

鼎湖山主要植被类型土壤微生物生物量研究

易志刚^{1, 2}, 蚁伟民², 周丽霞², 王新明^{1*}

1. 中国科学院广州地球化学研究所//有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640;

2. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650

摘要: 对鼎湖山国家级自然保护区 3 种主要植被类型: 季风常绿阔叶林, 针阔叶混交林和马尾松林土壤微生物生物量进行了研究。结果表明, 土壤微生物生物量 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 在季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林中分别为: 822, 588, 530, 季风常绿阔叶林显著高于针阔叶混交林和马尾松林 ($P<0.01$), 而针阔叶混交林和马尾松林无显著差异 ($P>0.05$); 土壤中微生物量高的土壤中, 有机碳含量也相应高, 两者的比值可反应土壤碳的积累或损失, 研究表明, 鼎湖山 3 种主要植被类型土壤均处于碳积累过程; 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林土壤微生物碳周转量 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$) 依次为: 14.07, 11.45, 9.60, 碳素的周转带动了其他营养元素的循环和能量的流动; 土壤微生物代谢熵 ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) 由低到高依次是季风常绿阔叶林 (0.59) 针阔叶混交林 (0.96) 和马尾松林 (1.33), 表明土壤微生物对土壤碳的利用效率季风常绿阔叶林较高, 马尾松林较低。

关键词: 土壤微生物生物量; 鼎湖山; 代谢熵; 碳周转

中图分类号: S154.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2005) 05-0727-03

土壤微生物是陆地生态系统中最活跃的组分, 可促进物质的分解和合成, 同时作为营养库, 在陆地生态系统的物质循环和能量流动中起重要作用。鼎湖山森林生态系统的土壤微生物区系组成和生物量等已有研究报道^[1-3], 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林是鼎湖山有代表性的 3 种主要植被类型, 但土壤微生物生物量和碳素动态尚无系统研究。本文较系统的研究了鼎湖山 3 种主要植被类型的土壤微生物量, 并分析了土壤微生物生物量与土壤有机碳和土壤呼吸的关系, 从而为进一步了解土壤微生物在森林生态系统物质循环和能量流动中的作用提供基础数据。

1 研究样地概况

鼎湖山自然保护区位于 $112^{\circ}35'E$ $23^{\circ}08'N$, 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°C , 年降水量为 1927.3 mm, 相对湿度达 80% 以上^[4]。土壤类型主要为赤红壤、黄壤和山地灌丛草甸土。自然植被有季风常绿阔叶林、沟谷雨林、山地常绿阔叶林、针叶阔叶混交林、马尾松林、河岸林、稀树灌丛和灌木草丛。本研究选取了处于演替系列不同阶段的 3 种主要植被类型: 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林为研究对象 (表 1), 对其中的土壤微生物生物量及其碳素动态进行了研究。

2 研究方法

分别于 2001 年 7 月底和 2002 年 1 月底在每个实验地内随机采取 7 个点, 采土深度为 0~15 cm,

表 1 实验地概况

Table 1 The description of experiment plots at DBR

植被类型 ¹⁾	海拔/m	土壤特征			
		pH	土壤容重/ (H_2O 浸提)	w(有机碳)/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	w(全氮)/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
BF	270~300	3.76	0.86	32.0	28.9
MF	200~240	3.80	1.05	23.1	22.4
PF	70~80	4.04	1.26	17.1	24.4

1) BF: 季风常绿阔叶林; MF: 针阔叶混交林; PF: 马尾松林; 下同

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 2 mm 筛, 放在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用, 用于测量土壤微生物生物量。土壤微生物生物量采用熏蒸培养法^[5], 土壤微生物矿化速率取 0.41^[5, 6]。

在采集土壤样品的同时, 采用静态箱 - 碱石灰吸收法测量土壤呼吸速率^[3, 7]。测定前一天剪去地表的绿色草本植物, 每个林地同时测量 7 个样点。

微生物呼吸速率 = 土壤呼吸速率 \times 微生物呼吸占土壤呼吸的比例。

3 结果与分析

3.1 土壤微生物生物量

鼎湖山 3 种主要植被类型土壤微生物生物量为 530~822 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2), 季风常绿阔叶林土壤微生物生物量显著高于针阔叶混交林和松林 ($P<0.01$), 但针阔叶混交林和马尾松林微生物生物量差异并不显著 ($P>0.05$)。该地区土壤微生物生物量大于非洲热带森林 (280~480 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[8], 略高于同属该气候带的橡树林 (380.8~568.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[9], 但小于

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2002CB410803); 国家自然科学基金项目(30170192); 中国科学院知识创新项目(KZCX3-SW-121)

作者简介: 易志刚 (1973 -), 男, 博士研究生, 主要从事大气与土壤环境方面的研究。Tel. 86-20-31971472; E-mail: zgyi@gig.ac.cn

*通讯作者: 王新明。E-mail: wangxm@gig.ac.cn

收稿日期: 2005-05-19

表 2 鼎湖山不同植被类型土壤微生物生物量及其与土壤有机碳比值及微生物代谢熵
Table 2 Soil microbial biomass, ratio of C_{mic} to C_{org} and metabolic quotient of different vegetation types in DBR

