹃岳桦林下的土壤中较多。这在一定程度上反映了土壤中有机氮化物分解过程的强度。在胡枝子长白赤松林下芽孢杆菌数量也较多, 可能表明它们参与了一些难分解有机残体中含氮物质分解的过程。

长白山北坡不同林型和土类下微生物的数量分布表明, 以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 微生物数量, 尤其是细菌的数量比较丰富。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林下土壤中次之。以半荒漠苔原带下的土壤中微生物数量为最低(以苔藓、牛皮杜鹃下发育的山地苔原土为例)。这与不同植被下枯枝落叶的构成, 枯枝落叶层的蓄积量, 以及土壤中有机质的含量等密切相关(见表3)。

2. 不同植被下土壤中微生物种群的生态分布

结合不同林型下土壤中微生物数量分布的调查, 我们按不同菌群分离出有代表性的各种菌株, 重点对产芽孢细菌中的芽孢杆菌、放线菌中的链霉菌和真菌的主要种属在各土类中的生态分布进行了鉴定和分析。

从长白山北坡不同植被下的不同土类中, 我们分离出了近千株芽孢杆菌, 经鉴定分属于

14个种。这些芽孢杆菌的种,在不同林型下的土壤中分布的情况见图1。

植被(林型)	藓类、小叶杜鹃、仙女木等	苔藓 牛皮杜鹃	杜鹃 岳桦林	红松云 冷杉林	杜香落 叶松林	灌木阔叶 红松林	胡枝子长 白赤松林
<i>B. acillus coagulans</i> 凝结芽孢杆菌							
<i>B. cereus</i> 蜡状芽孢杆菌							
<i>B. megaterium</i> 巨大芽孢杆菌							
<i>B. firmus</i> 坚强芽孢杆菌							
<i>B. cereus</i> var. <i>mycoides</i> 蜡状芽孢杆菌蕈状变种							
<i>B. sphaericus</i> 球形芽孢杆菌							
<i>B. brevis</i> 短芽孢杆菌							
<i>B. circulans</i> 环状芽孢杆菌							
<i>B. laterosporus</i> 侧孢芽孢杆菌							
<i>B. pumilus</i> 短小芽孢杆菌							
<i>B. polymyxa</i> 多粘芽孢杆菌							
<i>B. macerans</i> 浸麻芽孢杆菌							
<i>B. alvei</i> 蜂房芽孢杆菌							
<i>B. subtilis</i> 枯草芽孢杆菌							
土类	半荒漠山 地苔原土	山地苔原土	山地生草 森林土	山地棕色暗针叶林土	山地暗棕色森林土		

图1 长白山北坡自然保护区不同植被和土类下土壤芽孢杆菌分布图

从图1可见,芽孢杆菌的14个种在不同植被和土壤条件下的生态分布有其一定的谱带。最常见的是凝结芽孢杆菌;其次是蜡状芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌和坚强芽孢杆菌;再其次是蜡状芽孢杆菌蕈状变种。而枯草芽孢杆菌只出现在胡枝子长白赤松林下。同时,在不同林型和土类下,芽孢杆菌种的组成,其优势种的组合有一定的差异。例如,在山地苔原土中,环状芽孢杆菌占芽孢杆菌总数的35.42%,凝结芽孢杆菌占芽孢杆菌总数的31.56%;而在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中,其优势种为巨大芽孢杆菌和蜡状芽孢杆菌,它们分别占芽孢杆菌总数的30.91%和28.54%。杜鹃岳桦林下山地生草土中芽孢杆菌优势种又是另一种情况。它们是环状芽孢杆菌和蜡状芽孢杆菌,分别占芽孢杆菌总数的27.79%和24.41%。这在表6中得到明显的反映。

从表6可初步看出,巨大芽孢杆菌虽然是最常见的芽孢杆菌之一,但是它们在半荒漠苔原土中却没有出现。而在这一地域土壤中,是环状芽孢杆菌和凝结芽孢杆菌占优势。在山地苔原土中没有发现最常见的蜡状芽孢杆菌,而在其他土类中很少见到的短芽孢杆菌和多粘芽孢杆菌在这里却占有优势。在红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土中占优势的芽孢杆菌是环状芽孢杆菌和坚强芽孢杆菌;而在杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中,却是侧孢芽

表 6 长白山北坡土壤芽孢杆菌各个种的生态分布 (菌数单位: 千/克干土)

