

文章编号: 1001-1498(2002)01-0088-08

岩质海岸防护林土壤微生物数量及其与酶活性和理化性质的关系*

胡海波¹, 张金池¹, 高智慧², 陈顺伟², 臧廷亮¹

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 研究了亚热带基岩海岸不同类型防护林土壤微生物分布特点, 并用数学方法探讨了它与土壤酶活性和理化性质的关系, 结果表明: (1) 土壤中各类微生物数量相关极显著, 其数量关系是细菌 > 放线菌 > 真菌, 不过真菌所占的比例较泥质海岸高; (2) 不同林地土壤微生物差异很大, 胡柚、桃形李等经济林土壤微生物多, 马尾松和杨梅成林较少; (3) 土壤微生物数量与土壤酶活性有一定的相关性; (4) 土壤微生物数量与土壤理化性质密切相关。最后, 对土壤微生物数量与酶活性的关系及反映土壤肥力的可能性进行了讨论。

关键词: 基岩海岸; 防护林; 土壤微生物; 土壤酶活性

中图分类号: S154 **文献标识码:** A

土壤是一个复杂的生态系统, 评价土壤质量和森林生产力有许多指标^[1,2], 如土壤理化性质、酶活性和微生物状况等。土壤微生物是土壤生态系统中养分来源的巨大原动力, 在动植物残体的降解和转化, 养分的释放和循环及改善土壤理化性质中起着重要作用, 它是土壤生物活性最敏感的指标之一。本文旨在揭示基岩海岸防护林土壤微生物的分布特点及其与土壤酶活性和理化性质的关系, 探讨土壤微生物作为肥力指标的可能性, 为沿海防护林体系建设提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于浙江省宁海、三门两县沿海地区向海的一面坡上, 属亚热带海洋性季风气候, 四季分明, 雨量充沛。年平均气温 16.2°C , 年降水量 $1\,628.8\text{ mm}$, 但多集中于6-8月, 夏、秋两季降水量占全年的71.9%, 冬季仅占9.4%。年蒸发量 $1\,421.2\text{ mm}$, 无霜期218.2 d。该地多台风暴雨, 年平均有台风2-3次, 常引起山洪暴发、海塘被毁。土壤母岩大多为花岗岩和凝灰岩, 土层厚度中等, 质地轻粘, 干燥时疏松多孔, pH值4.7-6.5。土壤石砾含量高, 极易造成土壤侵蚀, 沿海山丘区和岛屿土壤侵蚀模数可达 $3\,000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。地带性植被属中亚热带常绿阔叶林, 现大多为人工林所取代, 主要树种有马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、湿地松(*P.*

收稿日期: 2001-05-08

基金项目: “九五”国家科技攻关项目“岩质海岸防护林体系综合配套技术研究及示范”(96-007-03-03)

作者简介: 胡海波(1964-), 男, 江苏宝应人, 副教授, 生态学博士。

* 本文曾得到南京林业大学姜志林、韩素芬教授的指导, 谨表衷心感谢。

elliottii Engelm.)、日本扁柏 (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb et Zucc.) End)、樟树 (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)、木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schott)、板栗 (*Castanea mollissima* Blume)、杨梅 (*Myrica rubra* (Lour.) Sieb. et Zucc.)、桃形李 (*Prunus salicina* Lindl.) 等。

2 研究方法

在研究区的杨梅林、桃形李林、胡柚林、湿地松林、扁柏林、马尾松幼林和成林、竹林、湿地松 + 板栗、杨梅 + 桃形李、湿地松 + 木荷共 11 个林分中选择典型地块建立样地,设无林地(前 1 年伐去植被、翻垦土壤)作对照。在这些林分中,除马尾松和杨梅两片成龄林外,其他皆为中幼龄林,林龄为 5—6 a。

