

# 鹤山退化生态系统恢复过程中土壤微生物的特性

周丽霞 蚁伟民 易志刚 李志安 丁明懋

(中国科学院华南植物园, 广东广州 510650)

**摘要:** 对鹤山丘陵荒坡人工植被土壤微生物特性进行了研究, 结果表明: 鹤山人工植被中土壤微生物的数量以马占相思林较高, 为  $6.164 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ , 接近村边次生自然林( $6.323 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ ); 其次是果园和红荷木林, 分别为  $5.115 \times 10^6$  和  $4.083 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ ; 松林中微生物数量最少, 仅为  $1.424 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ 。土壤微生物的组成以细菌为主, 占微生物总数的 71.4%–87.7%, 其次是放线菌, 为总数的 9.2%–22.7%, 真菌相对较少(1.1%–9.6%)。细菌的数量与微生物总数的变化趋势相一致。人工植被中土壤微生物生物量( $\text{mg C}_{\text{mic}} (100 \text{ g})^{-1} \text{ dry soil}$ )是马占相思林(57.11) > 果园(47.79) > 红荷木林(42.55) > 松林(29.68), 与相应的土壤有机碳( $\text{g C}_{\text{org}} \text{ kg}^{-1} \text{ dry soil}$ )顺序相吻合[马占相思林(16.13) > 果园(13.40) > 红荷木林(12.59) > 松林(11.89)], 与土壤微生物数量的变化趋势亦相似。与 1988 年用同一种方法的采样分析结果相比, 人工植被中微生物的总数、细菌的数量及其占微生物总数的比率均有所提高, 意味着在植被恢复过程中土壤质地得到了改善, 其中以马占相思林的土壤恢复速率相对较快。

**关键词:** 退化生态系统恢复; 土壤微生物; 人工植被

中图分类号: Q938.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2004)03-0202-05

## Soil Microbial Characteristics in Rehabilitation Process of Degraded Ecosystems in Heshan

ZHOU Li-xia YI Wei-min YI Zhi-gang LI Zhi-an DING Ming-mao

(South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** The amount and composition of soil microbes including bacteria, fungi and actinomycetes were investigated in July 2002 in Heshan Hillyland Interdisciplinary Station where afforestation was undertaken on waste downland since 1983. Soil samples were collected at 0–15 cm depth from plots of seven sites, i.e. I, *Pinus massoniana* forest (planted in 1983); II, *Schima wallichii* forest (1987); III, Mixed forest of legumes (planted during 1983–1987); IV, *Acacia mangium* forest (1983); V, Orchard (1985); VI, Fish pond sludge (fish pond was established in 1985); and VII, Secondary forest near village. Microbial amount was highest in site VII ( $6.323 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ ), followed by IV, V, II, III, VI, and lowest in I ( $1.424 \times 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ dry soil}$ ). The number of soil microbes was in the order: bacteria > actinomycetes > fungi, which was similar to the results obtained in 1988. However, the percentage of bacteria was increased rapidly in all sites (from 32.1%–79.9% in 1988 to 71.4%–87.7% now), and the percentage of fungi and actinomycetes were decreased (from 6.8%–28.6% and 6.8%–39.3% to 1.1%–9.6% and 9.2%–22.7%, respectively). Soil microbial biomass ( $\text{mg C}_{\text{mic}} (100 \text{ g})^{-1} \text{ dry soil}$ ) in sites was in the order: IV(57.11) > V(47.79) > II(42.55) > I(29.68), which had a similar sequence for soil organic carbon in the corresponding sites. The increase of total amount of microbes, especially of the number and percentage of bacteria suggests that the soil properties under artificial forests were improved, and most obvious result was found in soil under afforestation by *Acacia mangium*.

