

鼎湖山主要植被类型土壤微生物 生物量与碳素动态*

蚁伟民 易志刚 丁明懋 周丽霞

(中国科学院华南植物研究所 广州 510650)

摘要: 鼎湖山主要植被类型土壤微生物生物量与碳素动态的研究结果显示: 土壤微生物生物量 ($\text{mgC}_{\text{mic}} \cdot 100^{-1} \text{dry soil}$) 由高到低依次是南亚热带常绿阔叶林 (82.2) > 针阔叶混交林 (58.8) > 松林 (53.0), 有机碳含量高的土壤中微生物量也相应高; 微生物量高的土壤中, 土壤呼吸速率高且土壤微生物碳的周转量大, 其周转量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 由大到小依次是南亚热带常绿阔叶林 (14.07) > 针阔叶混交林 (11.45) > 松林 (9.6); 土壤微生物代谢熵 ($\text{mg CO}_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}_{\text{mic}} \cdot \text{h}^{-1}$) 由低到高依次是南亚热带常绿阔叶林 (0.58~0.60) < 针阔叶混交林 (0.92~1.00) < 松林 (1.30~1.35), 代谢熵低表明土壤微生物对土壤碳的利用效率相对较高。

关键词: 鼎湖山; 主要植被; 土壤微生物生物量; 碳动态

Soil Microbial Biomass and its Carbon Dynamic in the Main Forest Vegetations in Dinghushan Area

YI Wei-Min YI Zhi-Zhang DING Ming-Mao ZHOU Li-Xia

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: The results of research on soil microbial biomass and its carbon dynamic in the main forest vegetations in Dinghushan area showed that soil microbial biomass ($\text{mgC}_{\text{mic}} \cdot 100\text{g}^{-1} \text{dry soil}$) from high to low was in turn: monsoon evergreen broadleaf forest (82.2) > mixed forest (58.8) > pine forest (53.0). Soil microbial biomass was related to the organic carbon content of soil, the soil contained higher organic carbon with higher soil microbial biomass. Higher soil respiration rate and more carbon turnover by soil microbes appeared in the soil with higher soil microbial biomass, the amount ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) of carbon turnover from more to less was in turn: monsoon evergreen broadleaf forest (14.00) > mixed forest (11.45) > pine forest (9.60), as well as thmetabolic quotient ($\text{mg CO}_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}_{\text{mic}} \cdot \text{h}^{-1}$) from low to high was in turn: monsoon evergreen broadleaf forest (0.58~0.60) < mixed forest (0.92~1.00) > pine forest (1.30~1.35). The lower metabolic quotient implied that the efficiency of carbon utilization by soil microbes was higher.

Key words: Dinghushan area; Main forest vegetations; Soil microbial biomass; Dynamic of carbon

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的组分, 土壤微生物促进了物质的分解和合成, 而同时又是一个营养库, 在陆地生态系统的物质循环和能量流动中起重要作用。鼎湖山森

* 中国科学院知识创新资助项目 (KZCX2—407); 国家自然科学基金资助项目 (30170192)。

林生态系统的土壤微生物区系组成和生物量等已有些研究报道^[1-4]，但是三种主要植被类型（南亚热带常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林）下土壤微生物量和碳素动态尚无系统的研究报道，其次过去的研究报道所使用的微生物呼吸量的数据均是引用有关的参考文献。本研究结合“鼎湖山主要植被类型土壤及其各组分呼吸研究”（另文发表），较为系统的研究了前述三种主要植被类型的土壤微生物量，并用土壤各组分呼吸研究所得的土壤微生物呼吸量的实测数据，对碳素动态进行了系统的研究。从而进一步了解土壤微生物在森林生态系统碳素循环中的作用，对深入研究南亚热带森林生态系统的功能有重要意义，并为森林生态系统的健康评价及经营管理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样地描述

鼎湖山自然保护区位于东经 112°35′，北纬 23°08′，在广东省中部，属丘陵区。鼎湖山地处热带和亚热带的过渡区，属季风南亚热带湿润气候。年平均气温 21℃，年降水量为 1927.3mm，相对湿度达 80% 以上^[5]。土壤类型为赤红壤、黄壤和山地灌丛草甸土。自然植被有南亚热带常绿阔叶林、沟谷雨林、常绿阔叶林、针叶阔叶混交林、针叶林、河岸林、稀树灌丛和灌木草丛^[6]。本研究选取了其中三种主要植被类型：南亚热带常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林为研究对象，对其中的土壤微生物生物量及其与碳素动态的关系进行了研究。上述三个样地的主要概况见表 1。