土 样 编 号	芽孢杆菌总数 (千/克干土)	芽孢杆菌各个种的数 量及占总数 (%)	凝 结 芽 孢 杆 菌	蜡 状 芽 孢 杆 菌	巨 大 芽 孢 杆 菌	坚 强 芽 孢 杆 菌	蜡 状 芽 孢 杆 菌 变 种	球 形 芽 孢 杆 菌	短 芽 孢 杆 菌	环 状 芽 孢 杆 菌	侧 孢 芽 孢 杆 菌	短 小 芽 孢 杆 菌	多 粘 芽 孢 杆 菌	浸 麻 芽 孢 杆 菌	蜂 房 芽 孢 杆 菌	枯 草 芽 孢 杆 菌	其 他
1	11.66	菌数 %	3.68 31.56	1.99 17.07			0.69 5.91			4.13 35.42	0.76 6.51	0.13 1.12		0.28 2.41			
2	12.25	菌数 %	0.86 7.02		0.19 1.55	0.12 0.96			3.26 26.62				1.47 12.00				6.35 51.83*
3	24.90	菌数 %	4.83 19.39	6.08 24.41	1.85 7.42	0.97 3.88	1.03 4.14			6.92 27.79				1.77 7.11			1.45 5.85
5	25.67	菌数 %	0.13 0.50	2.99 11.65	2.77 10.80	4.77 18.58	0.25 0.97	2.12 8.25	0.13 0.51	7.38 28.75					0.74 2.88		4.39 17.11
6	41.63	菌数 %	7.63 18.32	5.01 12.03	1.15 2.76	0.31 0.70		4.18 10.05			20.05 48.16	3.30 7.92					
7	153.36	菌数 %	10.07 6.57	43.77 28.54	47.41 30.91	12.59 8.21	4.99 3.25	17.76 11.59	13.18 8.59		1.19 0.98						3.40 1.36
9	313.47	菌数 %	8.02 2.56	17.86 5.69	19.06 6.08	23.31 7.42	4.51 1.45	68.49 21.84	8.51 2.71	29.68 9.46		52.99 16.90	12.87 4.15		14.04 4.48	1.14 0.36	52.99 16.90

* 所分得菌种初步鉴定为幼虫芽孢杆菌 *Bacillus larvae*, 但因其在数种培养基上生长不良, 暂归入其他栏内, 因而百分数偏高。

孢杆菌和凝结芽孢杆菌占优势。同时, 还可以看到, 灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 占优势的芽孢杆菌种是巨大芽孢杆菌和蜡状芽孢杆菌, 而处在同一土带的胡枝子长白赤松林下的土壤中, 却是球形芽孢杆菌和短小芽孢杆菌占优势。另一方面, 还可以看到有一些特殊的种只出现在一定的植被下。例如, 蜂房芽孢杆菌只在红松云冷杉林下和胡枝子长白赤松林下出现; 浸麻芽孢杆菌只在苔原土和山地生草森林土中出现; 枯草芽孢杆菌甚至只出现于胡枝子长白赤松林下。构成长白山北坡自然保护区土壤中芽孢杆菌各个种的上述分布特性, 显然是由各个种本身生理特性的差异和各种生态因素的综合影响决定的。它可能具有某种特定的生态条件的指示意义。例如, 一般认为蜡状芽孢杆菌的存在与土壤中含氮有机残体的量有关, 而巨大芽孢杆菌则可指示有机物质分解的强度。枯草芽孢杆菌又可作为土壤中矿质化强度的指示 (米舒斯金1961)。因此, 可以认为, 以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林和针阔混交的灌木阔叶红松林下土壤中, 既含有丰富的有机物质, 而这些有机物质又处在积极分解的过程。胡枝子长白赤松林下土壤中出现枯草芽孢杆菌, 说明在这个林型下, 由于水热条件都比较良好, 土壤中有有机物质的矿质化过程, 可能相对地比较强烈。

放线菌不仅是分布在土壤中的重要抗菌素产生菌, 而且在土壤物质转化过程中起着重要的作用。它们是一类重要的氮化菌, 其中绝大多数属于链霉菌属 (*Streptomyces*)。长白山北坡自然保护区森林土壤中链霉菌类群的生态分布列于表 7。

从表 7 可以看到, 不同海拔高度、不同森林植被下土壤中放线菌的分布有明显的差异。总

表 7 长白山森林土壤中链霉菌类群的生态分布

土样 编号	放线菌各 类群的占 总数的%	黄色 菌群	粉 红 孢 群	淡 紫 灰 群	青 色 菌 群	绿 色 菌 群	蓝 色 菌 群	灰 红 紫 群	灰 褐 菌 群	金 色 菌 群	菌株数 合 计
1	菌株数*	3	4	7		4		1	1	9	29
	%	10.2	13.6	23.8		13.6		3.4	3.4	30.6	
2	菌株数	1	6	5				1		6	19
	%	5.3	31.8	26.5				5.3		31.8	
3	菌株数		5						6	10	21
	%		23.8						28.6	47.6	
5	菌株数	5		6			1	12	12		36
	%	13.6		16.6			2.8	33.3	33.3		
6	菌株数	6		4		1			12	22	45
	%	13.2		8.8		2.2			26.8	48.7	
7	菌株数	6	10	18				7	69	5	115
	%	5.2	8.7	15.7				6.1	60.0	4.1	
9	菌株数	1	13	27	1			8	43	6	99
	%	1.0	13.1	27.3	1.0			8.1	43.4	6.1	

