

南亚热带赤红壤地区不同人工林下的土壤微生物特性

潘超美 杨 风 蓝佩玲 李幼菊

(广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650)

摘要 对南亚热带赤红壤地区、广州市花县不同薪材用材林型下土壤微生物特性研究表明, 不同林型下的年均土壤微生物(主要是细菌、真菌和放线菌)总量由高到低依次为: 混交林 > 豆科纯林 > 纯桉树林 > 裸露生荒地。大叶相思与桉树混交林地土壤具有较高的纤维素酶和转化酶活性, 而豆科纯林土壤中则有较高的脲酶、蛋白酶和触酶活性。土壤的呼吸作用强度以马占相思纯林及其混交林为高, 纯桉树林较低。经过五年垦荒造林后, 土壤中的微生态环境有很大改善, 这种变化由地下微生物特性和地面上林木的生物量充分反映出来, 而未开垦生荒地土壤微生物数量和生物化学活性则仍处于低水平的衰退状态。

关键词 土壤微生物; 土壤酶; 生物化学活性; 桉树林; 相思树林

分类号 S154.3

CHARACTERISTICS OF SOIL MICROBES IN SOUTH SUBTROPICAL LATERITIC RED EARTH UNDER ARTIFICIAL FORESTS

Pan Chaomei Yang Feng Lan Peiling Li Youju

(Guangdong Institute of Ecological Environment and Soil Science, Guangzhou 510650)

Abstract Soil microorganisms, mainly bacteria, fungi and actinomycetes, under *Eucalyptus* forest, *Acacia* forest and mixed forests were investigated during 1992 to 1993 in Huaxian county near Guangzhou. Soil enzyme activities, including cellulase, invertase, urease, proteinase and phosphate activities under different forest types were analysed. It was shown that mean annual amounts of soil microbes under forests are in order mixed forest > pure *Acacia* forest > pure *Eucalyptus* forest > barren and waste land. High activities of cellulase and invertase were found in mixed forest of *Acacia* and *Eucalyptus*, while urease, proteinase and catalase in pure *Acacia* forest. Soil respiration intensity was high in *Acacia mangium* forest and in its mixed forest, and was low in *Eucalyptus* forest. Five years after forestation with tree species mentioned above on barren and waste land, the soil microenvironment was shown to be greatly improved, which resulted in the increments of soil microbes under ground and of biomasses above ground.

Key words Soil microbe; Soil enzyme; Biochemical activity; *Eucalyptus* forest; *Acacia* forest

广东省花都市地处广州市郊, 东经 $112^{\circ}10'$, 北纬 $23^{\circ}30'$, 气候温和, 雨量充沛, 属亚热带气候。由于人为的经营管理不善, 原有的林地部分因连续多代的纯桉树林的营造而引起土壤理化性质退化, 土壤养分枯竭, 生态环境恶化, 经济效益低等问题。因此, 利用豆科乔木树种造林或以豆科树种与桉树混交造林, 对荒山丘地进行改良, 从而提高地力水平, 维护生态环境是一项综合保护和开发华南丘陵台地资源的有效措施。本文就我们于 1992 年至 1993 年为期两年对广州地区花县梯面镇民安村的桉树林、大叶相思林、马占相思林、桉树与大叶相思混交林、桉树与马占相思混交林地的土壤微生物区系及其生物化学过程作了初步研究, 探讨不同林地下土壤微生物变化的规律, 为合理开发利用广东省丘陵台地资源, 营造速生的薪材用材林, 建立良好的生态环境, 提供微生物学方面的依据。

1 材料与方方法

样地概况及处理 样地位于广州市郊花县(现为花都市)梯面镇的百步山下, 为 15 度左右的缓坡台地。土壤为花岗岩母质发育而成的赤红壤, 土层较薄, 含砂粒较多, 土壤较瘦瘠, 有机质含量较低(表 1)。样地分为纯桉树林 (*Eucalyptus* sp. ABL No. 12, 刚果 12 号桉) A, 大叶相思林 (*Acacia auriculaeformis*) B, 马占相思林 (*Acacia mangium*) C, 桉树与大叶相思混交林 (1:1) A+B, 桉树与马占相思混交林 (1:1) A+C 等五个处理, 用裸露生荒地 D 作对照。林木均为五年树龄。每个处理三个重复, 即按不同的坡向分为三个小区: 山顶 A_1 、山腰 A_2 、山脚 A_3 , 如此类推, 共 15 个小区, 一个对照区。小区内株距为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 。