**Key words:** Rehabilitation of degraded ecosystems; Soil microbial; Man-made forest ecosystems

收稿日期: 2003-04-04 接受日期: 2003-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(30170192)资助

自20世纪80年代在广东鹤山的退化丘陵荒坡上恢复种植各种人工植被以来,对鹤山丘陵荒坡退化生态系统的恢复进程进行了多学科的研究。在恢复植被的早期(1988年),我们曾对少数样地的土壤微生物特性进行过研究,至今十多年过去了,生态系统的各个方面都已发生了很大变化。为此,本文选择有代表性的样地,进行了土壤微生物学方面的研究,以了解退化生态系统恢复进程中土壤微生物的变化情况,从而为进一步管理并从中选择优化生态系统,以及建立新的生态系统提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样地概况

试验样地位于中国科学院鹤山丘陵综合开放试验站内,东经112°53′-112°54′,北纬22°40′-22°41′,多为海拔100 m以下的丘陵地。属南亚热带湿润季风气候,年均温21.7℃,年均降雨量1801.1 mm,年均日照1797.8 h,无霜期354 d,土壤为砂页岩发育而成的赤红壤<sup>[1]</sup>。历史上这里为森林地带,因受人为干扰影响,大面积沦为亚热带草坡。1983年起在试验站范围内陆续营造了不同类型的人工植被,并开展了相关的研究工作<sup>[2-4]</sup>。本研究于2002年7月进行,试验样地如下:

I 马尾松林(*Pinus massoniana* forest), 1983年种植;

II 红荷木林(*Schima wallichii* forest), 1987年种植;

III 豆科植物混交林(Mixed forest of legumes), 1983-1987年种植;

IV 马占相思林(*Acacia mangium* forest), 1983年种植;

V 果园(Orchard), 1985年种植;

VI 鱼塘泥(Fish pond sludge), 鱼塘1985年筑起;

VII 龙口村边次生自然林(Secondary forest), 受人畜干扰,林下地被物保持不完整。

### 1.2 实验方法

在上述样地随机选取7-10个样点,采取深度为0-15 cm的土样。以混和样采用稀释平板法进行土壤微生物数量与组成的分析<sup>[5,6]</sup>,并镜检鉴定土壤中主要的真菌与放线菌类群<sup>[7-9]</sup>; I、II、IV、V 4个样地以分点土样采用氯仿熏蒸法进行土壤微生物生物量的测定<sup>[10]</sup>,碳的矿化率取0.41<sup>[10,11]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 微生物数量与组成

7个样地的土壤微生物数量与组成有较明显差异(表1)。村边次生自然林与马占相思林的微生物数量相对较高,分别为 $6.323 \times 10^6$ 和 $6.164 \times 10^6$  g<sup>-1</sup> dry soil,而且细菌的数量也较多,分别占微生物总数的89.3%与87.7%。村边残存的次生自然林,被认为是较成熟的森林,其生态系统比年轻的人工林生态系统要平衡和稳定。马占相思林的微生物总数及细菌所占的比率仅次于村边次生自然林,但高于其他人工林,表明马占相思人工林生态系统的恢复速率高于其它人工林生态系统,这可能与马占相思固氮量较高<sup>[12,13]</sup>且持续时间长<sup>[14]</sup>,促进了植物的生长及其凋落物归还土壤的氮较多有关<sup>[15]</sup>。

果园中微生物的数量较多,可能是果园经常施肥的缘故。且果园中放线菌的数量与比率也是几个样地中最高的,其结果与陈泰雄等<sup>[2]</sup>的研究基本一

表1 鹤山不同样地土壤微生物的数量与组成

Table 1 Amount and composition of soil microbes in different plots in Heshan ( $\times 10^6$  g<sup>-1</sup> dry soil)

样地 Plots*	总数 Total no.	细菌 Bacteria		真菌 Fungi		放线菌 Actinomycetes	
		数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%
I	1.424	1.017	71.4	0.136	9.6	0.271	19.0
II	4.083	3.576	87.6	0.044	1.1	0.463	11.3
III	3.721	3.180	85.5	0.087	2.3	0.454	12.2
IV	6.164	5.405	87.7	0.190	3.1	0.569	9.2
V	5.115	3.720	72.7	0.232	4.5	1.160	22.7
VI	3.700	2.850	77.0	0.250	6.8	0.600	16.2
VII	6.323	5.645	89.3	0.565	8.9	0.113	1.8