* 菌株数指链霉菌的株数。表上是 364 株链霉菌的分群。

的趋势是, 自下而上随着海拔的升高而减少。在灌木阔叶红松林下的土壤中放线菌数量最多, 其次是胡枝子长白赤松林(见表 5)。这显然是由于海拔升高, 气温降低, 雨量增加, 导致生态环境不利于放线菌的发育(见表 2)。

长白山北坡自然保护区不同生态条件下, 森林土壤中链霉菌类群主要有九大类群, 即黄色类群、粉红孢群、淡紫灰群、青色类群、绿色类群、蓝色类群、灰红紫群、灰褐类群和金色类群。在不同海拔和不同植被下土壤中各类群的分布, 在组成上都有一定的差异。例如, 在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 以灰褐类群占优势(占 60%), 其次是淡紫灰群(占 15.7%)。而在胡枝子长白赤松林下的山地暗棕色森林土中, 灰褐类群(占 43.4%)和淡紫灰群(占 27.3%)也是优势类群。但在杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土壤中, 却以金色类群(占 48.7%)占优势。其次是灰褐类群(占 26.8%)。而在红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土壤中, 则以灰红紫群(占 33.3%)和灰褐类群(占 33.3%)占优势。在杜鹃岳桦林下的山地生草森林土中, 是金色类群占优势(占 47.6%)。但在苔藓、牛皮杜鹃植被下的山地苔原土中, 则以粉红孢群(占 31.8%)和金色类群(占 31.8%)占优势。以上资料表明, 长白山北坡森林土壤中的放线菌分布最广, 数量最多的类群是灰褐类群。其次是淡紫灰群和金色类群。而青色类群只出现于胡枝子长白赤松林下, 其数量很少。蓝色类群只出现于红松云冷杉林下, 其数量也很少。绿色类群则只在杜香落叶松林下发现。这些类群在特定的生态条件下的出现, 可能具有一定的指示意义。

我们通过分类鉴定把 364 株链霉菌进行了优势种组成的分析。结果例于表 8。

表 8

长白山北坡森林土壤中链霉菌种的组成

种 名	土样 编号	1	2	3	5	6	7	9	合 计
黄色长孢链霉菌 <i>Streptomyces longisporoflavus</i>		1			3	6	1		11
白黄链霉菌 <i>S.alboflavus</i>		2	1				2		5
浅黄链霉菌直丝变种 <i>S.flaveolus</i> var. <i>rectus</i>							3		3
色黄链霉菌 <i>S.chromoflavus</i>								1	1
玫瑰褐链霉菌 <i>S.roseofuscus</i>								4	4
丁香直丝链霉菌 <i>S.lilacinorectus</i>								1	1
玫瑰暗黄链霉菌 <i>S.roseofulvus</i>			6				2	6	14
弗氏链霉菌 <i>S.fradiae</i>				2					2
烟薰链霉菌 <i>S.fumanus</i>			2	2			2	2	8
玫瑰栗色链霉菌 <i>S.roseocastaneus</i>				1					1
丁香暗黄链霉菌 <i>S.lilacinofulvus</i>							4		4
玫瑰孢链霉菌 <i>S.roseosporus</i>							1		1
淡紫灰链霉菌 <i>S.lavendulae</i>		3			6	4	5	20	38
直丝淡紫灰链霉菌 <i>S.lavendularectus</i>		4	3				13	7	27
李色链霉菌可溶变种 <i>S.prunicolor</i> var. <i>solubilis</i>			1		12		3	5	21
紫色直丝链霉菌 <i>S.violaceorectus</i>							2		2
紫色团孢链霉菌 <i>S.violaceoagglomeratus</i>							1		1
紫产色链霉菌 <i>S.violochromogenes</i>							1		1
黑浅灰链霉菌 <i>S.nigrogriseolus</i>				4		11	25	27	67
栗色链霉菌 <i>S.castaneus</i>				1			1		2
鲁特杰斯链霉菌 <i>S.rutgersensis</i>					12		13	2	27
阿布拉链霉菌束丛变种 <i>S.aburaviensis</i> var. <i>tuftformis</i>						1	4		5
小孢链霉菌 <i>S.microsporus</i>							4	10	14
产色链霉菌 <i>S.chromogenes</i>							19	3	22
黑色链霉菌 <i>S.niger</i>							2		2
灰绿链霉菌 <i>S.griseoviridis</i>								1	1
浅灰白色链霉菌 <i>S.griseoalbus</i>			5	8		22	1	1	37
禾粟链霉菌 <i>S.graminearus</i>							2		2
禾粟链霉菌直丝变种 <i>S.graminearus</i> var. <i>rectus</i>							2	5	7
金色产色链霉菌 <i>S.aurecchromogenes</i>		3	1	1					5
金色链霉菌 <i>S.aureus</i>		3							3
链霉菌未定种 <i>S.spp.</i>		13		2	3	1	2	4	25
合 计		29	19	21	36	45	115	99	364