表 1 不同林型下土壤的肥力状况 *

Table 1 Soil fertilities under forests of different types

林型 Forest types	pH	有机质 (%) Organic matter	全氮 (%) Total N	速效钾 (mg kg^{-1}) Rapidly available K	速效磷 (mg kg^{-1}) Rapidly available P
桉树林 (A) <i>Eucalyptus</i> sp. ABL No. 12 (A)	4.28	1.00	0.043	12.9	0.60
大叶相思林 (B) <i>Acacia auriculaeformis</i> (B)	4.30	1.15	0.059	17.19	1.00
马占相思林 <i>A. mangium</i> (C)	4.30	1.04	0.050	19.6	0.90
A+B	4.28	1.07	0.043	12.7	0.90
A+C	4.15	1.07	0.049	14.7	0.93
荒地 (D) Barren and waste land (D)	4.30	0.51	0.028	6.3	0.50

*1992 年春季采样分析

采样与分析 采样时间在 1992 年至 1993 年, 于 1 月、4 月、7 月和 10 月四个不同的季节, 在上述不同林型下, 每个小区随机选 8-12 个点, 在每四棵树之间取 0-20 cm 的表土, 每个点取土约 0.5 kg, 集中混匀, 去掉枯枝落叶和粗砂后用 20 目筛子过筛, 置冰箱中 4°C 下保存待用。土壤理化性质和养分含量的测定按文献[1]的方法。微生物类群的分析主要是测定细菌、真菌、放线菌等的数量与组成, 测定方法均按照有关的常规方法^[2-6]。脲酶用扩散法, 蛋白酶用茆三酮比色法, 转化酶和纤维素酶用 3,5 二硝基水杨酸比色法, 过氧化氢酶活性用 KMnO_4 滴定

法, 磷酸酶用酚二磺酸比色法^[7,8]。生物活性强度, 包括呼吸作用强度、氨化作用强度、硝化作用强度和纤维素分解强度, 均按常规的分析方法^[7,9], 其中呼吸作用强度采用实验室内添加葡萄糖而测得潜在的土壤呼吸作用强度。

2 结果与分析

2.1 不同林型下土壤微生物数量的变化

表1和表2的结果表明微生物代谢活动明显地受到植被、肥力、水分以及温度等环境因素的影响, 这些环境因素同时影响着微生物种群的质和量的组成。对于三大类菌组成, 本文作者曾介绍^[12], 此处不再详述。从三大类菌所占的比例来看, 细菌占微生物总数的80-95%, 真菌为1-3%, 放线菌为5-8%; 而生荒地中细菌、真菌和放线菌的比例则分别为66-92%、0.18-1.91%和7.52-31.2%。由此可见, 造林后, 三大类菌之间的比例发生了很大的改

表2 不同林型下三大类土壤微生物的数量及其比例

Table 2 Amount of soil microorganisms under forests of different types (10^6 g⁻¹ dry soil)