在每个样地中,挖 2—3 个土壤剖面,分 3 层取样,即 0—5、5—20 cm 和 20—40 cm,相应层次取混合样带回室内分析。取样后,立即送回室内风干,在两周内完成土壤微生物和酶活性的测定,并分析土壤理化性质。土壤微生物测定了细菌、真菌和放线菌^[3],活菌计数采用表面涂抹平板法,培养基分别为:细菌——牛肉膏、蛋白胨琼脂培养基;放线菌——改良高氏 1 号培养基;真菌——马丁氏孟加拉红培养基。每个样品的同一微生物分离一般重复 3—5 次。土壤酶活性测定了蔗糖酶、磷酸酶、脲酶和蛋白酶^[4],分别做平行试验。(1)蔗糖酶活性表示:mg(葡萄糖)·g⁻¹(土) (37℃, 24 h);(2)磷酸酶活性:mg(酚)·g⁻¹(土) (37℃, 12 h);(3)脲酶活性:mg(氨态氮)·g⁻¹(土) (37℃, 24 h);(4)蛋白酶活性:mg(氨基酸)·g⁻¹(土) (30℃, 24 h)。土壤理化性质测定容重(g·cm⁻³)、孔隙率(%)、水稳性团粒含量(%)、有机质含量(%)、pH 值等^[5],亦做平行试验。

3 结果与分析

3.1 土壤微生物状况

3.1.1 土壤微生物各类群的关系 土壤微生物主要包括细菌、放线菌和真菌,在基岩海岸防护林土壤中(表 1),细菌数量平均为 189.80 × 10⁵ 个·g⁻¹,占微生物总数的 85.0%;放线菌平均为 24.23 × 10⁵ 个·g⁻¹,占 10.8%;真菌数量最少,只有 9.30 × 10⁵ 个·g⁻¹,仅占 4.2%,因而土壤微生物以细菌占绝对优势。另据检验^[6],土壤各类微生物数量间存在显著的相关关系($P = 0.01$),说明它们对环境的要求具有一定的相似性;各类微生物与总量间也显著相关,其中细菌与微生物总量的相关性最高,相关系数达 0.994 6,因此土壤微生物数量主要取决于细菌。

表 1 土壤中微生物的数量及其相互关系 (n = 36)

	土壤微生物状况					相关系数			
	变化范围/ (×10 ⁵ 个)	平均值/ (×10 ⁵ 个)	占总微生物 比例/%	标准差	变异 系数	细菌	放线菌	真菌	微生物 总量
细菌	69.8—528.92	198.80	85.0	11.41	0.601 1	1.000 0			
放线菌	5.91—62.70	24.23	10.8	14.46	0.596 7	0.601 3 **	1.000 0		
真菌	2.11—20.23	9.30	4.2	5.38	0.578 4	0.708 3 **	0.595 7 **	1.000 0	
微生物 总量	79.84—607.81	223.33	100.0	12.73	0.570 1	0.994 6 **	0.681 9 **	0.745 8 **	1.000 0

注:表中“**”表示 $P = 0.01$ 显著相关。

应该注意的是,各地防护林土壤内真菌数量都比较少,如苏北泥质海岸刺槐林中真菌数量仅占总量的0.02%^[7],热带泥质海岸广西桉树林中真菌也只有0.04%^[8],而本岸段却高达4.2%,出现反常现象,虽然这与真菌生长繁殖的环境条件有关^[9]。本研究区土壤呈酸性,pH为4.7~6.5,是真菌的适生环境,而苏北泥质海岸和热带泥质海岸均呈碱性,pH>8.0,故真菌数量少;另外,真菌繁殖的最适温度是24~25℃,而北方和南方长年温度不是偏低就是偏高,故数量显著减少。

3.1.2 不同林分土壤微生物的数量分析 不同林分土壤微生物数量差异很大(表2),胡柚林土壤微生物数量最多,细菌、放线菌和真菌数分别为 265.93×10^5 、 36.68×10^5 、 7.61×10^5 个·g⁻¹,总数可达 310.22×10^5 个·g⁻¹;而在毛竹林土壤中3种菌分别仅有 85.41×10^5 、 9.89×10^5 、 3.33×10^5 个·g⁻¹,总数 98.63×10^5 个·g⁻¹,仅为胡柚林的31.8%。马尾松、杨梅成熟林土壤微生物数较低,其总数分别为 109.40×10^5 个·g⁻¹、 161.45×10^5 个·g⁻¹,只占平均数的57.8%和85.3%,微生物数量不因树龄增长而增加,然而可能与林分类型有关,一般认为阔叶树改土能力较针叶树强,落叶阔叶树改土能力较常绿阔叶树强^[9]。另外,马尾松幼林、湿地松及其混交林土壤微生物数量都比较少;而胡柚、桃形李、板栗等经济林土壤微生物活性均很强,微生物数量多,这显然与经济林施肥有关。徐秋芳等^[10]认为,有机肥可显著提高竹林土壤中细菌和真菌数量。