I: 马尾松林 *Pinus massoniana* forest; II: 红荷木林 *Schima wallichii* forest; III: 豆科植物混交林 Mixed forest of legumes; IV: 马占相思林 *Acacia mangium* forest; V: 果园 Orchard; VI: 鱼塘泥 Fish pond sludge; VII: 次生自然林 Secondary forest

致,说明果园中的土壤较干旱,且难分解的有机物质比其它植被下多<sup>[16]</sup>。松林中微生物总数与细菌数量是几个样地中相对最低的,真菌和放线菌的比率相对较高,这可能缘于该植被林下凋落物中存在着较多不易分解的针叶<sup>[16,17]</sup>。

虽然土壤中微生物的数量与组成随土壤类型

与季节不同变化较大,但与用同一方法于 1988 年同期分析的结果<sup>[2]</sup>相比,可以看出微生物数量的增加,而细菌比率上升、真菌和放线菌比率下降是近 10 年来微生物区系变化的趋势(图 1)。这一变化趋势与土壤质地的改善密切相关,反映了退化的土地正处于恢复过程之中<sup>[18-20]</sup>。

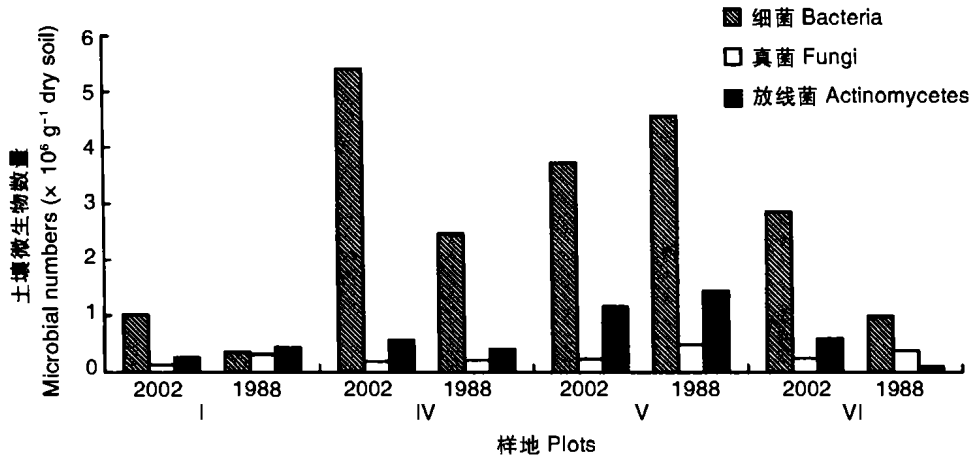


图 1 鹤山不同样地土壤微生物数量与组成的变化

Fig. 1 Changes in amount and composition of soil microbes in different plots in Heshan

样地 I、IV、V 和 VI 见表 1。For plots I, IV, V and VI see Table 1.

### 2.2 真菌与放线菌的种类与分布

真菌与放线菌都是参与土壤有机物质分解过程的主要成员,是土壤微生物的重要类群。本研究根据镜检鉴定初步确定了 7 个属的真菌<sup>[7,8]</sup>, 10 个类群的放线菌<sup>[9]</sup>, 它们在 7 个样地中的分布见表 2、表 3。

土壤真菌在鹤山各植被中以青霉属(*Penicillium*)分布较普遍,各样地中均有;其次是根霉属(*Rhizopus*)和丛梗孢属(*Monilia*),在多数样地中有分布;分布较少的是弯孢霉属(*Curvularia*)和头孢霉属(*Cephalosporium*),弯孢霉属仅在松林中有分布,头孢霉属分布在果园与村边次生自然林中。真菌类群