采样月份 Sampling month	林地编号 Plot	微生物总数 Microbial amount (10^6 g ⁻¹ dry soil)	细菌 Bacteria		真菌 Fungi		放线菌 Actinomycetes	
			数量 Number	%	数量 Number	%	数量 Number	%
4月 April	A	77.5	65.6	84.6	2.72	3.51	9.20	11.9
	B	115.0	104.0	90.5	2.16	1.88	8.82	7.67
	C	106.0	95.0	89.8	2.57	2.34	8.26	7.80
	A+B	83.1	75.7	91.1	1.64	1.97	5.74	6.91
	A+C	106.0	95.7	90.3	2.49	2.35	8.25	7.78
	D	28.7	19.2	66.9	0.55	1.91	8.95	31.2
7月 July	A	54.0	47.6	88.1	0.77	1.43	5.62	10.4
	B	60.6	51.5	85.0	2.43	4.01	6.65	11.0
	C	41.4	32.5	78.5	1.96	4.73	6.94	16.8
	A+B	48.9	39.6	80.9	1.74	3.56	7.62	15.6
	A+C	57.2	47.5	83.0	2.54	4.44	7.66	13.4
	D	53.6	49.4	92.1	0.20	0.37	4.03	7.52
10月 October	A	149.0	124.0	83.3	1.71	1.15	23.3	15.6
	B	112.0	89.2	79.4	5.05	4.50	18.0	16.1
	C	162.0	136.0	84.0	6.07	3.75	19.9	12.3
	A+B	112.0	87.3	78.1	4.77	4.27	19.7	17.6
	A+C	123.0	96.0	78.0	5.27	4.28	21.5	17.5
	D	27.4	23.0	83.9	0.06	0.22	4.30	15.7
1月 Jan.	A	68.6	62.3	90.9	1.09	1.58	5.19	7.56
	B	101.0	92.0	92.0	1.72	1.71	6.37	6.34
	C	104.0	97.3	94.1	1.92	1.86	4.24	4.10
	A+B	137.0	129.0	94.1	2.07	1.51	5.60	4.08
	A+C	170.0	161.0	94.8	2.48	1.46	6.59	3.88
	D	27.1	24.7	91.1	0.05	0.18	2.37	8.47

A—桉树林; B—大叶相思林; C—马占相思林; D—生荒地。表3-5和图1同。

A, *Eucalyptus* forest; B, *Acacia auriculaeformis* forest; C, *Acacia mangium* forest; D, Barren and waste land. Same for tables 3 to 5 and figure 1.

变, 尤其是真菌, 比生荒地提高了一倍; 而放线菌则对不良环境有较强的适应能力。三大类菌的总数呈季节性变化, 三个纯林的微生物总数在一年四季的变化依次为秋 > 冬 > 春 > 夏。由于广州地区的冬季不明显, 因而冬季的菌数接近于春季的水平。而混交林的高峰值则在冬季, 并远远高于三个纯林。夏季的菌数最少, 这可能由于夏季高温多雨, 植物生长迅速, 此时土壤养分消耗量大, 加上淋溶冲失, 适合微生物利用的营养物质相对减少, 抑制了土壤微生物的生长; 而生荒地地表由于极少枯枝落叶, 有机残体积累较少, 微生物数量一直处于较低的水平。可见以豆科固氮树种或与之混交种植造林, 能够很好地改善林地的生态环境, 促进土壤微生物的生长和活动。

2.2 不同林型下土壤生物化学强度的变化

2.2.1 土壤酶活性的变化

土壤酶在有机残体分解和某些无机化合物转化的初始阶段中起着不可忽视的作用。不同土壤酶活性的差异, 反映了各种植被土壤的水热条件以及有机残体的转化状况。表3结果表明了不同林型下六种土壤酶活性的差异。从五个不同林型酶活性总体水平的变化来看, 造林后, 林地的土壤酶活性普遍比对照生荒地提高1.5-10倍不等。纤维素酶和转化酶活性强度在林地土壤中由高到低依次为A+B>B>A+C>C>A>D, 这很可能是桉树与豆科树种混交种植后, 有利于碳的代谢; 而脲酶、蛋白酶和触酶则以豆科乔木纯林的酶活性相对比混交林的高; 磷酸酶活性除桉树林外, 混交林与纯林间的差异不大。大叶相思和马占相思都是耐酸、耐贫瘠的速生固氮树种, 随着树龄的增长, 枯枝落叶量增大, 故在这两种林型或与之混交的林地死被物相对较多, 微生物种群生长活跃, 酶促底物浓度相对较高, 因而在这些林型下表现出较高的土壤酶活性。从表2中也可以看出, 豆科纯林林地土壤的微生物总数较高。但从土壤资源和空间层次的利用考虑, 薪材用材林的开发还是以混交种植为佳。

表3 不同林型下的土壤酶活性*
Table 3 Soil enzyme activities under forests of different types

林型 Forests	纤维素酶 Cellulase	转化酶 Invertase	脲酶 Urease	蛋白酶 Proteinase	触酶 Catalase	磷酸酶 Phosphatase
A	12.74	1101.8	128.4	40.00	6.19	0.564
B	13.62	1529.5	247.0	92.31	7.34	0.826
C	12.66	1429.0	175.9	75.38	7.10	0.719
A+B	17.31	1700.0	175.5	75.08	5.83	0.705
A+C	13.49	1481.0	169.4	65.24	6.54	0.806
D	1.70	248.0	44.8	22.86	1.95	0.242

*1. 表中的数据是在1992年和1993年间8次采样和分析结果的平均值

Data are means of 8 sampling materials collected in 1992 and 1993.