注: 按类群顺序排列。

表 8 表明, 不同植被下土壤中链霉菌种的组成也有一定的差异。在灌木阔叶红松林下土壤中, 不仅放线菌数量分布最多, 而且种的组成也较多, 达 23 个种。胡枝子长白赤松林下土壤中为 15 个种。杜鹃岳桦林下土壤中为 8 个种。杜香落叶松林下土壤中为 6 个种, 红松云冷杉林下土壤中为 5 个种。同时, 在不同植被下土壤中链霉菌的优势种组合也有明显的差异。例如, 在灌木阔叶红松林下以黑浅灰链霉菌、产色链霉菌、直丝淡紫灰链霉菌和鲁特杰斯链霉菌占优势。在胡枝子长白赤松林下以黑浅灰链霉菌、淡紫灰链霉菌和小孢链霉菌占优势。在杜香落叶松林下以浅灰白色链霉菌和黑浅灰链霉菌占优势。而在红松云冷杉林下, 则以鲁特杰斯链霉菌和李色链霉菌可溶变种占优势。杜鹃岳桦林下则以浅灰白色链霉菌占优势。在山地苔

原土中, 则又以玫瑰暗黄链霉菌占优势。有些种只出现于一定的土类。如色黄链霉菌, 只出现于胡枝子长白赤松林下; 玫瑰栗色链霉菌, 只出现于杜鹃岳桦林下; 紫色团孢链霉菌和紫产色链霉菌, 只出现于灌木阔叶红松林下土壤中。链霉菌在森林土壤中的生态分布规律, 与

表 9 不同林型下土壤中真菌分布的相对密度(%)

土 样 编 号 菌 名	总 菌 数 (株)	1	2	3	5	6	7	9
		62	442	109	259	277	221	230
<i>Aspergillus niger</i> group				1.8	0.4			
<i>A. vesicular</i>	4.8		0.7	6.4	1.9	3.6	1.8	0.9
<i>A. flavus</i>			0.2					
<i>A. ochraceous</i>	1.6			0.9				
<i>Absidia</i> sp.								3.0
<i>Acremonium</i> sp.	6.5			4.6	0.4	0.4	1.4	0.4
<i>Chrysosporium</i> sp.	9.7			2.8	1.5		0.9	0.9
<i>Epicoccum</i> sp.							0.5	
<i>Aureobasidium</i> sp.			0.2	0.9	0.4	3.2	1.4	
<i>Beauveria</i> sp.	4.8		66.7	9.2				
<i>Phialocephala</i> sp.					3.5	6.5	10.0	
<i>Mortierella polycephala</i>	32.3	16.1	12.8	2.7			2.7	1.3
<i>M. vinacea</i>	1.6	0.7	0.9	47.4	26.0	42.1	0.4	
<i>Mucorales</i> sp.			2.7	1.9	1.8	0.5		
<i>Oidiodendron</i> sp.	1.6		0.9	1.2	11.2	0.9		
<i>Penicillium</i> sp.		7.0	21.1	7.3	15.1	8.6	62.3	
<i>Trichoderma polysporum</i>	1.6	2.9	8.3	24.7	11.2	7.7		
<i>T. Kőningi</i>		1.1	3.7	1.2	2.9	5.9	10.4	
<i>T. viride</i>	4.8							
<i>Thielaviopsis</i> sp.						2.9		2.6
<i>Zygothynchus</i> sp.							0.5	
<i>Phialophala</i> sp.					0.4		0.8	
<i>Peyronellaea</i> sp.			0.2		0.4			
<i>Cladosporium</i> sp.			0.5	0.9	0.4	0.7	0.5	
<i>Chaetopsina</i> sp.						1.1		
<i>Glomastix</i> sp.							0.5	
<i>Circinella</i> sp.							0.8	
<i>Fusarium</i> sp.	21.0						0.5	
<i>Spicaria</i> sp.								0.9
<i>Coniothyrium</i> sp.							0.5	
<i>Cylindrocarpum</i> sp.	1.6		1.8				0.9	0.4
<i>Gliocladium</i> sp.								8.7
<i>Monocillium</i> sp.							0.5	
<i>Phaeosaria</i> sp.							0.9	
<i>Doratomyces</i> sp.							0.5	
黑色菌丝	8.1	2.3	13.8	1.2	1.1	1.4	0.4	
白色菌丝		0.5	3.7	0.4	7.6	2.6	3.5	
其 它		0.9	2.8	2.7	4.7	4.5	3.9	

注: 相对密度 = $\frac{\text{每个种的分离物的总数 (株)}}{\text{该林地分得的真菌总数 (株)}} \times 100$ (Singh, 1976)

土壤的水热条件, 有机残体的组成, 以及这些变化与土壤中物质转化过程的相关性等, 都有待进一步研究。

真菌是参与土壤中有机物质分解过程的主要成员之一。它们能分解纤维素、半纤维素及其它类似化合物。同时, 真菌也能分解含氮的蛋白质类化合物而释放出氨。由于真菌具有复杂的酶系统, 分解一些植物保存性物质(如木素)的能力也特别强。因此, 真菌在森林土壤物质转化中, 占有重要的地位。我们从长白山北坡自然保护区, 不同海拔、不同植被和不同土类中共分离出真菌 1,953 株。经鉴定归属于 30 个属。表 9 是不同生态条件下土壤中真菌的分布。