以豆科植物混交林和果园中相对较多,松林中相对较少。

土壤放线菌在鹤山各植被中以淡灰紫类群分布最广,其次是黄色类群、白色类群和金色类群;粉红孢类群、烬灰类群与灰红紫类群、青色类群只在果园或塘泥中有分布。放线菌数量与比率是果园中最高,类群分布也是果园中最多;村边次生自然林与塘泥中也分布有相对较多的放线菌类群,红荷木林中放线菌类群分布最少。

### 2.3 土壤微生物生物量

土壤微生物生物量是土壤营养库的一个重要

表 2 鹤山不同样地土壤真菌的分布

Table 2 The distribution of soil fungi in different plots in Heshan

样地 Plots	青霉属 <i>Penicillium</i>	根霉属 <i>Rhizopus</i>	弯孢霉属 <i>Curvularia</i>	丛梗孢属 <i>Monilia</i>	头孢霉属 <i>Cephalosporium</i>	链霉孢属 <i>Dendryphon</i>	明枝霉属 <i>Hyalodendron</i>
I	+		+	+			
II	+	+				+	
III	+	+		+		+	+
IV	+	+		+		+	
V	+	+		+	+	+	
VI	+	+		+			+
VII	+	+			+		+

+ 表示有分布 Found in plot. Plots I to VII are as in Table 1.

表 3 鹤山不同样地土壤放线菌的分布  
Table 3 The distribution of soil actinomycetes in different plots in Heshan

样地 Plots	淡灰紫类群 Lavendulae	白色类群 Albosporeus	金色类群 Aureus	黄色类群 Flavus	小单孢类群 Micro- monospora	灰红紫类群 Griseoru- broviolaceus	青色类群 Glaucus	灰褐色类群 Griseofuscus	粉红孢类群 Roseosporus	灰灰类群 Cinero-griseus
I	+	+		+						
II	+			+						
III	+	+		+						
IV	+	+	+	+						
V	+	+	+	+				+	+	+
VI	+		+		+	+	+	+		
VII	+	+	+	+	+			+		

+ 表示有分布 Found in plot. Plots I to VII are as in Table 1.

组成部分, 在森林生态系统物质循环和能量流动过程中起着重要作用。本研究对鹤山马占相思林、红荷木林、果园和松林几个人工植被中的土壤微生物生物量进行了分析测定, 并与被认为是成熟的顶极群落的鼎湖山自然林土壤微生物生物量进行了比较, 结果见表 4。

由表 4 可见, 鹤山人工植被土壤微生物生物量为 29.68–57.11 mg C<sub>mic</sub> (100 g)<sup>-1</sup> dry soil, 其数值比 Jenkinson 对温带森林土壤的测定结果要小<sup>[10]</sup>, 但大于在电白小良的测定结果<sup>[21]</sup>, 这表明鹤山各人工植被的土壤碳含量不如温带森林土壤高, 但高于电白小良。鹤山人工植被土壤微生物生物量依次是马占相思林 > 果园 > 红荷木林 > 松林, 土壤有机碳的大小排列顺序与之相吻合, 说明土壤微生物生物量与土壤有机碳之间关系密切, 在通常情况下, 土壤碳

含量高, 土壤微生物生物量相应的也高<sup>[10, 21–23]</sup>。

土壤微生物量碳(C<sub>mic</sub>)与土壤有机碳(C<sub>org</sub>)的比值(C<sub>mic</sub>: C<sub>org</sub>)是衡量林地土壤有机碳积累或缺失的一个重要指标<sup>[21, 22]</sup>。据报道鼎湖山 400 a 生自然林的 C<sub>mic</sub>: C<sub>org</sub> 是 0.019 5<sup>[24]</sup>, 鹤山 4 个人工植被中的 C<sub>mic</sub>: C<sub>org</sub> 为 0.025–0.035 7, 比鼎湖山自然林的高。鼎湖山自然林被认为是成熟的顶极群落, 可以认为其碳循环已基本达到了平衡状态, 故在同一地带土壤微生物碳与土壤有机碳之比(C<sub>mic</sub>: C<sub>org</sub>)高于上述自然林的, 被认为是碳的积累阶段, 反之则是碳的流失阶段。由此可见鹤山人工植被下的土壤正处于碳素的积累过程之中, 也就是说作为土壤最重要组分的土壤有机质, 在各人工林生态系统中也正以不同的速率在恢复。