2. 酶活性单位: 纤维素酶、转化酶: mg 葡萄糖 kg^{-1} 干土 d^{-1} ; 脲酶: mg $\text{NH}_3\text{-N}$ kg^{-1} 干土 d^{-1} ;
蛋白酶: mg $\text{NH}_2\text{-N}$ kg^{-1} 干土 d^{-1} ; 触酶: ml 0.100 mol/L KMnO_4 g^{-1} 干土 h^{-1} ;
磷酸酶: mg 酚 kg^{-1} 干土 d^{-1}

Unit of enzyme activities: Cellulase, invertase — mg glucose kg^{-1} dry soil d^{-1} ;

Urease — mg $\text{NH}_3\text{-N}$ kg^{-1} dry soil d^{-1} ; Proteinase — mg $\text{NH}_2\text{-N}$ kg^{-1} dry soil d^{-1} ;

Catalase — ml 0.100 mol/L KMnO_4 g^{-1} dry soil h^{-1} ; Phosphatase — mg phenol kg^{-1} dry soil d^{-1} .

2.2.2 土壤呼吸作用强度的变化

土壤微生物的呼吸总活性取决于土壤中能量物质的存在,在一定程度上反映了土壤整体的代谢水平。土壤的水热条件养分状况以及植被对土壤的呼吸作用影响很大。从图1可以看出,五个不同林型土壤的呼吸作用强度变化趋势基本一致,都在7月表现出较高的呼吸作用。在广州地区,7月温度和湿度都较适宜微生物细胞的代谢活动,土壤总呼吸强度的变化在一定程度上反映了有机残体分解的进程,同时也反映了不同林型下土壤微生物对有机残体分解强度的差异。从五个不同林型土壤的呼吸强度比较来看,以马占相思和大叶相思林地土壤为高,混交林地也表现出较高的呼吸活性。这反映出该林型下土壤具有较强降解有机残体的能力。

2.2.3 氨化作用、硝化作用以及解纤作用强度的变化

氨化作用主要是一些异养型

微生物体群共同作用的结果,但在环境条件相同时,氨化作用的强弱与有机质的含量和组成有密切关系^[2]。从表4可见,豆科乔木纯林以及混交林土壤的氮素转化作用强度差异不大,总体来看,大叶相思林地及其混交林地稍偏高,这说明该林地土壤的供肥能力及氮素养分都较之其它林型高。从全年动态的变化来看,7月和10月的氨化作用活性较强。

硝化作用受到土壤中氢离子浓度的影响很大,在酸性的森林土壤中,硝化作用通常很微弱。有关研究表明,当 $\text{pH} < 5$ 时,硝化作用速度明显下降^[10]。经两年的观测,我们发现五个林型土壤都极少硝化细菌,作用也十分微弱,而且变化不大明显。这很可能是由于样地 pH 太低的原因,而硝化细菌则喜欢在中性至微碱性环境中生长。应该指出的是,在一年的四个季节中,硝酸盐达到最大的时间并不一定与主要微生物的最强活动时间相一致,因为植物根系的吸收和淋溶都有可能降低硝酸盐的水平。

用纯棉布埋置比较法测得不同林型土壤纤维素分解强度的变化。除马占相思外,混交林地的纤维素分解强度高于非混交林地,豆科树种林地高于非豆科树种林地(表4)。这与我们同期