表 1 实验地概况*

Table 1 The description of experiment plots

植被类型 Vegetation type	海拔 Ele. (m)	土壤特征 Soil properties					
		采土深度 soil depth (cm)	土壤类型 Soil type	pH	土壤容重 Bulk density (g/cm ³)	有机碳 Organic C (%)	全氮 Total N (%)
I	270~300	0~10	赤红壤 Lateritic red earth	3.76	0.86	3.89	2.885
II	200~240	1~5	赤红壤 Lateritic red earth	3.80	1.05	2.68	2.244
III	70~80	2~4	赤红壤 Lateritic red earth	4.04	1.26	2.33	2.438

* I. I：南亚热带常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaf forest；II：针阔叶混交林 Mixed forest；III：松林 Pine forest

2. 表中土壤有机碳和土壤容重数据由方运霆同志提供，采土深度为 0~10cm。其他资料由余清发、褚国伟同志提供。特此致谢。

1.2 土壤样品的采集

本实验于 2001 年 7 月底和 10 月底在每个实验地内随机采取 7 个点，采土深度为 0~15cm，土壤装在封口袋内，并在袋口塞上棉花，带回实验室。自然风干后过 2mm 筛，放在 4℃ 冰箱中备用。

1.3 分析测定

1.3.1 土壤微生物生物量碳的测定

土壤微生物生物量碳的测定采用氯仿熏蒸法^[7]土壤微生物矿化速率取 0.41^[7,8]。每样

地分别测定了 7 个点的土壤微生物量。

1.3.2 土壤呼吸强度测定

土壤呼吸强度采用碱石灰吸收法。称取一定量的碱石灰（一般用量为 30g），在实验前将其在 105℃ 的烘箱中烘 24 小时至恒重，烘干后的碱石灰装瓶放入干燥器中备用。开始测量时，用一定接触面积的器皿盛一定量的碱石灰，用三脚架支起于土壤表面，用一定体积的呼吸室罩住盛有碱石灰的容器和一定面积的土壤，一定时间后，将碱石灰取出，在烘箱中烘至少 8 小时至恒重然后称重，将前后两重量值相减，并乘以系数 1.4，即得到单位时间内单位面积土壤呼吸的量^[9]。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物生物量与有机碳库

鼎湖山三种主要植被类型土壤微生物生物量 ($\text{mgC}_{\text{mic}} \cdot 100\text{g}^{-1}$ dry soil) 的平均值分别为：南亚热带常绿阔叶林 82.2，针阔叶混交林 58.8 和马尾松林 53.0（表 2）。已知土壤微生物量与土壤类型和环境有密切关系，但主要与土壤有机质相关^[10]。从表 1 中可以看出，土壤有机碳的大小顺序为：南亚热带常绿阔叶林 > 针阔叶混交林 > 马尾松林，表 2 中土壤微生物量由高到低的排列顺序与土壤有机碳的排列顺序相吻合。因此，土壤微生物量的高与低也反映了土壤有机碳库的大小。

从表 2 中可以看出，土壤微生物生物量 7 月份高于 10 月份。根据鼎湖山物候观测，7 月份左右是植物生长旺盛的季节，植物向地下部分输送的有机物较多，而根际微生物主要是利用根分泌物和渗出物为底物而生长和繁殖的，所以根际微生物特别活跃。凋落物是土壤微生物碳源的一种主要形式，2001 年三种植被类型凋落物量 7 月份明显高于 10 月份，凋落物量的增加将会引起土壤微生物活动。因此 7 月份微生物生物量明显高于 10 月份，微生物量的变化与碳素输入的变化相关。类似的结果也还有研究报道^[1]。

表 2 不同植被类型下土壤微生物生物量和数量

Table 2 Soil microbial biomass in different vegetations in Dinghushan

植被类型 Vegetation type	土壤微生物生物量 Soil microbial biomass ($\text{mgC}_{\text{mic}}/100\text{g}$ dry soil)		
	7 月 July	10 月 October	平均 Average
I	87.7	76.7	82.2
II	62.6	54.9	58.8
III	56.7	49.3	53.0

2.2 土壤微生物量与土壤呼吸

通常所说的土壤呼吸包含了根呼吸、微生物呼吸和动物呼吸，所以土壤微生物对土壤有较大的影响。本研究结果表明，微生物量高的土壤，其土壤呼吸速率也较高（图 1）其次还有研究结果表明，各实验的土壤微生物呼吸量均占其相应土壤总呼吸量的 70% 以上（另文报道），更进一步显示了土壤微生物量与土壤呼吸之间的关系。