从表 9 可以看到, 由于海拔高度和植被类型的不同, 在不同林型下土壤中真菌的组成和分布的相对密度有着明显的差异。从山地苔原土中所分得的 62 株真菌, 经鉴定归属 9 个属, *Mortierella polycephala* 和 *Fusarium* sp. 占优势。从山地苔原土中分得的 442 株真菌归属 8 个属。占优势属为 *Beauveria*, 其相对密度达 66.0。从山地生草森林土中分得 109 株真菌归属于 12 个属, 而以 *Penicillium* sp. 和 *Mortierella polycephala* 占较大比例, 相对密度分别为 21.1 和 12.8。从红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土中分得 259 株真菌, 归属 13 个属。而以 *Mortierella vinacea* 和 *Trichoderma polysporum* 占优势, 相对密度分别为 47.4 和 24.7。而从杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中分得的真菌 277 株, 归属于 13 个属。优势种为 *M. vinacea* 和 *Penicillium* sp., 相对密度分别为 26.0 和 15.1。其次为 *T. polysporum* 和 *Oidiodendron* sp., 相对密度分别为 11.2 和 11.2。在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 真菌种类相当丰富。从分得的 221 株真菌中, 经鉴定归属于 22 个属。其优势种为 *M. vinacea*, 其相对密度为 42.1。其次是 *Phialocephala* sp., 相对密度为 10.0。 *Penicillium* sp. 的相对密度也较高, 为 8.6。而在胡枝子长白赤松林下山地暗棕色森林土中分得的 230 株真菌归属于 11 个属, 以 *Penicillium* sp. 占绝对优势, 其相对密度达 62.3。其次是 *Trichoderma Koningi*, 相对密度为 10.4。

有的学者曾报道, 在比较湿冷的针叶林下的土壤中, *Mortierella* sp. 和 *T. polysporum* 占很大的比例(Soderstrom et al., 1978)。 *Mortierella* sp. 比较耐低温(Latter et al., 1971)。在长白山北坡自然保护区不同林型下, 特别是在红松云冷杉林、杜香落叶松林和灌木阔叶红松林下的土壤中, 出现大量的 *M. vinacea* 和 *T. polysporum*, 看来同这些林型下的土壤比较冷湿有一定的相关。但是, 在长白山北坡上部, 比较冷湿的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土中, 以及苔藓、牛皮杜鹃灌丛下的山地苔原土中, *Mortierella* sp. 和 *Trichoderma* sp. 的数量较少。这表明, 除了气候因素的影响以外, 它们的分布还受着植被和其它条件的影响。在山地生草森林土中 *Penicillium* sp. 却占较大的比例。真菌在不同海拔高度、不同植被和不同土类中的分布规律, 与土壤条件、植被组成, 以及与土壤中有机物质转化过程的相关性, 尚待进一步深入探讨。

3. 不同林型下土壤酶活性的变化

从表 10 可以看出, 长白山北坡自然保护区不同林型下土壤中酶活性的变化, 在一定程度上反映了土壤带性的垂直分布和植物演替的规律。

表10

不同生态条件下土壤酶活性的变化*

土 样 编 号	土 类	蛋 白 酶 活 性	转 化 酶 活 性	接 触 酶 活 性	多 酚 氧 化 酶 活 性
		酪 氨 酸 量 (毫克/克干土/24小时)	葡 萄 糖 量 (毫克/克干土/48小时)	0.1M KMnO ₄ 消耗量 (毫升/克干土)	氧吸收量 (微升/克干土/1小时)
1	半荒漠山地苔原土	2.796	18.57	18.36	22.65
2	山地苔原土	3.302	16.40	34.48	69.95
3	山地生草森林土	3.347	18.24	65.91	57.23
5	山地棕色针叶林土	2.303	13.12	49.57	27.85
6	山地棕色针叶林土	1.850	12.25	21.96	15.28
7	山地暗棕色森林土	3.308	16.78	72.01	62.05
9	山地暗棕色森林土	3.012	11.17	37.94	6.93

* 土壤采自各标准地, 立即风干, 然后进行测定。表中数据是3次分析的平均值。

结果表明, 土壤酶的活性在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的暗棕色森林土中为最高。其次是草本植被为主的山地苔原土。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色暗针叶林土中为最低。半荒漠苔原土壤中, 除了转化酶活性较高外, 其它酶类的活性都很低。

不同土壤酶活性的差异, 表明了不同土壤之间有机残体转化状况。可以利用水解酶类(蛋白酶、转化酶)活性强度来解释土壤有机残体的分解强度; 利用氧化还原酶类(接触酶、多酚氧化酶)活性强度来解释土壤中腐殖质再合成的强度。

