

鼎湖山三种主要植被类型土壤碳释放研究

易志刚, 蚁伟民*, 周国逸, 周丽霞, 张德强, 丁明懋

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要: 土壤呼吸是土壤微生物活性和土壤肥力一个重要指标, 是土壤碳流通的一个主要过程, 也是陆地生态系统碳循环的一个关键部分, 对研究全球变化非常重要。国内土壤呼吸的研究主要集中在北京山地温带林区、尖峰岭热带森林及东北羊草草原和中亚热带等地, 南亚热带地区森林土壤呼吸尚无报道。选取南亚热带鼎湖山自然保护区森林演替系列中的 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, 研究了土壤呼吸和与之相关的土壤微生物生物量、土壤温度和土壤含水量以及他们之间的关系。结果表明, 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林年均土壤呼吸速率依次是 477.9, 435.4, 429.5 $\text{m gCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 土壤呼吸速率与土壤温度的季节变化规律接近; 3 种植被类型土壤微生物生物量变化规律与土壤呼吸变化规律一致, 季风常绿阔叶林最高, 马尾松林最低, 土壤微生物量高的土壤中碳周转量较大, 碳素周转还带动了其他营养元素周转, 有利于生态系统生存和持续发展; 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和针叶林代谢熵依次是 0.58~ 0.60, 0.92~ 1.00, 1.30~ 1.35, 表明 3 种植被类型土壤中土壤微生物对土壤碳的利用效率依次降低。

关键词: 鼎湖山; 主要植被; 土壤碳释放

Soil carbon effluxes of three major vegetation types in Dinghushan Biosphere Reserve

YI Zhi-Gang, YI Wei-Min*, ZHOU Guo-Yi, ZHOU Li-Xia, ZHANG De-Qiang, DING Ming-Mao
(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1673~ 1678

Abstract Soil respiration is traditionally considered to be important because it is an index of soil microbial activity and soil fertility. Recent years, tremendous worldwide attention has also been paid on soil respiration because it is recognized as the major soil carbon efflux and one of the key components of carbon cycle in terrestrial ecosystems. In order to illustrate the patterns and impacts of global change, it is essential to measure the soil respiration.

In China, studies on soil respiration and forest carbon budget has been carried out only under some vegetation types such as temperate forests in Beijing, tropical forests of Jianfengling in Hainan, *Leymus chinensis* grassland in northeastern China and east mid-subtropical in China. However, soil respiration under low subtropical forests of China has not been well documented so that it has prevented us from

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

收稿日期: 2003-02-25; **修订日期:** 2003-05-12

作者简介: 易志刚(1973~), 男, 湖南益阳人, 硕士, 主要从事土壤微生物生态学研究。E-mail: ywmm@scib.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30170192) and Knowledge Innovation Project of CAS (No. KZCX2-407)

Received date: 2003-02-25; **Accepted date:** 2003-05-12

Biography: YI Zhi-Gang, Master, main research field: soil microbial ecology.

understanding the contribution of soil respiration of this region to global carbon budget. In the present study, three major forests of Dinghushan Biosphere Reserve which located at the low subtropics of China were selected to measure the soil respiration and to correlate it to soil microbial biomass, soil temperature and moisture. Three major forests selected were monsoon evergreen broadleaf forest, Pine and broad-leaf mixed forest and pine forest which represented a succession series in Dinghushan Biosphere Reserve.

Annual mean soil respiration rate of monsoon evergreen broadleaf forest, Pine and broad-leaf mixed forest and pine forest were 477.9, 435.4 and 429.6 $\text{mgCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, respectively. Soil respiration showed a similar pattern to soil temperature. Soil microbial biomass showed the same trend as soil respiration, which was the highest for monsoon evergreen broadleaf forest and lowest for pine forest. Faster turnover rates of soil carbon and other elements with high soil microbial biomass might be essential for sustaining the health of an ecosystem. The metabolic quotient ($\text{mgCO}_2 \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{Cmic} \cdot \text{h}^{-1}$) from low to high was: monsoon evergreen broadleaf forest (0.58~0.60) < Pine and broad-leaf mixed forest (0.92~1.00) < pine forest (1.30~1.35), indicated that the carbon utilization efficiency of soil microbes in monsoon evergreen broadleaf forest was higher than that in mixed forest and pine forest.

