

文章编号: 1001-1498(2008)04-0523-05

华南三地红树林土壤微生物及其与土壤 化学性质的相关性研究*

陆俊锟¹, 康丽华^{1**}, 陈俊², 吕成群², 黄宝灵², 江业根¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2 广西大学林学院, 广西 南宁 530004)

摘要:研究了广东深圳、福建龙海和海南海口 3 个地点红树林土壤微生物数量与土壤主要化学性质的关系, 及其解磷菌在红树植物根际的分布状况。结果表明: 3 个地点的土壤微生物数量均以细菌类群占绝对优势, 其次是放线菌和丝状真菌; 深圳红树林土壤微生物总数、细菌、放线菌和丝状真菌数量在 3 个地点中最高, 其中丝状真菌数量与其余两地差异显著 ($P < 0.05$); 微生物总数、细菌数与土壤全 N、全 P 呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 真菌数与全 P 呈显著正相关 ($P < 0.05$); 多元统计分析结果表明, 影响土壤微生物总数与细菌数量最主要的因子是全 N, 影响放线菌与真菌数量最主要的因子是全 P; 从根际不同部位筛选出 31 株解磷菌株, 细菌占多数; 三地红树林解磷菌在根际的分布均以土壤含量最多。

关键词:红树林; 土壤微生物数量; 土壤化学性质; 解磷菌

中图分类号: S796 S714

文献标识码: A

Research on Soil Microbe and the Relativity between Microbe and Soil Chemical Factor of Mangrove Forest in South China

LU Jun-kun¹, KANG Li-hua¹, CHEN Jun², LU Cheng-qun², HUANG Bao-ling², JIANG Ye-gen¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: The relation between microbial amount of mangrove soil and main soil chemical factors, and the distributing of phosphate-solubilizing microbe from mangrove rhizosphere in Shenzhen, Longhai and Haikou were studied. The results indicated that the amount of soil bacteria accounted for the majority of the total amount of soil microbes, while the amounts of soil actinomyces and filamentous fungi were in the minority. The total quantity of microbes, bacteria, actinomyces and filamentous fungi from Shenzhen mangrove soil were more than that on the other two places, while the quantity of filamentous fungi were greater than that on the other two places ($P < 0.05$). The total microbe and the quantity of bacteria showed an extremely remarkable positive correlation with soil total nitrogen and total phosphorus ($P < 0.01$), and the quantity of fungi was also remarkable positive correlated with soil total phosphorus ($P < 0.05$). The multiple regression analysis indicated that total nitrogen played an important role of the quantity of total microbe and bacteria, and the total phosphorus played an important role of the quantity of actinomyces and fungi. 31 phosphate-solubilizing microbe were selected from different part of mangrove rhizosphere, in which bacteria were in the majority. The quantity of phosphate-solubilizing microbe in soil was more than that of the other two parts of mangrove rhizosphere.

Key words: mangrove; quantity of soil microbe; soil chemical factors; phosphate-solubilizing microbe

收稿日期: 2007-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目“红树林 PGPR 与植物相互作用机理研究 (30671668) 部分研究内容

作者简介: 陆俊锟 (1983—), 男, 广东广州人, 在读硕士研究生, 主要从事森林微生物方面的研究。

* 本文土壤化学因子测定工作得到广东省生态环境与土壤研究所的指导和帮助, 特此致谢!

** 通讯作者: 康丽华, 研究员, 硕士生导师, E-mail: sbliao@pub.guangzhou.gd.cn

红树林是热带、亚热带陆地与海洋潮间带的木本植物群落,具有独特的生态地位和宝贵的生物资源。红树林微生物在凋落物和有机碎屑的分解转化中发挥着重要作用^[1],其数量不仅影响土壤的生化活性及土壤养分的组成和转化,也是土壤生物活性的具体体现。研究土壤微生物的数量是在更深层次上揭示森林生态系统能量流动和物质循环过程的重要环节^[2-3]。许多学者对各地红树林微生物的数量^[4-7]、多样性^[8-9]等进行了分析研究,但对不同区域红树林微生物数量进行比较研究的较少。此外,红树林长期生长在海水中,间隙水富含阳离子,磷酸盐通常沉淀在底泥中,导致大量的磷元素不能被红树植物利用^[10];而农学、微生物学及植物学专家对解磷菌的研究一直较重视,并进行了大量的解磷菌接种研究,提高了土壤难溶磷的有效性和磷肥的利用效率^[11-13]。同样,研究红树林解磷菌,对提高红树植物对磷元素的利用率及促进红树植物的生长都具有重要意义。本文对华南三地红树林区土壤微生物数量、土壤化学性质及解磷菌的根际分布情况进行初步研究,为进一步研究红树林生态系统的微生物特性及对解磷菌的筛选与利用提供一些基本依据。