2.3 土壤微生物量与碳素周转

土壤微生物繁殖快，周转期短，在森林生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用。根据瓦格纳的微生物转化理论，表 3 中列出了鼎湖山三种主要植被类型的土壤微生物

的周转期，年转化代数和碳素转化量。表中新物质产量由每呼吸 1gCO_2 产生 0.005g 新物质计算得到，用 a 表示；细胞物质干重由土壤微生物生物量 $\times 2$ 计算得到（因为土壤微生物细胞干组织的 50% 由生物量碳组成），用 X 表示；转化因数为 K ，其计算公式为 $K = \ln(X/(X-a))/t$ ， \ln 为自然对数， t 为时间；转化周期为转化因数的倒数，即 $T = 1/K$ ；土壤微生物年周转代数 = $365/\text{转化周期}$ 。假设现存土壤微生物生物量不变，则：

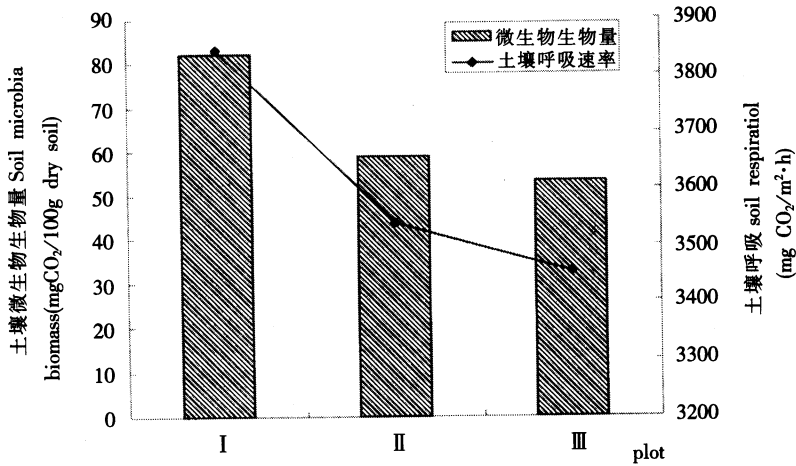


图 1 土壤微生物生物量与土壤呼吸

Fig 1 Soil microbial biomass and soil respiration

年碳素转化量 = 现存土壤微生物生物量 \times 年周转代数

从表 3 中可以看出，鼎湖山三种主要植被类型土壤微生物年转化碳量的大小顺序依次是：南亚热带常绿阔叶林 $>$ 针阔叶混交林 $>$ 马尾松林，与这三种植被类型的植物生长情况相一致，三种植被类型年总第一性生产力 $\text{tWd}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 分别是：15.081，5.707，11.764^[11]。土壤微生物年碳素转化量越大，可以提供给植物生长的碳素及其他营养元素也越多，这样森林生长越迅速；而森林生长越迅速，提供给微生物的能量和呼吸底物也就越多，从而微生物的生物量和年碳素转化量也越大。正是土壤微生物和植物之间的这种相互作用促进了森林生态系统的持续和健康发展。

表 3 鼎湖山不同植被类型土壤微生物年转化碳素

Table 3 Carbon turnover by the soil microbes in different vegetations in Dinghushan

植被类型 Vegetation type	微生物呼吸 Microbial respiration ($\text{gCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)	新物质产量 Tissue productivity ($\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$)	细胞物质干重 Dry tissue of biomass (g/kg)	转化周期 Turnover time (d)	年周转代数 Times of turnover (times/a)	年转化 C_{mic} 量 Amount of C_{mic} turnover ($\text{t}/(\text{hm} \cdot \text{a})$)
I	8.06	0.0403	1.644	40.29	9.06	14.07
II	7.80	0.0390	1.175	29.63	12.32	11.45
III	8.00	0.0400	1.06	26	14.04	9.60

2.4 土壤微生物代谢商与碳的利用

土壤微生物呼吸和土壤微生物生物量之间有着一定的联系，土壤微生物呼吸和土壤微

生物生物量的比率，即为土壤微生物代谢商（每克 C_{mic} 。每小时释放的 CO_2-C 毫克数），它是衡量土壤微生物对土壤碳利用效率的一个重要依据；一般来说，随着森林演替及土壤熟化程度的增加，土壤代谢商逐渐减小^[1,12,13]。