表2 不同林分土壤微生物数量和土壤酶活性

编号	林分类型	细菌		放线菌		真菌		微生物 总量/ ($\times 10^5$ 个·g ⁻¹)	磷酸酶/ [mg(酚) g ⁻¹]	蔗糖酶/ [mg(葡萄 糖)g ⁻¹]	脲酶/ [mg(氨态 氮)g ⁻¹]	蛋白酶/ [mg(氨基 氮)g ⁻¹]
		数量/ ($\times 10^5$ 个·g ⁻¹)	%	数量/ ($\times 10^5$ 个·g ⁻¹)	%	数量/ ($\times 10^5$ 个·g ⁻¹)	%					
1	马尾松幼林	84.10	73.4	27.17	23.7	3.25	2.9	114.52	5.27	2.68	0.56	1.01
2	马尾松成林	92.55	84.6	12.42	11.4	4.43	4.0	109.40	6.65	19.66	0.52	0.94
3	毛竹	85.41	86.6	9.89	8.6	3.33	2.9	98.63	3.84	3.22	0.43	0.83
4	湿地松+木荷	112.14	84.9	15.87	12.0	4.06	3.1	132.08	5.32	21.20	0.31	1.04
5	胡柚	265.93	85.7	36.68	11.8	7.61	2.5	310.22	5.40	10.54	0.26	0.89
6	湿地松	159.33	79.6	30.93	15.4	10.08	5.0	200.34	6.10	11.56	0.35	1.04
7	杨梅+桃形李	195.55	82.7	27.19	11.5	13.69	5.8	236.43	6.17	7.24	0.36	1.07
8	湿地松+板栗	190.39	90.1	10.33	4.9	10.68	5.0	211.40	6.37	8.26	0.37	1.09
9	桃形李	266.00	87.7	26.82	8.8	10.35	3.5	303.17	3.18	16.99	0.20	0.91
10	杨梅成林	146.30	90.6	8.05	5.0	7.10	4.4	161.45	6.13	30.12	0.26	0.92
11	扁柏	197.68	87.9	17.17	7.6	10.00	4.5	224.85	6.18	3.80	0.33	1.03
12	对照(CK)	132.75	78.9	27.44	16.3	8.04	4.8	168.23	4.73	4.14	0.26	0.94
	均值								5.45	11.58	0.35	0.98
	变异系数								0.188	0.714	0.295	0.80

注:表中数据为0~40cm土层内的平均值。

为弄清各林地土壤微生物的差异,进行方差分析^[11],得到F值为8.124,而当显著性水平=0.01时,F的临界值为4.49,故进一步证实各林分间土壤微生物数量有极显著差异。

设土壤微生物数为 x , x_1 ——细菌数(个·g⁻¹), x_2 ——放线菌数(个·g⁻¹), x_3 ——真菌数(个·g⁻¹)。对12个样地3类微生物(0~40cm)进行主成分分析,由于前两个主分量的累积贡献率达91.43%,故取两个主分量。记 \tilde{x} 为标准化变量, x 为原变量,则有:

$$\text{第一主分量: } y_1 = 0.6421\tilde{x}_1 + 0.4798\tilde{x}_2 + 0.5978\tilde{x}_3$$

$$\text{第二主分量: } y_2 = -0.1791\tilde{x}_1 + 0.8521\tilde{x}_2 - 0.4917\tilde{x}_3$$

式中, $\tilde{x}_i = (x_i - \bar{x}) / s_i, i = 1, 2, 3$ 。将各林地土壤微生物数量代入方程, 求出主分量 y_1 、 y_2 , 将它们绘在图上 (图 1)。