植被类型	土壤微生物生物量/(mg·kg ⁻¹)			w(有机碳)/(g·kg ⁻¹)	$(C_{mic}/C_{org})/(mg·g^{-1})$	微生物呼吸 ¹⁾ /(mg·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	代谢熵/(mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)
	7 月	1 月	平均				
BF	877	767	822	32.0	25.7	0.485	0.59
MF	626	549	588	23.1	25.5	0.565	0.96
PF	567	493	530	17.1	31.0	0.705	1.33

1) 以每千克干质量土壤中微生物每小时所释放出的 CO₂-C 毫克数计算

温带森林微生物生物量 (1 080 mg·kg⁻¹)^[5], 土壤微生物生物量大小与气候、植被和土壤有密切关系, 而土壤有机碳的含量对土壤微生物生物量起关键作用^[10]。3 种林型土壤微生物生物量的高低顺序与土壤有机碳一致, 土壤微生物生物量的高与低也反映了土壤有机碳库的大小^[11]。

3 种林型土壤微生物生物量都是冬季 (旱季) 较小, 夏季 (雨季) 较大, 与潘超美等在橡树林的报道基本一致^[11]。从鼎湖山的气候观测, 雨季发生在 4 - 9 月, 旱季发生在 10 - 3 月。根据鼎湖山的物候观测, 植物的抽芽和长叶集中在 3 - 5 月, 这个期间土壤温度逐渐回升, 4 - 9 月雨水充足, 植物生长旺盛, 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。这些条件均有利于微生物的生长代谢; 9 月份温度开始降低, 1 月温度基本达到最低值, 此时植物生长较弱, 凋落物减少, 运输到根部的分泌物减少, 不利于微生物生长。

3.2 土壤微生物生物量 (C_{mic}) 与土壤有机碳 (C_{org}) 比值

C_{mic}/C_{org} 是衡量一个生态系统土壤有机碳积累或损失的一个重要指标, 该比值越高表示土壤碳的积累^[10], 鼎湖山 3 种主要植被类型 C_{mic}/C_{org} 值介于 25.5~31 mg·g⁻¹ 之间 (表 2), 高于气候基本相同的经济林该比值 (12.43~15.75 mg·g⁻¹)^[9]。已有研究表明, 鼎湖山 400 a 自然林该值为 19.5 mg·g⁻¹^[3], 该自然林

被认为是该地区成熟的顶级群落, 土壤碳循环基本达到平衡状态。以该自然林为标准, 将该地区 3 种主要植被类型土壤与之比较, 大于 19.5 mg·g⁻¹ 的为碳积累, 小于 19.5 mg·g⁻¹ 的为碳损失, 从分析结果可以看出, 本研究 3 种林型土壤碳素均处于积累之中, 其中马尾松林处于强烈的碳积累过程。

3.3 土壤微生物代谢熵与碳的利用

土壤微生物呼吸和土壤微生物生物量的比率, 即土壤微生物代谢熵 (每克 C_{mic} 每小时释放的 CO₂-C 毫克数), 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, 土壤熟化程度越高, 土壤代谢熵逐渐减小^[1, 8, 11]。

表 2 可见, 季风常绿阔叶林代谢熵最低, 碳利用效率最高; 马尾松林代谢熵最高, 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熵 (0.44 mg·g⁻¹·h⁻¹) 相比, 结果偏高, 主要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 CO₂ 的速率为碱液的 2 倍^[7]。本研究得到的土壤微生物代谢熵与 Ding et al^[8]在电白小良地区得到的土壤微生物代谢熵 (0.6~2.7 mg·g⁻¹·h⁻¹) 相比低, 说明鼎湖山土壤微生物对碳的利用效率较高。

3.4 土壤微生物碳素转化

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。根据瓦格纳微生物转化理论^[12], 表 3 中列出了 3 种主要植

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 of different vegetation type in DBR

植被类型	微生物呼吸/(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	新物质产量/(g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	细胞物质干质量/(g·kg ⁻¹)	转化周期/d	年周转代数	年转化 C_{mic} 量/(t·hm ⁻²)
BF	8.06	0.040 3	1.644	40.29	9.06	14.07
MF	7.80	0.039 0	1.175	29.63	12.32	11.45
PF	8.00	0.040 0	1.060	26.00	14.04	9.60

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 1 g CO₂ 产生 0.005 g 新物质计算得到, 用 α 表示; 细胞物质干质量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 $K = \ln(X/(X-\alpha))/t$, \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/转化周期。假设现存土壤微生物生物量不变, 则:

年碳素转化量 = 现存土壤微生物生物量 \times 年周转代数

鼎湖山 3 种主要植被类型土壤微生物年转化碳素量的大小顺序依次是: 季风常绿阔叶林 > 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,3种植被类型年总第一性生产力($t \cdot hm^{-2}$)分别是:15.081, 11.764, 5.707^[13]。土壤微生物年碳素转化量越大,供给植物生长的碳素及其他营养元素也越多,森林生长越迅速;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。