表 4 鹤山不同人工植被和鼎湖山自然林土壤微生物碳与土壤有机碳的比值  
Table 4 The ratio of microbial carbon (C<sub>mic</sub>) to organic carbon (C<sub>org</sub>) in soil in Heshan and in Dinghushan

样地 Plots	林龄 Forest age (a)	土壤有机碳 Organic C (g C <sub>org</sub> kg <sup>-1</sup> dry soil)	土壤微生物碳 Microbe C (mg C <sub>mic</sub> (100 g) <sup>-1</sup> dry soil)	C <sub>mic</sub> : C <sub>org</sub>
I	19	11.89	29.68	0.0250
II	15	12.59	42.55	0.0338
IV	19	16.13	57.11	0.0354
V	17	13.40	47.79	0.0357
DHS*	400	31.80	62.00	0.0195

Plots I, II, IV, V are as in Table 1. DHS\* = 鼎湖山 400 a 自然林(资料来源邓邦权等<sup>[24]</sup>)  
400-years-old natural forest in Dinghushan (Cited from Deng B Q, et al., 1986<sup>[24]</sup>)

### 3 结语

已有研究报道表明, 土壤微生物数量与土壤微生物生物量有一定的相关性<sup>[4, 25]</sup>, 本研究也得到了类似的结果, 土壤微生物数量和土壤微生物生物量均是马占相思林 > 果园 > 红荷木林 > 松林。无论是土壤微生物数量还是细菌占微生物总数的比率各人

工植被均比植被恢复早期<sup>[2]</sup>有较大提高, 这与土壤质地的改善有关<sup>[18–20]</sup>。本研究的结果表明, 鹤山各人工植被下的土壤都以不同的速率处于恢复进程之中, 其中以马占相思林土壤的恢复效应更明显。