1 试验地概况

土壤样品采于福建龙海厦门大学引种园、广东深圳福田红树林国家级自然保护区、海南海口东寨港红树林国家级自然保护区。

(1)福建龙海市浮宫镇草埔头村厦门大学引种园位于 24°29'N, 117°23'E,属南亚热带海岸气候,年均气温 21.1℃,年均降水量 1 475.2 mm,最冷月平均气温 13.0℃。

(2)广东深圳市福田红树林国家级自然保护区位于 22°32'N, 113°45'E,属南亚热带海洋性季风气候,年均气温 22.4℃,年均降水量 1 800 mm,最冷月平均气温 14.1℃。

(3)海南海口市东寨港红树林国家级自然保护区位于 19°51'N, 110°24'E,属北热带季风气候,年均气温 23.18℃,年均降水量 1 697.8 mm,最冷月平均气温 15.11℃。

2 试验方法

2.1 采样方法

土样均于 2007 年 4—5 月采集。根据常规采样

方法,在各地低潮带分别对木榄 (*Buguiera gym-norhiza* (Linn.) Lank) 林和秋茄 (*Kandelia candel* (Linn.) Druce) 林选定 3 个样点,采集 5~20 cm 的土壤层,混合均匀不同样点土样及植物幼根,装入无菌袋内,放入冰盒带回实验室,供测定研究使用。

2.2 测定方法

2.2.1 土样含水量测定 采用烘干法,称取适量待测土样,经 105℃ 烘干至恒质量,称质量,计算土壤的含水量与水分系数。

2.2.2 土壤样品微生物数量测定 培养基:细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基^[14],放线菌采用改良高氏 1 号培养基^[15],以 0.1 g·L⁻¹重铬酸钾作为细菌和霉菌的抑制剂;真菌采用马丁氏培养基^[15],以 2 mL·L⁻¹的医用氯霉素作为细菌抑制剂。分离方法:采用稀释平板法。稀释梯度:细菌 10⁻³~10⁻⁵,放线菌 10⁻²~10⁻⁴,真菌 10⁻¹~10⁻³。28~30℃ 培养,定时观察、计数 (Shinesso 全自动菌落计数仪 ASI)。

2.2.3 主要化学性质的分析 土壤 pH 值用电位法,土壤有机质用重铬酸钾容量法,土壤全 N 含量用凯式消化—扩散吸收法,土壤全 P 含量用钼锑抗比色法,土壤全 K 含量用火焰分光光度计法,土壤可溶性全盐含量用重量法。

2.2.4 解磷菌的筛选分离 采用改良 SRSM 固体培养基^[16]对红树植物土壤、红树植物根表及根内 3 个部位分别进行解磷菌的筛选。

土壤处理:取土壤于含玻璃珠和无菌水的三角瓶中,28~30℃ 摇床培养 30 min (190 r·min⁻¹);随后取样稀释涂平板,于 28~30℃ 中培养,定时观察,记录。

根表处理:抖掉附着在根表面的土壤,用无菌水冲洗 5~8 次,再把根放入装有无菌水的三角瓶中,28~30℃ 摇床培养 30 min (190 r·min⁻¹);取样稀释涂平板,于 28~30℃ 中培养,定时观察,记录。

根内处理:取上步所用的根经 0.1% 酸化升汞消毒 3 min,用无菌水冲洗 3~4 次,研磨后汁液涂平板培养,定时观察,记录。

以上所有实验均在无菌环境下操作,所用器皿都经灭菌处理。

3 结果与分析

3.1 土壤微生物的数量

3 试验点的土壤微生物数量见表 1。从表 1 看

出:在 3 大类微生物数量中,细菌类群占绝对优势,占微生物总数的 99.11% ~ 99.61%,其次是放线菌和丝状真菌,与张瑜斌等^[17]在九龙江口研究的结果基本一致。在 3 地点中,深圳福田红树林保护区的

细菌、放线菌、丝状真菌及微生物总数最多,其中丝状真菌的数量,与其余两地相比,差异显著 ($P < 0.05$);三地秋茄林的放线菌数量显著 ($P < 0.05$) 多于木榄林。