Key words: Dinghushan Biosphere Reserve; main vegetation types; soil carbon efflux

文章编号: 1000-0933(2003)08-1673-06 中图分类号: S154.1 文献标识码: A

土壤呼吸是指土壤释放 CO_2 的过程, 是陆地生态系统碳循环的一个重要过程, 也是土壤碳库主要输出途径, 往往作为土壤生物活性^[1]和土壤肥力乃至透气性的指标^[2-5]。同时, 作为土壤碳库唯一输出途径和大气 CO_2 重要的源, 有关研究越来越深入和广泛。全球土壤是一个巨大的碳库 ($1.394 \times 10^{18} \text{g}$), 同时又是大气 CO_2 的重要的源^[6]。据估计, 全球土壤每年排放 C 量高达 $68 \times 10^{15} \text{g}$ ^[7], 高于由于燃料燃烧每年排放 C 量 ($5.2 \times 10^{15} \text{g}$)^[8], 即使轻微变化也会引起大气中 CO_2 浓度明显改变^[9], 因此, 研究土壤呼吸对于探讨全球变化及其影响, 具有十分重要的意义。

国外很早就开展了森林土壤呼吸研究, 而国内在这方面研究很少, 仅在北京山地温带林区^[10,11]、尖峰岭热带森林^[12]及东北羊草草原^[13]和中亚热带^[14]等地开展过研究, 而我国南亚热带地区森林土壤呼吸尚无报道。本文研究了鼎湖山 3 种主要植被类型土壤呼吸与环境因子的关系, 并讨论了不同植被类型土壤微生物生物量碳与土壤呼吸的关系, 为进一步了解土壤微生物在生态系统物质循环和能量流动中的作用, 为生态系统的持续发展和健康管理提供科学依据, 也为我国及全球土壤呼吸和碳平衡估算提供基础资料。

1 自然概况

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。鼎湖山山体海拔高度一般在 400~600m, 最高峰鸡笼山为 1000.3m。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 1927mm, 相对湿度达 80% 以上^[15]。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、常绿阔叶林、针阔叶混交林、针叶林、河岸林、稀树灌丛和灌木草丛^[16]。本研究选取演替系列中的 3 种林型: 季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和针叶林作为研究对象(表 1), 对其土壤呼吸变化及其与土壤微生物关系进行了研究。

2 研究方法

2.1 土壤样品的采集 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 0~15cm, 土壤装在封口袋内, 袋口扎棉花, 带回实验室。分成两份, 一份自然风干后过 2mm 筛, 放在 4℃ 冰箱中备用, 用于测量土壤微生物生物量; 另一份风干保存, 供化学分析用。

2.2 土壤微生物生物量碳的测定 采用氯仿熏蒸法^[17]。土壤微生物矿化速率取 $0.41^{[17,18]}$ 。

2.3 土壤呼吸强度测定 采用碱石灰吸收法^[19]。于 2001 年 4 月~2002 年 3 月的每月下旬, 9:00~16:00 测量土壤呼吸, 若遇到下雨, 在雨后 2~3d 测量。每个样地每次测 7 个样点, 计算平均值及标准差。

表 1 试验地概况

Table 1 The description of experiment plots

试验地 Plots	海拔高度 Ele. (m)	土壤特征 Soil properties			
		土壤容重 Bulk density	pH	有机碳 Organic C (%)	NH ₄ -N (mg · kg ⁻¹)
I	270~ 300	0.850	3.76	3.89	23.4
II	200~ 240	1.027	3.80	2.68	23.7
III	70~ 80	1.396	4.04	2.33	28.9

I: 季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaved forest; II: 针阔叶混交林 Pine and broad-leaf mixed forest; III: 针叶林 Pine forest A: 锥栗-荷木-黄果厚壳桂 *Castanopsis chinensis-Schinus superba-Cryptocarya* spp; B: 马尾松-荷木-锥栗 *Pinus Massoniana-Schinus superba-Castanopsis chinensis*; C: 马尾松-桃金娘-芒萁 *Pinus Massoniana-Rhodomyrtus tanentosa-Dicranopteris linearis* var. *dichotoma*

$$\text{土壤呼吸速率的计算: } SR = \frac{(W_2 - W_1) \times 1.4 \times 1000}{A \times 24}$$

式中, SR 为土壤呼吸速率 (mg CO₂ · m⁻² · h⁻¹); W₂ 为反应后碱石灰+ 培养皿重量 (g); W₁ 为反应前碱石灰+ 培养皿重量 (g); A 为塑料桶罩住土壤的面积 (m²); 1.4 为转换系数; 1000 为 g 与 mg 之间的转换; 24 为天与小时之间的转换系数。