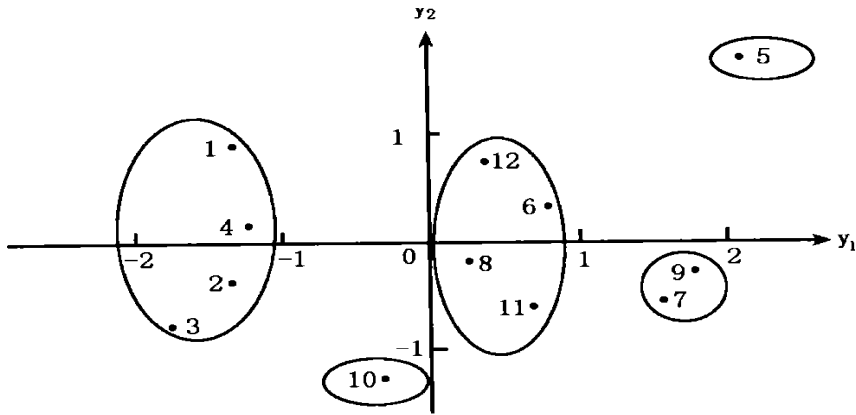


图 1 各林分微生物数量主分量坐标图(图中林分类型编号见表 2)

由图 1 知, 根据土壤微生物数量可将 12 个样地分为 5 类, 第一类是胡柚林 (5), 土壤微生物最丰富; 第二类是杨梅 + 桃形李混交林 (7) 和桃形李林 (9), 土壤中微生物也很丰富; 第三类是湿地松林 (6)、湿地松 + 板栗混交林 (8)、扁柏林 (11) 和对照地 (12), 大多为中幼林, 土壤微生物数量处在中等水平; 第四类为杨梅成林 (10), 土壤微生物少; 第五类为马尾松幼林 (1) 和成林 (2)、毛竹林 (3) 及湿地松 + 木荷混交林 (4), 土壤微生物最少。值得注意的是, 经济林地土壤微生物数量普遍较多, 成林土壤微生物少, 对照地土壤微生物也较活跃。

3.2 不同林分土壤酶活性的比较

在 0-40 cm 土层内, 不同林分类型土壤酶活性差异较大 (表 2), 如蔗糖酶变化幅度为 2.68-30.12 mg(葡萄糖) g⁻¹(土), 以杨梅成龄林最高、马尾松幼林最低, 马尾松成龄林、湿地松和木荷混交林、桃形李林也很高, 分别为 19.66、21.20、16.99 mg(葡萄糖) g⁻¹, 而毛竹林、扁柏林及对照地的土壤蔗糖酶活性很低, 由此看出松、柏、竹林土壤蔗糖酶活性低、阔叶林高。值得注意的是, 马尾松成龄林由于林下阔叶树繁多, 林地土壤实际上受阔叶树影响较大。脲酶活性反映了土壤中氮素的转化能力, 各林分间差异也较大, 变异系数为 0.295, 马尾松幼林最高, 为 0.56 mg(氨态氮) g⁻¹, 最低的桃形李林为 0.20 mg(氨态氮) g⁻¹, 另外杨梅成林、胡柚林及对照均很低, 因此经济林的土壤脲酶活性低。各林分土壤蛋白酶活性的变化规律与脲酶相似, 但变异系数仅 0.080。不同林分土壤磷酸酶差异也较小, 马尾松和杨梅成林、湿地松林、杨梅和桃形李混交林、湿地松和板栗混交林的土壤磷酸酶活性高, 在 0-40 cm 土层内均大于 6.00 mg(酚) g⁻¹, 而桃形李、毛竹及对照均较低。

为弄清不同类型防护林土壤酶活性的综合差异, 进行聚类分析, 可将 12 个林分分成 5 组, 第 1 组为马尾松成林和杨梅成林, 土壤酶活性最高; 第 2 组是湿地松和木荷混交林, 土壤酶活性也很高; 第 3 组是马尾松幼林、湿地松林、湿地松和木荷混交林、杨梅和桃形李混交林, 主要为用材林, 土壤酶活性中等; 第 4 组有毛竹林、胡柚林、桃形李林和扁柏林, 主要为经济林, 土壤受人干扰大, 酶活性低; 第 5 组为对照地, 土壤受到翻耕、弃荒, 土壤酶活性最低。