从测定结果看出, 处于海拔2,600米以上的半荒漠苔原土(天池附近), 虽然具有一定强度的水解酶活性, 但氧化酶活性却很弱。因而可以认为, 在这种土壤中腐殖质再合成的强度比较弱, 其结果是土壤中所累积的腐殖质碳和腐殖质氮的含量也比较低(见表4)。但处于海拔2,260米以下的山地苔原土, 由于土壤为灌木和草本植被所覆盖, 积聚了较多的有机残体, 土壤中水解酶类和氧化酶类的活性都较强, 因而其土壤中有机残体的分解及腐殖质的再合成也较强, 积累了较多的腐殖质碳和腐殖质氮。

在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土中, 无论是水解酶类的活性, 还是氧化酶类的活性都是最强的。这表明, 在这两种土壤中, 物质转化的过程是在强烈地进行。同时, 土壤中积累的腐殖质碳和腐殖质氮的含量也最高。

与此相反, 在针叶树种比重较大的暗针叶林下(红松云杉冷杉林和杜香落叶松林)发育的山地棕色针叶林土中, 水解酶类和氧化酶类的活性都很弱。表明土壤中有机质转化的过程进行得较为缓慢, 土壤中积累的腐殖质碳和腐殖质氮含量也较低。显然, 这是由于这些林型下, 枯枝落叶组成以针叶为主, 有机残体较难分解。胡枝子长白赤松林下暗棕色森林土中, 腐殖质碳、氮的含量是很低的, (许光辉、郑洪元等, 1980)这也从另一方面证明了, 胡枝子长白赤松林由于其结构主要为长白赤松, 接近于纯针叶林, 因此, 土壤中微生物数量较少, 土壤酶的活性较低。虽然处在低海拔的生态条件下, 土壤为暗棕色森林土, 长白赤松的产量较

高, 但就其土壤条件的整体而言, 生物生产力是不高的。

灌木阔叶红松林为针阔混交林。在这一林型下土壤中微生物数量非常丰富, 土壤中酶的活性也较强, 累积的腐殖质含量也较高。所以是一个生物生产量较高的林型结构。同时, 这还可以从不同林型下枯枝落叶层的蓄积量调查的结果得到进一步证明(见表3)。枯枝落叶层的蓄积量在4个林型中以灌木阔叶红松林为最高。一般认为, 枯枝落叶层的蓄积量, 除了与海拔高度、水热条件有关外, 更主要的是与树种的组成有关。阔叶树高于针叶树, 明亮针叶林高于暗针叶林。

4. 不同林型下土壤呼吸作用强度的变化

土壤呼吸主要是由土壤微生物的生命活动所引起的(当然还有土壤动物和植物根系的活动, 但不是主要的)。因此, 一般认为可以把呼吸作用强度作为土壤生物活性的总指标。当添加有效含碳或含氮有机物质作为能量及营养源时, 它能激发土壤呼吸作用。它可以反映土壤的潜在生物活性。在有机残体分解过程中, 可以根据二氧化碳释放量来判断有机残体的分解速度和强度。所以, 利用土壤呼吸强度的变化, 可以阐明土壤氧化代谢的能力和方向(Singh *et al.*, 1977)。

我们进行了内源呼吸、葡萄糖氧化、丙酮酸氧化和多酚类氧化四个方面的试验, 结果列于表11。

表11 不同生态条件下土壤呼吸作用强度*

土 样 编 号	内 源 呼 吸 (微升/4 克土/小时)			土壤代谢葡萄糖能力 (微升/4 克土/小时)			土壤代谢丙酮酸能力 (微升/4 克土/小时)			土壤代谢多酚化合物能力 (微升/4 克土/小时)		
	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ
1	17.4±9.6	25.3±11.7	1.45	48.4±6.6 (31.4)	60.0±11.7 (34.7)	1.24	29.9±2.6 (12.5)	54.6±5.1 (29.3)	1.82	109.0±16.9 (91.6)	47.5±9.7 (22.2)	0.44
2	28.8±5.8	30.6±6.3	1.06	47.2±11.2 (18.4)	53.3±11.9 (22.7)	1.13	34.5±8.6 (5.7)	56.3±15.5 (25.3)	1.63	174.1±39.2 (145.3)	57.8±45.5 (27.2)	0.33
3	62.5±13.8	65.9±12.7	1.05	109.2±13.6 (46.7)	118.2±2.2 (53.3)	1.08	103.5±25.4 (41.0)	152.9±14.9 (87.0)	1.48	290.2±39.7 (227.7)	125.3±44.8 (59.4)	0.43
5	16.3±4.9	20.6±4.1	1.26	24.8±4.2 (8.5)	29.2±5.8 (8.6)	1.18	23.0±5.9 (6.7)	52.2±1.9 (31.6)	2.26	136.7±17.2 (120.4)	70.3±6.8 (49.7)	0.41
6	27.5±17.5	32.5±26.4	1.18	32.5±25.8 (5.0)	33.7±25.6 (1.2)	1.04	40.5±38.8 (13.0)	84.1±68.6 (51.6)	2.08	141.5±10.4 (114.0)	52.4±49.8 (18.9)	0.37
7	62.0±5.7	72.1±5.9	1.16	88.5±3.5 (26.5)	96.0±4.3 (23.9)	1.08	74.3±7.3 (12.3)	134.3±13.5 (62.2)	1.81	255.5±35.7 (193.5)	149.3±36.4 (77.2)	0.58
9	21.2±13.6	27.1±14.8	1.27	30.0±26.2 (8.8)	35.8±32.6 (8.7)	1.15	25.8±22.6 (4.6)	54.3±32.0 (27.2)	2.10	48.2±27.2 (27.0)	34.4±14.7 (17.3)	0.71