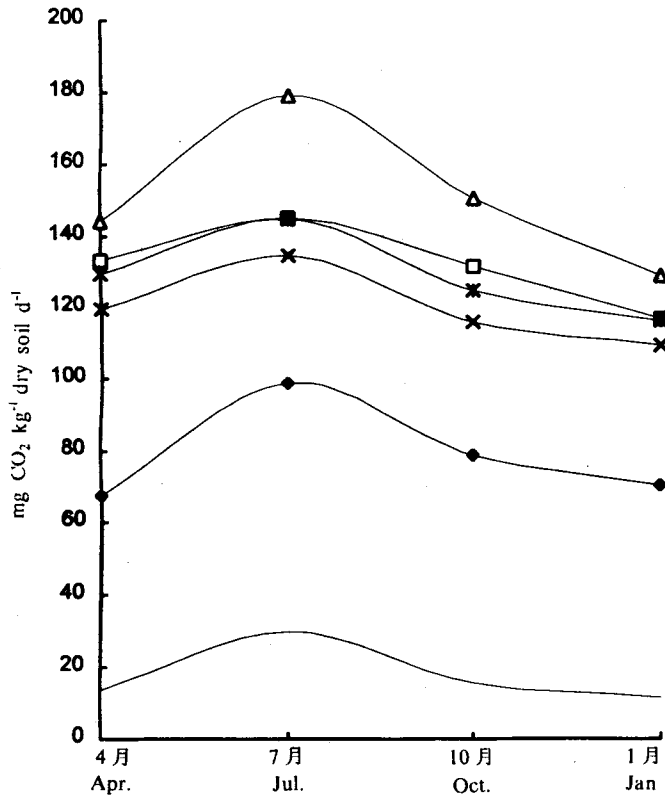


图1 不同林型下土壤呼吸活性的变化
Fig. 1 Changes in soil respiration activities under forests of different types

For A, B, C and D see tab. 2
—●— A; —□— B; —△— C; —×— A+B;
—*— A+C; — D

检测到的纤维素分解菌数和纤维素酶活性的变化规律基本是一致的^[12]。在一年中纤维素分解强度的变化以4、7月为高,10月、1月较弱。

表4 不同林型下土壤的氨化作用、硝化作用以及纤维分解作用强度的变化

Table 4 Changes in intensities of soil ammonification, nitrification and cellulose-decomposition under forests of different types

采样月份 Sampling month	采样地 Sampling site	氨化作用 Ammonification (mg NH ₃ -N kg ⁻¹ dry soil d ⁻¹)	硝化作用 Nitrification (mg NO ₃ -N kg ⁻¹ dry soil d ⁻¹)	纤维分解作用 Cellulose-decomposition*
4月 April	A	5.899	0.0203	8.99
	B	5.980	0.0224	7.37
	C	7.267	0.0117	19.9
	A+B	7.655	0.0176	15.5
	A+C	7.155	0.0171	19.8
	D	6.715	0.0331	6.23
7月 July	A	8.33	0.0261	13.1
	B	9.936	0.0539	8.66
	C	9.887	0.0274	12.9
	A+B	9.95	0.0496	15.1
	A+C	10.29	0.0277	17.7
	D	7.114	0.0411	5.29
10月 October	A	11.72	0.0437	9.02
	B	13.32	0.0444	2.43
	C	12.59	0.0202	13.5
	A+B	13.68	0.0573	4.00
	A+C	11.83	0.0228	8.40
	D	10.94	0.0900	0
1月 Jan.	A	7.531	0.0346	8.99
	B	8.263	0.0382	2.09
	C	7.238	0.0369	14.2
	A+B	8.452	0.0295	2.33
	A+C	7.531	0.0288	3.57
	D	6.715	0.0644	0

* 纤维分解强度为布条在三个月内失重的 %
% of loss weight in embedded cloth strip after 3 months.

2.3 土壤微生物与林木生长的相互关系

从表5可以看出,除马占相思的情况比较特殊外,混交种植后,无论胸径、树高或材积都优于纯林。从实地调查来看,纯桉树林地杂草生长较少,有些坡度较大的地方已被雨水冲刷成光脊地,林冠郁闭度只有50%左右;而混交林和豆科纯林的林地多有杂草和小灌木生长,林冠郁闭度达70-80%,大叶相思和马占相思纯林则达85%以上。很明显,地表情况的不同,影响着土壤微生物生物化学过程,改善了土壤质地,从而促进了植物的生长发育,两者的关系相辅相成。