3.3 土壤微生物数量与土壤酶活性的关系

土壤是一个不断进行着复杂生物化学反应的生态系统, 土壤酶催化这些生化反应。研究

表明^[10],土壤酶绝大多数来自微生物,动植物也是其来源之一,但对酶的贡献十分有限,因此土壤微生物数量与酶活性应有较好的相关关系。

由表3可知,土壤3种类群的微生物数量与土壤磷酸酶、蔗糖酶、蛋白酶显著相关,而与脲酶不相关。因此,土壤微生物数量与土壤酶活性关系密切,但相关系数不很高。

表3 土壤微生物数量与酶活性的相关系数 ($n=36$)

土壤微生物	土壤酶活性			
	磷酸酶	蔗糖酶	脲酶	蛋白酶
细菌	0.313 4 *	0.293 5 *	- 0.024 7 *	0.372 9 *
放线菌	0.309 2 *	0.061 5	0.021 4	0.397 1 **
真菌	0.481 5 **	0.304 2 *	0.014 4	0.488 9 **

注:临界值 $r_{0.05}=0.278 1$, $r_{0.01}=0.358 2$

对土壤微生物数量(x)与酶活性(y)进行典型相关分析(表4),由于前两个特征根的累积贡献率达96.01%,故仅分析前两个特征根。

表4 土壤微生物数量与酶活性的典型变量 ($n=36$)

典型变量	特征根	累积贡献率/%	典型相关系数	原变量(中心化)	特征向量			
					$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$
第一对	0.626 2	78.80	0.791 3	\tilde{x}_1	- 0.002 6	0.176 1	0.887 0	
				\tilde{y}_1	0.708 1	- 0.094 0	- 0.682 0	0.585 1
第二对	0.136 7	96.01	0.369 7	\tilde{x}_1	1.108 6	- 1.139 2	- 0.010 9	
				\tilde{y}_1	- 0.567 2	1.272 9	- 0.256 9	- 0.157 8
第三对	0.031 7	100.00	0.178 0	\tilde{x}_1	1.003 8	0.631 1	- 1.190 1	
				\tilde{y}_1	- 1.782 3	0.208 2	- 0.000 2	1.588 7

由表4知,土壤微生物数量(V)与土壤酶活性(W)第一对典型变量是:

$$\text{土壤微生物: } V_1 = - 0.002 6 \tilde{x}_1 + 0.176 1 \tilde{x}_2 + 0.887 0 \tilde{x}_3$$

$$\text{土壤酶活性: } W_1 = 0.708 1 \tilde{y}_1 - 0.094 0 \tilde{y}_2 - 0.782 0 \tilde{y}_3 + 0.585 1 \tilde{y}_4$$

V_1 与 W_1 的典型相关系数为0.7913,经检验($\alpha=0.05$)达显著性水平,说明土壤微生物数量与土壤酶活性的关系比较密切。在第一综合土壤微生物数量(V_1)中起主要作用的是真菌(x_3),第一综合酶活性中起主要作用的是磷酸酶(y_1)、脲酶(y_3)和蛋白酶(y_4),因此,真菌数量对这3种酶影响很大。

土壤微生物数量与土壤酶活性第二对典型变量是:

$$\text{土壤微生物: } V_2 = 1.108 6 \tilde{x}_1 - 1.139 2 \tilde{x}_2 - 0.010 9 \tilde{x}_3$$

$$\text{土壤酶活性: } W_2 = - 0.567 2 \tilde{y}_1 + 1.272 9 \tilde{y}_2 - 0.256 9 \tilde{y}_3 - 0.157 8 \tilde{y}_4$$

V_2 与 W_2 的典型相关系数为0.3697,经检验也达显著水平,在第二综合土壤微生物数量 V_2 中起主要作用的是细菌(x_1)和放线菌(x_2),在第二综合土壤酶 W_2 中起主要作用的是蔗糖酶(y_2),因此细菌和放线菌数量对蔗糖酶有显著影响。