* 3 次采样分析的平均值。表中括号内数字为减去内源呼吸所得值。

从表11可以看出, 内源呼吸变化测定的结果与土壤酶活性变化测定的结果基本相近。以

阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中呼吸作用为最强。而以针叶林为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中为最弱。处于天池附近的半荒漠山地苔原土和苔藓、牛皮杜鹃下的山地苔原土中内源呼吸值也较低。这种呼吸值的差异,同样表明了,针叶林下土壤总的生物活性低于阔叶林下的土壤。

添加葡萄糖后呼吸作用强度的变化与内源呼吸相一致,也是以杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中为最强,以红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色针叶林土中为最弱。而半荒漠山地苔原土和山地苔原土的氧化葡萄糖的能力也比较低。

丙酮酸是碳、氮代谢的中间物。生物体通过丙酮酸将碳代谢与氮代谢联系起来。因此,了解土壤对丙酮酸氧化能力的强弱,有助于对整个土壤代谢能力的认识。从表7结果可以看到,不同土壤对丙酮酸氧化能力有差异。同样以杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土为最强,而以红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色针叶林土为最弱。

土壤中多酚化合物主要来源于植物残体的分解。与其它基质相比,土壤对多酚化合物的氧化是积极的。而在不同生态条件下的土壤间的差异也很明显。表11资料表明,土壤对多酚化合物的氧化能力,同样以山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土为最强,而以针叶为主的林型下发育的山地棕色针叶林土为最弱。

上述结果表明,长白山北坡自然保护区的土壤,无论是内源呼吸,或者是添加基质时的呼吸作用强度,都是以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土为最强。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色针叶林土为最弱。这说明,前两种土壤不仅总的生物活性强(见表5和表10),而且潜在的生物活性也较强。而后一种土壤则不仅总的生物活性较弱,而且潜在的生物活性也较弱。

5. 不同林型下土壤有机质中糖类的分布

糖类化合物是土壤有机质中的重要成分,它大约占土壤有机质的5%到10%,一般存在于土壤腐殖质中。土壤中多糖的来源,一部分是植物残体分解释放出的糖类所构成,另一部分则是由土壤微生物代谢过程中形成的代谢产物——糖类化合物所构成(Hepper, 1975)。长白山北坡森林土壤中糖类的含量列于表12。

从各林型下土壤中总糖量的变化来看,基本上与微生物数量的生态分布相一致。以灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土和杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土为最高,而以红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色暗针叶林土和半荒漠山地苔原土为最低。

不同土壤中糖类含量的水平,在很大程度上取决于土壤中总的有机质的含量。因此,影响有机质输入和分解速率的各种因子,必然影响土壤中糖类的含量。

表 12

长白山北坡森林土壤中糖类含量 *

土 样 编 号	土 类	采样深度 (厘米)	有机质 含量 (%)	中 性 糖		糖 醛 酸		氨 基 糖		总 量	
				毫克/ 100克土	%	毫克/ 100克土	%	毫克/ 100克土	%	毫克/ 100克土	%
1	半荒漠山地苔原土	0—13	2.94	145	5.15	15	0.5	40	1.4	200	7.05
2	山地苔原土	6—27	10.03	1,911	17.65	100	0.8	119	1.2	2,130	18.65
3	山地生草森林土	3—18	17.31	2,418	14.50	134	0.7	154	0.9	2,706	16.10
5	山地棕色针叶林土	4—15	7.05	896	10.50	35	0.4	66	0.9	997	11.80
6	山地棕色针叶林土	3—11	12.39	1,009	8.50	51	0.4	63	0.6	1,123	9.50
7	山地暗棕色森林土	3—11	17.11	2,448	16.10	151	1.1	349	2.9	2,948	20.10
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 为一次采样 3 次分析结果。表内 % 指占土壤有机质含量的百分数。

三、结 论

1. 长白山北坡自然保护区土壤中微生物的生态分布，有随着海拔上升而逐渐减少的趋势。但是，土壤细菌在以阔叶为主或针阔混交的林型下，数量较多，其占土壤中微生物总量的比例也较大。放线菌的数量分布，随着海拔下降自上而下有所增加。而真菌的分布在以针叶为主或针叶比重较大的林型下，数量较多。表明了微生物数量的分布与海拔高度、植被类型、气候特点、土壤水热条件，以及土壤中枯枝落叶的组成和有机质的含量等生态因素密切相关。