### 参考文献

[1] Yu Z Y(余作岳). Recovery of vegetation on southern subtropical

- degraded downlands in Guangdong and establishment of model of eco-agriculture [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, Vol. 7 [C]. Beijing: Science Press, 1990. 1-9. (in Chinese)
- [2] Chen T X(陈泰雄), Ding M M(丁明懋), Yi W M(蚁伟民), et al. Characteristics of soil microbiology under different vegetations in Heshan downland interdisciplinary experimental station [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, Vol. 7 [C]. Beijing: Science Press, 1990. 35-40. (in Chinese)
- [3] Yi W M(蚁伟民), Fu S L(傅声雷), Zhou C Y(周存宇), et al. A study on soil microbial biomass in artificial and natural forests [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1995, 15(Supp. A):141-147. (in Chinese)
- [4] Fu S L(傅声雷), Yi W M(蚁伟民), Ding M M(丁明懋), et al. Nutrient dynamics of soil microbes for the ecosystems of forest, orchard, grassland and fish ponds [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1995, 15(Supp. A):148-157. (in Chinese)
- [5] Xu G H(许光辉), Zheng H Y(郑洪元). Manual of Soil Microbiological Methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986. 91-102. (in Chinese)
- [6] Laboratory of Microbiology of Nanjing Institute of Soil Science, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院南京土壤研究所微生物室). Research Methods in Soil Microbe [M]. Beijing: Science Press, 1985. 54-83. (in Chinese)
- [7] Wei J C(魏景超). Manual to the Identification of Fungi [M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Press, 1979. 58-66, 487-642. (in Chinese)
- [8] Barnett H L, Hunter B B. Illustrated Genera of Imperfect Fungi [M]. Minnesota: Burgess Publishing Company, USA, 1972. 54-167.
- [9] Ruan J S(阮继生). Basal Classification for Actinomycetes [M]. Beijing: Science Press, 1977. 18-109. (in Chinese)
- [10] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil — V. A method for measuring soil biomass [J]. Soil Biol Biochem, 1976, 8:209-213.
- [11] Anderson J P E, Domsch K H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soil [J]. Soil Biol Biochem, 1978, 10: 207-213.
- [12] Ding M M(丁明懋), Yi W M(蚁伟民), Liao L Y(廖兰玉). The quantities of nitrogen fixation by *Acacia auriculaeformis* and *Acacia mangium* [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1991, 11(3):289-290. (in Chinese)
- [13] Ding M M, Yi W M, Liao L Y. Effects on nodulation and nitrogen fixation of *Acacia mangium* by fertilization [J]. Nitrogen Fix Tree Res Rep (NFTRR), 1989, 7:55-56.
- [14] Ding M M(丁明懋), Yi W M(蚁伟民), Liao L Y(廖兰玉), et al. Effect of ecological conditions on nodulation nitrogen fixation of *Acacia mangium* [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报), 1994, 2(2):15-21. (in Chinese)
- [15] Ding M M(丁明懋), Peng S L(彭少麟), Yu Z Y(余作岳), et al. Nutrient cycling in a complex ecosystem of forest, orchard grassland and fish pond in Heshan, Guangdong [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1995, 15 (Supp. A):82-92. (in Chinese)
- [16] Xu G H(许光辉), Zheng H Y(郑洪元), Zhang D H(张德辉), et al. Study on ecological distribution and biochemical properties of forest soil microorganisms on the northern slope of the Changbai-shan Mountain Natural Reserve [J]. Acta Ecol Sin (生态学报), 1984, 4(3):207-223. (in Chinese)
- [17] Zhang P(张萍), Guo H J(郭辉军), Yang S X(杨世雄), et al. Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms in Gaoligong mountains [J]. Chin J Appl Ecol (应用生态学报), 1999, 10(1):74-78. (in Chinese)
- [18] Cao Z B(曹正邦), Fan Q S(樊庆笙). Preliminary studies on the effect of fertilization for the properties of microorganisms in red soil areas [J]. Acta Pedol Sin (土壤学报), 1957, 5 (3): 206-214. (in Chinese)
- [19] Yi W M(蚁伟民), Ding M M(丁明懋), Liao L Y(廖兰玉), et al. The research of soil microbial characteristics in the Dinghushan Biosphere Reserve and Dianbai artificial vegetaion station [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, Vol. 2 [C]. Guangzhou: Popular Science Press Guangzhou Branch, 1984. 59-68. (in Chinese)
- [20] Qian Z S(钱泽澍), He F H(何福恒), Feng X S(冯孝善), et al. The microbiological analysis of the hilly red soil [J]. Acta Pedol Sin(土壤学报), 1964, 12(4):390-400. (in Chinese)
- [21] Ding M M, Yi W M, Liao L Y, et al. Effects of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China [J]. Soil Biol Biochem, 1992, 24 (9):865-872.
- [22] Insam H, Domsch K H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites [J]. Microb Ecol, 1988, 15:177-188.
- [23] Singh J S, Reghbanshi A S, Singh R S, et al. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna [J]. Nature, 1989, 338:499-500.
- [24] Deng B Q(邓邦权), Lü L C(吕禄成). Study of microbes and biochemical activity of different forest soils in Dinghushan Biosphere Reserve. I. Microbial activity and biomass in relation to mineralization of carbonaceous matter of different forest soils [A]. In: Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, Vol. 4 [C]. Haikou: Hainan People's Press, 1986. 53-63. (in Chinese)
- [25] Sun B(孙波), Zhang T L(张桃林), Zhao Q G(赵其国). Fertility evolution of red soil derived from quaternary red clay in low-hilly region in middle subtropics: II. Evolution of soil chemical and biological fertilities [J]. Acta Pedol Sin(土壤学报), 1999, 36(2): 203-217. (in Chinese)