设土壤微生物数量为自变量(x),土壤酶活性为因变量(y), x_1 ——细菌(10^6 个 $\cdot\text{g}^{-1}$), x_2 ——放线菌(10^5 个 $\cdot\text{g}^{-1}$), x_3 ——真菌(10^5 个 $\cdot\text{g}^{-1}$); y_1 ——磷酸酶($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), y_2 ——蔗糖酶($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), y_3 ——脲酶($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), y_4 ——蛋白酶($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$),则有方程:

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 4.4787 - 0.0136x_1 + 0.0080x_2 + 0.1912x_3 & R_1 &= 0.4849 \\
 y_2 &= 8.2974 + 0.3423x_1 - 0.2765x_2 + 0.8127x_3 & R_2 &= 0.3776 \\
 y_3 &= 0.4367 - 0.0028x_1 + 0.0011x_2 + 0.0034x_3 & R_3 &= 0.0616 \\
 y_4 &= 0.8592 - 0.0001x_1 + 0.0023x_2 + 0.0144x_3 & R_4 &= 0.5064
 \end{aligned}$$

通过典型相关和多元回归分析,可知土壤酶活性虽与微生物数量有一定的相关性,但相关系数不大,相关关系并不十分密切,这是因为只有少量微生物种群在其生命周期的所有阶段存在某种特定的土壤酶,而且土壤酶活性是生物与非生物活性的总和,因此有可能土壤中微生物数量很少而却有很高的非生物活性酶,导致土壤微生物与酶活性无关或相关性较小^[10]。

3.4 土壤微生物数量与土壤理化性质之间的关系

由表 5 可知,土壤微生物数量与土壤理化性质有着密切关系。3 种微生物类群与土壤有机质、容重和 pH 显著相关,容重越大土壤微生物数量越少;而有机质含量和 pH 越高,土壤微生物数量越多,表明土壤理化性能好。土壤孔隙率对微生物数量没有显著影响,尤其是非毛管孔隙率相关性更小,这可能与试验地土壤孔隙丰富、通气良好、对微生物活动无影响有关;团粒结构也反映了土壤通气状态,由于直径 $D < 0.25 \text{ mm}$ 的土壤团粒结构含量高达 48.14% 89.33%,因而对微生物活动影响较小。

表 5 土壤微生物数量与理化性质的相关系数 ($n = 22$)

土壤微生物	土壤理化性质					
	D 0.25 mm 的团粒结构	有机质含量	容重	总孔隙率	非毛管孔隙率	pH 值
细菌	0.2072	0.5166**	-0.4062*	0.2464	0.1916	0.6324**
放线菌	-0.3519*	0.1034	-0.3718*	0.2584	-0.0847	0.3771*
真菌	0.1649	0.5118**	-0.3532*	0.3317	0.2245	0.5757**

注:临界值 $r_{0.05} = 0.3854$, $r_{0.01} = 0.4891$ 。

对土壤微生物数量与理化性质进行典型相关分析,其第一对典型变量为:

$$\text{土壤微生物: } V_1 = 2.4602 \tilde{x}_1 + 0.9103 \tilde{x}_2 - 2.1462 \tilde{x}_3$$

$$\text{土壤理化性质: } W_1 = -0.1147 \tilde{y}_1 + 3.3159 \tilde{y}_2 - 4.0183 \tilde{y}_3 - 4.3513 \tilde{y}_4 - 2.7810 \tilde{y}_5 - 0.4075 \tilde{y}_6$$

V_1 与 W_1 的典型相关系数是 0.9687,说明土壤理化性质第一典型变量(理化性质综合指标) W_1 与土壤微生物第一典型变量(微生物综合指标) V_1 的关系很密切,而在 W_1 中起主要作用的是 y_2 (有机质含量)、 y_3 (容重)、 y_4 (总孔隙率)和 y_5 (非毛管孔隙率),在 V_1 中起主要作用的是 x_1 (细菌)和 x_3 (真菌),因此土壤有机质含量、容重、总孔隙率和非毛管孔隙率对土壤细菌和真菌数量有很大影响。