2.4 环境因子的测定 在每次测定土壤呼吸的同时, 测定气温、地表温度和地下 15cm 温度, 并取土样 1 份 (0~ 15cm), 带回实验室, 用烘干法测量土壤含水量。

3 结果与分析

3.1 3 种植被类型土壤呼吸特点

从 3 种群落土壤呼吸速率及各环境因子比较 (表 1、表 2) 来看, 土壤呼吸速率是季风常绿阔叶林 > 针阔叶混交林 > 针叶林 (P < 0.05)。而地表温度和地下 15cm 温度并无显著差异, 土壤有机质含量季风常绿阔叶林 > 针阔叶混交林 > 针叶林 (P < 0.05), 说明土壤呼吸速率除了与温度、有机质含量有关外, 还与其他因素如土壤含水量, 土壤 N 含量和土壤容重等有关。

表 2 鼎湖山不同植被类型土壤呼吸速率及相应环境因子均值的比较

Table 2 Comparison of the mean values of soil respiration rate and the environment factors of different Vegetation types in Dinghushan

试验地 Plots	呼吸速率 Respiration rate (mg CO ₂ · m ⁻² · h ⁻¹)	地表温度 (°C) Surface temperature	地下 15cm 温度 (°C) Temperature at 15cm depth	土壤含水率 (%) Soil water content
I	477.9	20.2	19.4	26.5
II	435.4	22.4	21.1	16.4
III	429.5	23.9	22.3	14.7

I: 季风常绿阔叶林 Monsoon evergreen broad-leaved forest; II: 针阔叶混交林 Pine and broad-leaf mixed forest; III: 针叶林 Pine forest

3 种群落的土壤呼吸季节变化规律较为一致 (图 1), 季风常绿阔叶林土壤呼吸速率为 8 9 > 7 5 6 3 4 10 11 > 12 1 2 (月份) (P < 0.05), 针阔叶混交林为 7 8 > 6 9 5 4 10 3 11 2 > 12 1 (P < 0.05), 针叶林 7 8 > 9 6 5 4 10 3 2 1 > 11 12 (P < 0.05), 土壤呼吸速率季节变化规律基本与温度季节变化规律相一致 (图 2), 与已有报道相同^[14]。

相关分析表明, 土壤呼吸与气温达极显著相关 (p < 0.01) (季风常绿阔叶林: $y = 245.19e^{0.0318x}$ (R² = 0.70); 针阔叶混交林: $y = 191.33e^{0.0384x}$ (R² = 0.85),

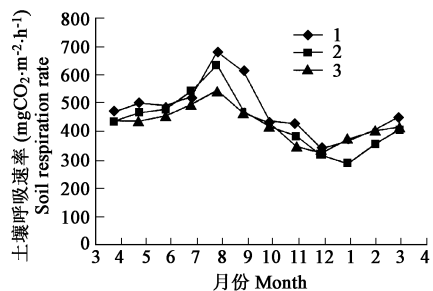


图 1 鼎湖山不同植被类型土壤呼吸速率季节变化
Fig.1 Seasonal changes of soil respiration rate of different vegetation types in Dinghushan

针叶林: $y = 257.01e^{0.0222x}$ ($R^2 = 0.64$), 而与土壤含水量的变化规律不一致(图 1, 图 3), 土壤呼吸速率的最大和最小值分别发生在土壤含水量最大和最小值的后两个月, 说明土壤含水量对土壤呼吸的影响可能有滞后作用, 也可能与土壤微生物呼吸对温度的反应比之对湿度的反应更敏感有关。

3.2 土壤呼吸与土壤微生物量

土壤呼吸包含了根呼吸、微生物呼吸和动物呼吸, 研究表明, 土壤中微生物呼吸占土壤总呼吸的 50% 左右^[1, 20, 21], 鼎湖山地区由于土层较薄, 根生物量较小, 故根呼吸所占比例相应较小, 从而微生物呼吸比例相应提高, 占土壤总呼吸的 65% ~ 82%, 故土壤微生物对土壤呼吸有较大的影响。本研究结果表明, 土壤微生物量高的土壤, 其土壤呼吸速率也较高(图 4)。