表 1 不同红树林林区土壤微生物数量

采样地点	林地类型	微生物总数 / ($\times 10^6$ cfu · g ⁻¹)	细菌 / ($\times 10^6$ cfu · g ⁻¹)	放线菌 / ($\times 10^4$ cfu · g ⁻¹)	丝状真菌 / ($\times 10^2$ cfu · g ⁻¹)
福建龙海厦门大学引种园	木榄林	3.14	3.13 (99.56)	1.38 (0.438)	1.04 (0.003)
	秋茄林	2.38	2.36 (99.29)	1.67 (0.703) *	0.61 (0.002)
广东深圳福田红树林保护区	木榄林	2.64	2.63 (99.61)	1.00 (0.380)	2.30 (0.008) *
	秋茄林	3.67	3.64 (99.11)	3.26 (0.887) *	2.71 (0.007) *
海南海口东寨港红树林保护区	木榄林	3.06	3.05 (99.58)	1.25 (0.410)	1.40 (0.004)
	秋茄林	3.11	3.09 (99.11)	2.75 (0.884) *	1.10 (0.003)

注:括号内数字为该微生物类群占微生物总数的百分比;cfu · g⁻¹为每克干土所含菌落数; *表示 $P < 0.05$ 显著差异。

3.2 土壤主要化学性质

红树林湿地土壤化学性质会影响生存其中的微生物的丰度、活性与繁殖等方面^[17],3 地点的土壤主要化学性质见表 2。从表 2 看出:3 地红树林的土壤呈偏酸性,pH 值为 5.18 ~ 6.28,厦门大学引种园的 pH 值最高,福田红树林的最低;3 地中,东寨港红树林土壤的全盐含量、有机质含量、全 N 含量及 C/N 值最高,其中 C/N 值与其余两地的差异极显著 ($P < 0.01$);厦门大学引种园的

全盐含量、有机质含量、全 N 含量及 C/N 值最低,其中全盐含量与其余两地的差异极显著 ($P < 0.01$);全 P 含量以福田红树林土壤最高,其次是东寨港红树林和厦门大学引种园;厦门大学红树林土壤的全 K 含量最高,福田红树林的次之,东寨港红树林的全 K 含量最低且与前两地的含量差异显著 ($P < 0.05$);厦门大学引种园土壤的 N/P 值最高,东寨港红树林的次之,福田红树林的最低,后者与前两者间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 土壤主要化学性质

采样地点	林地类型	pH 值	全盐 / (g · kg ⁻¹)	有机质 / (g · kg ⁻¹)	全 N / (g · kg ⁻¹)	全 P / (g · kg ⁻¹)	全 K / (g · kg ⁻¹)	N/P	C/N
福建龙海厦门大学引种园	木榄林	6.14	6.98 **	36.08	1.58	0.59	23.50	2.69	22.83
	秋茄林	6.28	6.13 **	28.65	1.38	0.53	23.50	2.60	20.76
广东深圳福田红树林保护区	木榄林	5.32	13.26	30.20	1.21	0.68	24.50	1.78 ⁺	24.96
	秋茄林	5.18	13.02	66.82	2.58	1.86	20.25	1.39 ⁺	25.89
海南海口东寨港红树林保护区	木榄林	5.67	21.18	87.30	2.33	1.04	9.50 ⁺	2.24	37.47 **
	秋茄林	5.62	16.29	67.99	1.97	0.81	12.65 ⁺	2.43	34.51 **

注: *表示 $P < 0.05$ 显著差异, **表示 $P < 0.01$ 极显著差异。

3.3 红树林微生物数量与土壤主要化学性质之间的关系

在所有的非生物因子中,土壤特征尤其是土壤营养状态是红树林生态系统最直接的影响因子^[18]。相关性分析结果(表 3)表明:红树林土壤细菌数量与全 N、全 P 呈极显著正相关;放线菌数量与全 N、全 P 呈显著正相关;真菌数量与全 P 呈显著正相关,与 pH 值和 N/P 值呈极显著负相关;微生物总数与全 N、全 P 呈极显著正相关。总体来看,红树林土壤微生物的数量与全 N、全 P 密切相关。

表 3 红树林土壤微生物数量与土壤主要化学性质的相关系数

土壤化学性质	细菌	放线菌	丝状真菌	微生物总数
pH 值	-0.53	-0.39	-0.92 **	-0.53
全盐	0.33	0.08	0.31	0.33
有机质	0.62	0.39	0.19	0.62
全 N	0.83 **	0.65 ⁺	0.37	0.83 **
全 P	0.81 **	0.70 ⁺	0.73 ⁺	0.82 **
全 K	-0.32	-0.20	0.13	-0.32
N/P	-0.48	-0.39	-0.97 **	-0.48
C/N	0.32	0.12	0.01	0.32