第二对典型变量的相关方程为:

$$V_2 = -0.6060 \tilde{x}_1 - 1.1490 \tilde{x}_2 + 1.6373 \tilde{x}_3$$

$$W_2 = 0.6912 \tilde{y}_1 + 0.8654 \tilde{y}_2 + 2.1308 \tilde{y}_3 + 0.9779 \tilde{y}_4 - 0.1498 \tilde{y}_5 - 0.0778 \tilde{y}_6$$

V_2 与 W_2 的典型相关系数是 0.8539,说明土壤理化性质第二典型变量 W_2 与土壤微生物数量第二典型变量 V_2 的相关性也很密切。在 W_2 中起主要作用的是 y_3 (土壤容重),在 V_2 中起主要作用的是 x_2 (放线菌)、 x_3 (真菌),所以土壤容重对土壤真菌和放线菌数量影响很大。

设土壤理化性质为自变量(x),土壤微生物数量为因变量(y)。 x_1 —— $D < 0.25 \text{ mm}$ 团粒

结构含量(%) , x_2 ——有机质(%) , x_3 ——容重(g cm^{-3}) , x_4 ——总孔隙率(%) , x_5 ——非毛管孔隙率(%) , x_6 ——pH 值; y_1 ——细菌($\times 10^5$ 个 $\cdot \text{g}^{-1}$) , y_2 ——放线菌($\times 10^5$ 个 $\cdot \text{g}^{-1}$) , y_3 ——真菌($\times 10^5$ 个 $\cdot \text{g}^{-1}$) , 则有方程:

$$y_1 = 227.6979 - 0.0503x_1 + 14.4303x_2 - 49.6039x_3 - 2.0185x_4 - 2.1908x_5 - 2.7437x_6$$

$$R_1 = 0.9327$$

$$y_2 = 20.9009 - 0.9228x_1 + 1.1221x_2 - 62.7785x_3 + 0.4132x_4 + 0.0087x_5 + 25.9078x_6$$

$$R_2 = 0.8778$$

$$y_3 = -1.1606 - 0.1611x_1 + 7.3360x_2 + 3.4195x_3 - 0.0259x_4 - 0.7789x_5 + 5.6578x_6$$

$$R_3 = 0.8907$$

将土壤理化性质的数据代入上述方程, 求出土壤微生物数量的理论值, 方程的误差可用实

测值 y 和理论值 \hat{y} 平均相对误差表示, 公式为: $E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i}$ 。求得细菌 y_1 、放线菌 y_2 和真菌 y_3 的平均相对误差分别为 8.80%、17.55% 和 18.18%, 在可接受的范围内, 故上述方程是可靠和有效的。

综合以上分析, 土壤微生物与土壤理化性质有着密切关系, 表明土壤理化性质对微生物数量有很大影响。

4 讨论

本次研究结果是, 在亚热带基岩海岸防护林中, 胡柚、桃形李等经济林土壤微生物数量多, 松、竹及其混交林土壤微生物少, 成熟林土壤微生物数量也不多; 而其土壤酶活性方面^[12], 马尾松和杨梅成龄林最高, 经济林土壤酶活性低。也就是说, 土壤微生物数量多者其酶活性不一定高, 其原因可能有: 一是受林分类型的影响, 如针叶林和阔叶林对土壤微生物的影响就不同^[9], 前者的死地被物多形成粗腐殖质, 呈酸性反应, 影响了微生物的发育和活动; 而阔叶林常形成细腐殖质, 呈中性或微酸性反应, 故土壤微生物较多; 二是受人为干扰的影响, 经济林因施肥促进了某些微生物的大量繁殖, 而土壤酶活性增加不多^[1, 10]; 三是林下植被的影响, 由于各种林分林下植被丰富, 影响土壤生物活性的因子极为复杂。