2. 长白山北坡自然保护区土壤中，芽孢杆菌、放线菌、真菌的生态分布及其种属组成的分析结果表明，不同海拔高度、不同植被和不同土类下，土壤中各类菌的优势种属组合有一定的差异。某些种对该土类而言，可能带有指示的特征。这些种属组成的变化与土壤水热条件，有机残体的组分，以及土壤中物质转化过程的相关性，有待进一步研究。

3. 长白山北坡自然保护区不同林型下土壤中，微生物的数量、土壤酶的活性、土壤呼吸作用强度，以及土壤有机质中糖类的含量等的测定结果，表现了相似的规律。它们都是以阔叶树种为主的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中为最高。其次是草本植被为主的山地苔原土。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中为最低。在山地生草森林土和山地暗棕色森林土中，水解酶类和氧化酶类的活性都较强，土壤中积累的腐殖质碳、氮含量也最高。相反，在棕色暗针叶林土中，水解酶类和氧化酶类的活性都很弱，表明土壤中有机质转化的过程进行缓慢，因而土壤中累积的腐殖质碳、氮的含量也较低。显然，这与以针叶为主的林型下，枯枝落叶的组成不同，有机残体中含有保存性物质的量较大，因此较难分解有关。

参 考 文 献

中国科学院林业土壤研究所微生物研究室主编 1960 土壤微生物分析方法手册。科学出版社。

中国科学院林业土壤研究所编著 1980 中国东北土壤，科学出版社，第55页。

许光辉 1980 森林生态系统研究中的微生物学问题。森林生态系统研究 1980 (1): 247—256。

许光辉、郑洪元等 1980 长白山自然保护区森林土壤微生物的垂直分布。森林生态系统研究 1980 (1): 153—160。

- 许广山等 1980 长白山北坡主要森林土壤有机质及其特性的初步研究。森林生态系统研究 1980 (1):215—220。
- 迟振文等 1981 长白山北坡森林生态系统水热状况初探。森林生态系统研究 1981 (2):167—178。
- 郑洪元、张德生 1980 土壤动态生物化学研究法, 科学出版社。
- 郑洪元、张德生等 1980 不同生态条件下森林土壤的酶活性。森林生态系统研究 1980 (1):161—166。
- 1981 长白山森林土壤蛋白酶动力学常数的研究。森林生态系统研究 1981 (2):142—146。
- 程伯容等 1981 长白山北坡自然保护区主要土壤类型及其基本特性。森林生态系统研究 1981 (2):196—204。
- 米舒斯金 (许光辉等译) 1961 土壤微生物和土壤肥力, 科学出版社。
- Hepper, C.M. 1975 Extracellular polysaccharides of soil bacteria, in "Soil Microbiology" Eds N. Walker, 93—110.
- Latter, P.M. and O.W. Heal 1971 A preliminary study of growth of fungi and bacteria from Temperate and Antarctic soil in relation to temperature. *Soil Biol. Biochem.* 3:365—379.
- Singh, P. 1976 Some fungi in the forest soil of Newfoundland. *Mycologia* 68, 881—890.
- Singh, J.S. et al. 1977 Plant decomposition and Soil respiration in terrestrial ecosystems *Botanical Rev.* 43, 449—528.
- Soderstrom, B.E. et al. 1978 Soil microfungi in three Swedish coniferous forests, *Holarctic Ecology* 1: 62—72.

STUDY ON ECOLOGICAL DISTRIBUTION AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF FOREST SOIL MICROORGANISMS ON THE NORTHERN SLOPE OF THE CHANGBAI SHAN MOUNTAIN NATURAL RESERVE

Xu Guanghui Zheng Hongyuan Zhang Desheng Lu Yaobo
Li Yukun Zhang Shuxian Liu Zengzhu Wu Wenfang
Zhao Zhenying Li Fengzhen Liu Ruijun
(Institute of Forestry and Soil Science, Academia Sinica)

The ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms under different types of forest on the northern slope of the Changbai Shan Mountain Natural Reserve were studied.

The relations between the main vegetation types and ecological distribution of soil microorganisms are as follows:

1. The number of soil bacteria under the deciduous forest and the broad-leaved and coniferous mixed forest is greater than that under the coniferous forest.
2. The distribution of soil actinomycetes under different soil types is decreased with an increase in altitude.
3. The microfungi are more abundant in the soils under the subalpine mixed coniferous forest.

The ecological distribution of Genus *Bacillus*, actinomycetes and microfungi, and the species composition and the dominant species vary with different altitudes, vegetations and soil types. It seems that the dominant species under different types of forest is closely correlated with water-heat conditions, constituents of plant residues and decomposition processes of soil organic matters.

Activities of soil enzyme (Protase, Invertase, Catalase and Polyphenolase), endogenous respiration, capability of oxidative metabolism, and distribution of neutral monosaccharides, amino sugar and uronic acid in the soil organic matters vary greatly with different forest types. The above values are the highest in the soils under both the deciduous forest and the coniferous and broadleaved mixed forest, and the lowest in the soil under the coniferous forest. The biochemical activities in the soil under the mixed coniferous forest increases with an increase in broad-leaved trees.