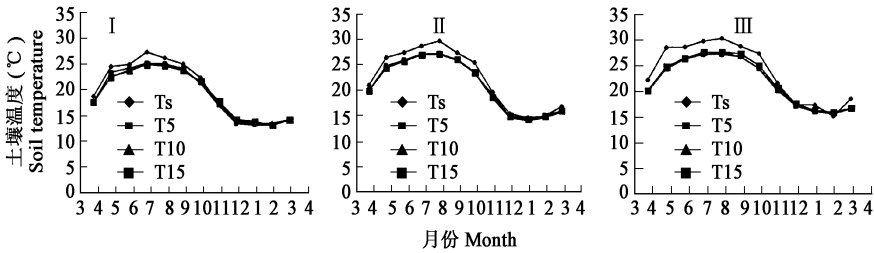


图 2 鼎湖山不同植被类型土壤温度季节变化

Fig. 2 Seasonal changes of soil temperature of different vegetation types in Dinghushan

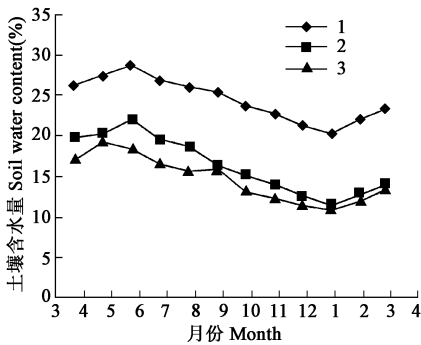


图 3 鼎湖山不同植被类型土壤含水量季节变化

Fig. 3 Seasonal changes of soil water content of different vegetation types in Dinghushan

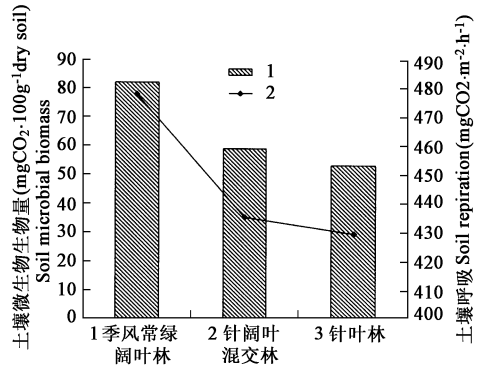


图 4 土壤微生物量与土壤呼吸关系

Fig. 4 The relationship between soil microbial biomass and soil respiration

3.3 土壤微生物呼吸与碳的利用

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^[22-24]。

3 个植被类型的土壤微生物代谢商列于表 3, 从表中可以看出, 季风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。与蚁伟民等^[20]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^[19], 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^[22]。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%。本研究得到的土壤微生物代谢商比电白小良地区得到的土壤微生物代谢商



(0.6~2.7) 低^[23], 说明鼎湖山地区土壤微生物对碳的利用效率较高。

表 3 鼎湖山不同植被类型土壤微生物代谢商

Table 3 Metabolic quotient of soil microbes in different vegetations in Dinghushan

季节 Season	试验地 Plots	土壤微生物生物量 Soil microbial biomass ($\mu\text{g C}_{\text{mic}} \cdot \text{g}^{-1} \text{dry soil}$)	微生物呼吸 Microbial respiration ($\mu\text{g CO}_2\text{-C} \cdot \text{g}^{-1} \text{dry soil} \cdot \text{h}^{-1}$)	代谢商 Metabolic quotient ($\text{mg CO}_2\text{-C} / \text{C} \cdot \text{g}^{-1} \text{C}_{\text{mic}} \cdot \text{h}^{-1}$)
雨季 Rain season	I	877	0.51	0.58
	II	626	0.62	1.00
	III	567	0.74	1.30
旱季 Dry season	I	767	0.46	0.60
	II	549	0.51	0.92
	III	493	0.67	1.35

4 结论

4.1 鼎湖山 3 种主要植被类型土壤呼吸的季节变化与温度的季节变化同步, 而土壤含水量季节变化的相关性不明显。表明土壤呼吸对温度的反应比之对湿度的反应更敏感, 即除土壤极端干旱或水分过饱和等情况外, 土壤含水量在相当大的变幅内都不致于对土壤呼吸造成显著影响。