三个植被类型的土壤微生物代谢商列于表 4，从表中可以看出，南亚热带常绿阔叶林代谢商最低、碳利用效率最高，马尾松林代谢商最高、碳利用效率最低。本实验与蚁伟民等^[1]在鼎湖山自然林得到的有关土壤微生物代谢商（0.44）相比，结果偏高，可能是由于土壤呼吸测量方法不同，蚁伟民等测量土壤呼吸采用的方法为 NaOH 溶液吸收法，研究表明，碱石灰吸收 CO_2 的速率为碱液的 2 倍（Edwards et al., 1982），且蚁伟民等采用土壤呼吸速率的 60% 作为土壤微生物的基础呼吸。本研究结果表明，微生物呼吸所占比率因植被类型而不同，不同季节也有差异，范围为 65%~82%（另文报道）。本研究得到的土壤微生物代谢商与 Ding 等^[12]在电白小良地区得到的土壤微生物代谢商（0.6~2.7）相比低，说明鼎湖山地区土壤微生物对碳的利用效率较高。

表 4 鼎湖山不同植被类型土壤微生物代谢商

Table 4 Metabolic quotient of soil microbes in different vegetations in Dinghushan

季节 Season	植被类型 Vegetation type	土壤微生物生物量 Soil microbial biomass ($\mu g C_{mic}/g$ dry soil)	微生物呼吸 Microbial respiration ($\mu g CO_2-C/g$ dry soll·h)	代谢商 Metabolic quotient (mg $CO_2-C/gC_{mic}\cdot h$)
雨季 Rain season	I II III	877 626 567	0.51 0.62 0.74	0.58 1.00 1.30
旱季 Dry season	I II III	767 549 493	0.46 0.51 0.67	0.60 0.92 1.35

4 结果与讨论

鼎湖山三种主要植被类型土壤微生物生物量由高到低依次是南亚热带常绿阔叶林>针阔叶混交林>马尾松林，土壤微生物量和土壤有机碳含量关系密切，土壤微生物量高的土壤中，其有机碳库也相应较大。

土壤呼吸与土壤微生物量相关，土壤微生物量高的土壤具有较高的土壤呼吸速率，也即土壤向大气排放的 CO_2 量大。

土壤微生物量高的土壤中微生物碳的周转量较大，碳素的周转还带动了其他营养元素的周转，有利于生态系统的生存和持续发展。

参 考 文 献

- [1] 蚁伟民, 傅声雷, 周存宇等. 鹤山人工林和鼎湖山自然林土壤微生物生物量的研究. 生态学报, 1995, 15 (Supp.A): 141~147
- [2] 蚁伟民, 丁明懋, 廖兰玉等. 鼎湖山自然保护区及电白人工林土壤微生物特性的研究. 热带亚热带森林生态系统研究, 1984, 2: 59~68
- [3] 邓邦权, 吕禄成. 鼎湖山自然保护区不同林型下土壤微生物生物化学过程强度的研究 I. 不同土壤

- 含碳物质的矿化与土壤微生物的代谢活性和生物量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1986, 4: 53~63
- [4] 邓邦权, 吕禄成. 鼎湖山自然保护区不同土壤林被土壤微生物的生物量与生物营养物质的库贮量. 热带亚热带森林生态系统研究, 1990, 7: 113~118
- [5] 黄展帆, 范征广. 鼎湖山的气候. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 11~16
- [6] 王铸豪, 何道泉, 宋绍敦等. 鼎湖山自然保护区之植被. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, (1): 77~141
- [7] Jenkinson D. S., and Powlson D. S.. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. V. A method for measure soil microbial biomass. *Soil Bio, Biochem.*, 1976, 8: 209~213
- [8] Anderson JPE and Domsch KH. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soil. *Soil Biol, Biochem.* 1978, 10: 207~213
- [9] Edwards N T. The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial system. *Pedobiologia*, 1982, 23: 321~330
- [10] Singh J S, Reghbanshi A S, Singh R S and Srivastava S C. Micorbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. *Nature*, 1989, 338: 499~500
- [11] 彭少麟, 方炜. 南亚热带森林演替过程生物量 and 生产力动态特征. *生态科学*, 1995, 2: 1~9
- [12] Ding Ming-mao, Yi Wei-min, Liao Lan-yu, et al. Effects of afforestation on microbial biomass and activity in soils of tropical China. *Soil Biol, Biochem.*, 1992, 24: 865~872
- [13] Insam H and Haselwandte K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 1989, 79: 174~178