注: $n = 9$ (n 为相关性分析的项数), *表示 $P < 0.05$ 显著相关, **表示 $P < 0.01$ 极显著相关。

3.4 红树林土壤微生物数量与主要化学性质间的多元回归分析

为进一步探明多个土壤化学性质对红树林土壤微生物数量的综合影响,进行多元线性回归分析,分析微生物总数 (y_1)、细菌数 (y_2)、放线菌数 (y_3)、真菌数 (y_4)与土壤全 N 含量 (x_1)、全 P 含量 (x_2)、N/P 值 (x_3)、pH 值 (x_4)的相关性。

(1)红树林土壤微生物总数 (y_1)与土壤全 N 含量 (x_1)、全 P 含量 (x_2)的关系模型为:

$$y_1 = 1.91973 + 3.50489x_2 + 4.11806x_1$$

$$(r=0.859, P < 0.05) \quad (1)$$

(2)红树林土壤细菌数 (y_2)与土壤全 N 含量 (x_1)、全 P 含量 (x_2)的关系模型为:

$$y_2 = 1.90939 + 3.35317x_2 + 4.15934x_1$$

$$(r=0.854, P < 0.05) \quad (2)$$

(3)红树林土壤放线菌数 (y_3)与土壤全 N 含量 (x_1)、全 P 含量 (x_2)的关系模型为:

$$y_3 = 0.41309 + 2.94672x_1 + 10.11862x_2$$

$$(r=0.709, P > 0.05) \quad (3)$$

(4)红树林土壤真菌数 (y_4)与土壤全 N 含量 (x_1)、全 P 含量 (x_2)、N/P 值 (x_3)、pH 值 (x_4)的关系模型为:

$$y_4 = 7.23480 - 4.39617x_1 - 0.85862x_3 -$$

$$0.61596x_4 + 5.34526x_2$$

$$(r=0.978991, P < 0.01) \quad (4)$$

多元线性回归分析表明:对红树林土壤微生物总数、细菌数最主要的影响因子是全 N 含量,其次是全 P 含量,相关系数大于 0.811,且均呈显著正相关 ($P < 0.05$);对放线菌数影响较大的是土壤全 P 含量,其次是全 N 含量,且均呈正相关,但不显著 ($P > 0.05$);对真菌数影响最大的是土壤全 P 含量,其次是土壤全 N 含量,再次是 N/P 值,最小的是 pH 值。真菌数仅与全 P 含量呈正相关,其余的都为负相关,相关系数为 0.979,呈极显著相关 ($P < 0.01$)。

3.5 红树林根际解磷菌的分布状况

在 3 个地点从红树林根际共分离获得 31 株解磷菌,其中厦门大学引种园 8 株,福田红树林保护区 9 株,东寨港红树林保护区 14 株。3 地红树林解磷菌在根际各部分布数量见图 1。厦门大学引种园:根表分离得到 3 株,占 37.5%,土壤分离得到 4 株,占 50%,根内分离得到 1 株,占 12.5%;福田红树林保护区:根表分离得到 3 株,占 33.3%,土壤分离得到 4 株,占 44.4%,根内分离得到 2 株,占 22.2%;

东寨港红树林保护区:根表分离得到 2 株,占 14.3%,土壤分离得到 8 株,占 57.1%,根内分离得到 4 株,占 28.6%。结果表明:在 3 样地红树林中,土壤中分离的解磷菌数量最多,除东寨港红树林保护区外,其余两地根表分离的解磷菌数量均多于根内。

红树林根际分离获得的解磷菌,除有少量解磷真菌外,解磷细菌占绝大多数,菌落大多数呈圆形或近圆形,表面光滑,质地松软,生长较快。红树林生态系统中蕴藏着丰富的微生物资源,解磷菌的利用与开发将会为红树林的保护和发展起着重要的作用;但迄今为止,有关红树林的解磷菌与红树植物相互作用机理研究极少报道,有待于今后更深入和系统的研究。

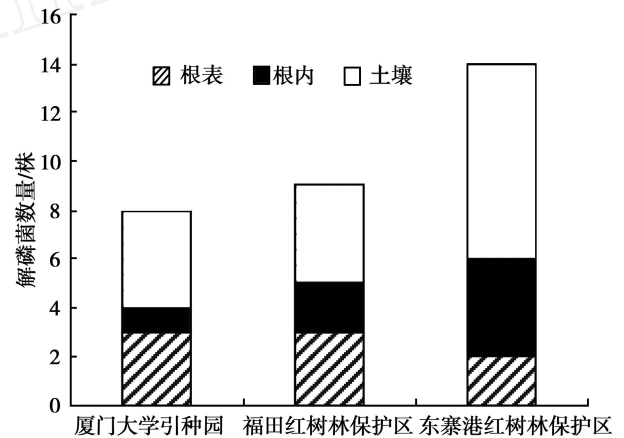


图 1 红树植物根际解磷菌在根际各部的分布

4 结论

(1)三地微生物数量均是细菌占绝对优势,其次是放线菌与丝状真菌;微生物总数以福田红树林保护区最多,其中丝状真菌数量较其余两地差异显著 ($P < 0.05$);三地秋茄林的放线菌数量显著多于木榄林 ($P < 0.05$)。