表5 不同林型的五年树龄林木生长情况*

Table 5 The growth of 5-year-old trees in different forests investigated in August 1993

林型 Forests	保存(%) Survival	胸径(cm) DBH	树高(cm) Tree height	材积(m ³ hm ⁻²) Wood volume
A	91.7	3.91	5.85	21.2
B	90.8	4.92	6.42	30.49
C	84.2	4.03	4.56	15.58
A+B中的A	86.7	4.05	6.28	10.66
A+B中的B	88.7	5.37	6.34	15.80
A+C中的A	81.3	4.59	6.34	10.98
A+C中的C	77.3	4.06	4.69	7.15

*1993年8月调查, 数据由郑海水、杨曾奖提供。

3 小结

林地与对照荒地的土壤微生物组成均以细菌为主, 放线菌为次, 真菌最少。土壤微生物三大类菌的总数呈季节性的变化, 三个纯林的土壤微生物总数的季节变化依次为秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季; 而混交林的高峰则在冬季, 夏季为低谷, 高峰时远高于三个纯林。造林五年后, 土壤的微生态环境得到了改善, 林地土壤微生物总数比裸露生荒地高出四倍多。

五个不同林型的土壤酶活性强度依次为豆科纯林 > 混交林 > 桉树林 > 裸露生荒地, 这表明了大叶相思和马占相思及与之混交的林地土壤均具有较强的降解有机残体和腐殖质再合成的能力。

不同林型下潜在的土壤呼吸作用强度以马占相思林地和大叶相思林地为宜, 混交林地次。这表明了这两种豆科树种能够很好地改良土壤的物理、化学和生物学状况, 从而反映出较强的生物活性。不同林型土壤的呼吸作用强度依次为马占相思林 > 大叶相思林 > 桉树与马占相思混交林 > 桉树与大叶相思混交林 > 纯桉树林 > 裸露生荒地。每年春、夏季为土壤微生物呼吸活性的高峰期, 即土壤微生物的生命活动旺盛季节。

由于本试验区土壤的pH值较低(约4.3左右), 对自生固氮菌和硝化细菌的生长有明显的抑制作用, 故自生固氮活性和硝化作用活性很低; 而氨化细菌对氢离子浓度不大敏感, 因而对氨化作用强度影响不大。氨化作用强度依次为桉树与大叶相思混交林地 > 大叶相思林地 > 马占相思林地 > 桉树与马占相思混交林地 > 纯桉树林地, 每年的秋季为林地土壤氨化作用的高峰期。

从整个试验地来看, 裸露生荒地的微生物数量很少, 代谢活性很低, 连续多代的种植桉树纯林会引起土壤质地的退化。经用豆科固氮树种和桉树混交种植后, 土壤质地得到了很大的改善, 地面上的林木生长良好。因此, 合理地开发利用荒地, 有利于土壤肥力的恢复和提高。

参考文献

- 1 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983, 457
- 2 (日)土壤微生物研究会编. 土壤微生物实验法. 北京: 科技出版社, 1983, 682

- 3 中国科学院微生物研究所细菌分类组. 一般细菌常用鉴定方法. 北京: 科学出版社, 1978, 205
- 4 阮继生编著. 放线菌分类基础. 北京: 科学出版社, 1977, 146
- 5 王大相编著. 细菌分类基础. 北京: 科学出版社, 1977, 178
- 6 中国科学院微生物研究所编. 常见常用真菌. 北京: 科技出版社, 1978, 317
- 7 Ф. X. 哈兹耶夫著. 郑洪元等译. 土壤酶活性. 北京: 科学出版社, 1980, 172
- 8 关松荫等. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986, 376
- 9 郑洪元, 张德生. 土壤动态生物化学研究法. 北京: 科学出版社, 1982, 301
- 10 (美) M. 亚历山大. 土壤微生物学导论. 北京: 科学出版社, 1983, 139-190
- 11 Atius R M, Bartha R. Microbial Ecology: Fundamentals and Applications. Addison-Wesley Publishing Company, U. S. A., 1981, 236
- 12 杨风, 潘超美, 李幼菊. 亚热带赤红壤不同林型对土壤微生物区系的影响. 热带亚热带土壤科学, 1996, 5(1):20-26