4 结论

(1) 鼎湖山3种主要植被类型土壤微生物生物量由高到低依次是季风常绿阔叶林>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,两者的比值可反应土壤碳的积累或损失,研究表明鼎湖山3种主要植被类型土壤均处于碳积累过程,而马尾松林处于强烈的碳积累过程。

(2) 代谢熵是衡量土壤微生物对土壤碳的利用效率高低的指标,代谢熵越低,微生物对土壤碳的利用效率越高。鼎湖山季风常绿阔叶林土壤微生物利用土壤碳的效率最高,混交林次之,马尾松林最低。

(3) 土壤微生物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[J]. 生态学报, 1995, 15(Supp.A): 141 - 147.
YI W M, FU S L, ZHOU C Y, *et al.* A study on soil microbial biomass in artificial and natural forests[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995, 15 (Supp. A): 141 - 147.
- [2] 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: 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[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1986, 4: 53 - 63.

- DENG B Q, LU L C. Study of microbes and biochemical activity of different forest soils in Ding Hu Shan Biosphere Reserve I. Microbial activity and biomass in relation to mineralization of carbonaceous matter of different forest soils[J]. Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, 1986, 4: 53 - 63.
- [3] 易志刚,蚁伟民,丁明燃,等. 鼎湖山3种主要植被类型土壤碳释放研究[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 207 - 212.
YI Z G, YI W M, ZHOU L X, *et al.* Soil carbon effluxes of three major vegetation types in Dinghushan Biosphere Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 207 - 212.
- [4] 黄展帆,范征广. 鼎湖山的气候[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1982, 1: 11 - 16.
HUANG Z F, FAN Z G. The climate of Dinghushan[J]. Tropical and Subtropical Forest Ecosystem, 1982, 1: 11 - 16.
- [5] JENKINSON D S, POWLSON D S. The effects of biocidal treatment on metabolism in soil. A method for measure soil microbial biomass[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1976, 8: 209 - 213.
- [6] ANDERSON J P E, DOMSCH K H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1978, 10: 207 - 213.
- [7] EDWARDS N T. The use of soda-lime for measuring respiration rates in terrestrial system[J]. Pedobiologia, 1982, 23: 321 - 330.
- [8] 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 Biology and Biochemistry, 1992, 24: 865 - 872.
- [9] 潘超美,杨风,郑海水,等. 橡胶林在间种砂仁与咖啡的模式下土壤微生物生物量[J]. 土壤与环境, 2000, 9: 114 - 116.
PANG C M, YANG F, ZHENG H S, *et al.* Study on Soil Microbial Biomass in Rubber Plantation Intercropping with *Amomum villosum* or *Coffea arabica*[J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9: 114 - 116.
- [10] 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.
- [11] INSAM H, HASELWANDTER K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession[J]. Oecologia, 1989, 79: 174 - 178.
- [12] 瓦格纳 G H. 微生物生长与碳素转化[M]. 岳莹玉译. 北京: 农业出版社, 1984: 481 - 498.
WAGNER G H. Growth of microbes and carbon transformation[M]. YUE Y Y translated. Beijing: Agricultural Press, 1984: 481 - 498.
- [13] 彭少麟,方炜. 南亚热带森林演替过程生物量和生产力动态特征[J]. 生态科学, 1995, 2: 1 - 9.
PENG S L, FANG W. Features of biomass and productivity dynamics in successional process of low subtropical forest[J]. Ecologic Science, 1995, 2: 1 - 9.

Soil microbial biomass of the main forests in Dinghushan Biosphere Reserve

YI Zhi-gang¹, YI Wei-min², ZHOU Li-xia², WANG Xin-ming¹

1. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract: Soil microbial biomass (C_{mic}) of three main vegetations in Dinghushan Biosphere Reserve (DBR), namely monsoon evergreen broadleaf forest (BF), mixed forest (MF) and pine forest (PF), was studied in April, 2001 and March, 2002. They were 822, 588, 530 $mg \cdot kg^{-1}$ in BF, MF and PF, respectively; with significant difference between BF and MF or PF ($P < 0.01$), and no significant difference between MF and PF ($P > 0.05$). Higher soil C_{mic} was accompanied by higher soil organic carbon (C_{org}). The ratios of C_{mic} to C_{org} , which indicate the accumulation or loss of soil carbon, showed that soil carbon was in the stage of accumulation in all three forests in the present study. More carbon turnover appeared in the soil with higher soil C_{mic} . The carbon turnover ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$) was 14.07 in BF, 11.45 in MF and 9.60 in PF, respectively. The metabolic quotient ($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$), which implies the efficiency of carbon utilization by soil microbes, was 0.59 in BF, 0.96 in MF and 1.33 in PF, respectively. These metabolic quotients indicated that carbon utilization efficiencies were higher in BF and lower in PF.

Key words: soil microbial biomass; Dinghushan Biosphere Reserve; metabolic quotient; carbon turnover