(2)不同区域的红树林土壤特征有明显变化:厦门大学引种园的土壤全盐含量与东寨港红树林、福田红树林的含量差异极显著 ($P < 0.01$);福田红树林的土壤 N/P 值与厦门大学引种园、东寨港红树林的差异显著 ($P < 0.05$);东寨港红树林的 C/N 值与其余两地的差异极显著 ($P < 0.01$),全 K 含量与其余两地的含量差异显著 ($P < 0.05$)。

(3)相关性分析表明,三大类群微生物数量与微生物总数都与土壤中的有机质、全 N、全 P 呈正相关关系;细菌数、微生物总数与全 N、全 P 呈极显著

正相关 ($P < 0.01$);放线菌数与全 N、全 P 呈显著正相关 ($P < 0.05$);真菌数与全 P 呈显著正相关 ($P < 0.05$),与 pH 值和 N/P 值呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。在所测定的土壤化学性质中,与微生物数量关系最密切的因子是全 N 和全 P。多元相关分析结果表明,红树林土壤微生物总数与细菌数量关系最密切的因子是全 N,而与放线菌和真菌数量关系最密切的因子是全 P。

(4)从各地红树林筛选出 31 株解磷菌,从表面特征看,细菌占多数,也有少量真菌;三地红树植物根际中,土壤中分离的解磷菌数量最多。

参考文献:

- [1] 林 鹏. 红树林研究论文集 (第一集) [C]. 厦门:厦门大学出版社, 1990
- [2] 赵 萌,方 晰,田大伦. 第 2 代杉木人工林地土壤微生物数量与土壤因子的关系 [J]. 林业科学, 2007, 43 (6): 7 - 12
- [3] 胡海波,张金池,高智慧,等. 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 [J]. 林业科学研究, 2001, 15 (1): 88 - 95
- [4] 张瑜斌,庄铁诚,杨志伟,等. 海南东寨港红树林土壤微生物初探 [J]. 生态学杂志, 2001, 20 (1): 63 - 64
- [5] 庄铁诚,林 鹏. 红树林凋落物自然分解过程中土壤微生物的数量动态 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1993, 32 (3): 365 - 370
- [6] 薛 立,赖日石,陈红跃,等. 深圳宝安区生态风景林典型造林地土壤养分、微生物和酶活性的研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15 (2): 242 - 246
- [7] 焦如珍,杨承栋. 不同代杉木人工林根际及非根际土壤微生物数量及种类的变化 [J]. 林业科学研究, 1999, 12 (1): 13 - 18
- [8] 王岳坤,洪 葵. 红树林土壤细菌群落 16S rDNA V3 片段 PCR 产物的 DGGE 分析 [J]. 微生物学报, 2005, 45 (2): 201 - 204
- [9] Wu R Y. Studies on the microbial ecology of Tansui Estuary [J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica, 1993, 34 (1): 13 - 30
- [10] Bashan Y, Holguin G. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation [J]. Trees, 2002, 16: 159 - 166
- [11] 陈廷伟. 微生物对不溶性无机磷化合物的分解能力及其接种效果 [J]. 微生物, 1995, 2 (5): 210 - 215
- [12] 林 凡,王正芳,宋 末,等. 联合固氮菌的应用效益与增产机理 [J]. 中国农学通报, 1998, 14 (3): 32 - 34
- [13] 尚军红,康丽华,罗玉萍,等. 相思根瘤菌和解磷菌培养基优化及解磷能力研究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18 (2): 177 - 182
- [14] 沈 萍,范秀容,李广武. 微生物学实验 (第三版) [M]. 北京:高等教育出版社, 1999: 214
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法 [M]. 北京:科学出版社, 1985
- [16] Vazquez P, Holguin G, Puente M E, et al. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semi-arid coast lagoon [J]. Biology Fertility of Soils, 1999, 8: 125 - 146
- [17] 张瑜斌,林 鹏,庄铁诚. 九龙江口红树林土壤微生物的时空分布 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46 (4): 587 - 592
- [18] Boto K G, Wellington J T. Soil Characteristics and nutrient status in a Northern Australian mangrove forest [J]. Estuaries, 1984, 7 (1): 61 - 69