4.2 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, 即土壤向大气排放的 CO_2 量大。

4.3 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。

References

- [1] Fu S L, Cheng W X and Susfalk R. Rhizosphere respiration varies with plant species and phenology: a greenhouse pot experiment *Plant and Soil*, 2002, **239**: 133~140
- [2] Anderson J O and Domisch K H. Measurement of bacterial and fungal contributions to respiration of selected agricultural and forest soils *Canadian Journal of Microbiology*, 1975, **21**: 314~322
- [3] Macfadyen A. Simple methods for measuring and maintaining the proportion of carbon dioxide in air, for use in ecological studies of soil respiration *Soil Biology and Biochemistry*, 1970, **2**: 9~18
- [4] Neilson J W and Pepper I L. Soil respiration as an index of soil aeration *Soil Science Society of American Journal*, 1990, **54**: 428~432
- [5] Reiners W A. Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests *Ecology*, 1968, **49**: 477~483
- [6] Jenkinson D S, Adams D E and Wild A. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming *Nature*, 1991, **351**: 304~306
- [7] Raich J W and Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relation to vegetation and climates *Tellus*, 1992, **44(B)**: 81~99
- [8] Detwiler R P and Hall C A S. Tropical forest and the global carbon cycle *Science*, 1988, **239**: 42~47
- [9] Fu S L and Cheng W X. Rhizosphere priming effects on the decomposition of soil organic matter in C_4 and C_3 grassland soils *Plant and Soil*, 2002, **238**: 289~294
- [10] Liu S H and Fang J Y. Effect factors of soil respiration and the temperature's effects on soil respiration in the global scale *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17(5)**: 469~476
- [11] Jiang G M and Huang Y X. A study on the measurement of CO_2 emission from the soil simulated *Quercus Liaotungensis* forest sampled from Beijing mountain areas *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17(5)**: 477~482
- [12] Wu Z M, Zeng Q B, Li Y D, et al. A preliminary research on the carbon storage and CO_2 release of the tropical forest soils in Jingfengling, Hainan, China *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21(5)**: 416~423
- [13] Yang J C, Ni P, Zu Y G, et al. The seasonal variation of respiration rate of soil microorganisms related to soil

- temperature and soil moisture on the *Leymus chinensis* grassland in northeast China *Acta Ecologica Sinica*, 1989, **9** (2): 139~ 142
- [14] Huang C C, Ge Y, Chang J, *et al* Studies on the soil respiration of three woody plant communities in the east mid-subtropical zone, China *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3): 324~ 328
- [15] Huang Z F and Fan Z G The climate of Dinghushan *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*, 1982, **1**: 11~ 16
- [16] Wang Z H, He D Q, Song S D, *et al* The vegetation of Dinghushan Biosphere Reserve *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*, 1982, **1**: 77~ 141.
- [17] Jenkinson D S and Powelson D S The effects of biocidal treatment on metabolism in soil V. A method for measure soil microbial biomass, *Soil Biology and Biochemistry*, 1976, **8**: 209~ 213
- [18] Anderson J P E and Domisch K H Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soil *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, **10**: 207~ 213
- [19] Edwards N T. The use of soda-line for measuring respiration rates in terrestrial system. *Pedobiologia*, 1982, **23**: 321~ 330
- [20] Ewel K C and Cropper W P. Soil CO₂ evolution in Florida slash pine plantations II. Importance of root respiration *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, **17**: 330~ 333
- [21] Schlesinger W H. Carbon balance in terrestrial detritus *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1977, **8**: 51~ 81.
- [22] Yi W M, Fu S L, Zhou C Y, *et al* A study on soil microbial biomass in artificial and natural forests *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 141~ 147.
- [23] 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 Biology and Biochemistry*, 1992, **24**: 865~ 872
- [24] Insam H and Haselwandte K. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia*, 1989, **79**: 174~ 178

参考文献

- [10] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响 *生态学报*, 1997, **17**(5): 469~ 476
- [11] 蒋高明, 黄银晓. 北京山区辽东栎林土壤释放 CO₂ 的模拟实验研究 *生态学报*, 1997, **17**(5): 477~ 482
- [12] 吴仲民, 曾庆波, 李意德, 等. 尖峰岭热带森林土壤 C 储量和 CO₂ 排放量的初步研究 *植物生态学报*, 1997, **21** (5): 416~ 423
- [13] 杨靖春, 倪平, 祖元刚, 等. 东北羊草草原土壤微生物呼吸速率的研究 *生态学报*, 1989, **9**(2): 139~ 142
- [14] 黄承才, 葛滢, 常杰, 等. 中亚热带东部三种主要木本群落土壤呼吸的研究 *生态学报*, 1999, **19**(3): 324~ 328
- [15] 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
- [16] 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.
- [22] 蚊伟民, 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.