关于土壤微生物数量与酶活性及理化性质之间的关系, 国内外学者进行了大量研究。有人认为土壤酶活性是在人工培育条件下测定的, 只反映土壤潜在的生物活性, 难以表示自然状态下的生化过程, 因而土壤微生物数量与酶活性没有相关性^[10, 13], 另一些学者则持相反的观点^[1]。作者认为, 土壤微生物数量与酶活性有一定的相关性, 但相关关系并不十分密切。另据研究^[2, 14, 15], 土壤酶活性可以反映土壤肥力水平高低, 既然土壤微生物数量与酶活性有一定的相关性, 微生物当然也能反映土壤肥力水平; 另一方面, 土壤微生物数量与土壤理化性质密切相关^[16, 17], 本文中其第一对典型相关系数高达 0.9687, 因而土壤微生物数量可以作为评定土壤肥力的指标。但是, 对某一类微生物来说, 土壤肥力与其数量并不一定是正相关, 仅用某类微生物数量来评定土壤肥力是不全面的。

参考文献:

- [1] 孙波, 赵其国, 张桃林, 等. 土壤质量与持续环境——土壤质量评价的生物学指标[J]. 土壤, 1997, (5): 225-234
- [2] 胡海波, 康立新, 梁珍海, 等. 泥质海岸防护林土壤酶活性与理化性质关系的研究[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(5): 37-45

- [3] 许光辉,郑洪元. 土壤微生物研究方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986
- [4] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1983
- [5] 张万儒. 森林土壤分析方法[国家标准 GB7830—7892—87]. 北京:中国标准出版社,1987
- [6] 陶澎. 应用数理统计方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1994
- [7] 戴雨生,康立新,梁珍海,等. 江苏泥质海岸防护林土壤微生物数量分布及其类群的研究[A]. 见:康立新,王述礼. 沿海防护林体系功能及其效益[C]. 北京:科学技术文献出版社,1994. 171—177
- [8] 胡承彪,梁秀棠. 合浦海滨海滩森林土壤微生物区系及生化活性[J]. 热带林业科技,1987,(1):1—7
- [9] 叶镜中. 森林生态学[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992
- [10] 徐秋芳,姜培坤. 有机肥对毛竹林间及根区土壤生物化学性质的影响[J]. 浙江林学院学报,2000,17(4):364—368
- [11] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京:中国林业出版社,1984
- [12] 胡海波,张金池,陈顺伟,等. 亚热带基岩海岸防护林土壤的酶活性[J]. 南京林业大学学报,2001,25(4):21—25
- [13] Richard P.D. Defining soil quality for a sustainable environment[M]. Soil Science Society of America Inc., Madison Wisconsin, USA, 1994. 107—124
- [14] 李淑高. 褐土土壤酶活性与土壤微生物量的研究[J]. 土壤通报,1983,(1):40—41,10
- [15] 和文祥,朱铭茂. 陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析[J]. 土壤学报,1997,34(4):392—397
- [16] 李双霖. 应用聚类—主组元分析检验土壤酶活性作为土壤肥力指标的可行性[J]. 土壤通报,1990,21(6):272—274
- [17] 许景伟,王卫东,李成. 不同类型黑松混交林土壤微生物、酶及其与养分关系的研究[J]. 北京林业大学学报,2000,22(1):52—55

Study on Quantitative Distribution of Soil Microorganism and Relationship with Enzyme Activity and Physical, Chemical Property of Shelter-forest in Rocky Coastal Area

HU Hai-bo¹, ZHANG Jin-chi¹, GAO Zhi-hui², CHEN Shun-wei², ZANG Ting-liang¹

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Zhejiang Forestry Scientific Research Institute, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: The quantitative distribution of soil microorganism of different protective forest types in rocky sub-tropical coast is studied. By means of mathematical analysis, the relationship of soil microorganism with enzyme activity, physical and chemical property is discussed. The results are as follows: There is significant correlation among the three types of microorganisms. Major population is bacteria, followed by actinomycete, the least one is fungi. But the percentage of fungi is much higher than that in silting-coastal areas. The quantity of soil microorganisms in different forest types is quite different. There are more soil microorganisms in no-timber forest, whereas the number is less in mature forest of *Pinus massoniana* and *Myrica rubra*. There is a correlation between soil microorganisms and enzymes, but the coefficients are low. There is close correlation between soil microorganism and physical, chemical property. At last, some relative problems are discussed.

Key words: rocky coast; shelter-forest; soil microorganism; soil enzyme activity