

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201308024

吴建平, 陈小梅, 褚国伟, 等. 南亚热带森林土壤有机碳组分对模拟酸雨的早期响应[J]. 广西植物, 2015, 35(1): 61–68

Wu JP, Chen XM, Chu GW, et al. Effects of simulated acid rain on soil organic carbon fractions in southern subtropical forests[J]. *Guihaia*, 2015, 35(1): 61–68

## 南亚热带森林土壤有机碳组分对模拟酸雨的早期响应

吴建平<sup>1,2</sup>, 陈小梅<sup>1,2</sup>, 褚国伟<sup>1</sup>, 熊鑫<sup>1,2</sup>, 周国逸<sup>1</sup>, 张德强<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100039)

**摘要:** 应用人工模拟酸雨控制实验, 探讨鼎湖山国家级自然保护区三种南亚热带主要植被类型(季风常绿阔叶林、针阔叶混交林和马尾松林)的土壤有机碳组分, 包括土壤总有机碳(TOC)、土壤易氧化有机碳(ROC)、土壤不易氧化有机碳(NROC), 在不同模拟酸雨处理梯度: 对照 CK(pH4.5 的天然湖水)、pH4.0、pH3.5、pH3.0 处理下的响应特征。结果表明: 上层土壤(0~20 cm)易氧化有机碳、不易氧化有机碳和总有机碳含量与森林类型密切相关, 大小顺序均表现为混交林>阔叶林>马尾松林。经 25 个月模拟酸雨处理, 鼎湖山森林土壤酸化有加重的趋势; CK、pH4.0、pH3.5、pH3.0 四个处理下土壤上层剖面易氧化有机碳含量分别为阔叶林(7.14、8.29、8.74、9.84 g·kg<sup>-1</sup>)、混交林(8.58、8.53、10.28、10.36 g·kg<sup>-1</sup>)和马尾松林(3.90、4.49、4.74、5.48 g·kg<sup>-1</sup>), 三个林型土壤易氧化有机碳含量呈现随模拟酸雨强度增加而升高的趋势; 森林土壤总有机碳和不易氧化有机碳含量变化缓慢, 在各酸梯度处理下差异不显著( $P>0.05$ )。研究结果显示, 长期的酸雨作用使土壤酸化不断加剧, 易氧化有机碳对酸雨的响应更敏感, 但其在酸雨下积累的趋势不利于土壤总有机碳的存埋, 但关于酸雨对土壤总有机碳的影响仍然需要长期的实验监测。

**关键词:** 南亚热带森林; 模拟酸雨; 有机碳组分; 土壤酸化

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)01-0061-07

## Effects of simulated acid rain on soil organic carbon fractions in southern subtropical forests

WU Jian-Ping<sup>1,2</sup>, CHEN Xiao-Mei<sup>1,2</sup>, CHU Guo-Wei<sup>1</sup>,  
XIONG Xin<sup>1,2</sup>, ZHOU Guo-Yi<sup>1</sup>, ZHANG De-Qiang<sup>1\*</sup>

(1. *South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;*

*2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

**Abstract:** Soil carbon cycling is one of the important links in soil ecosystem, while the soil ecosystem is the final acceptor of the acid rain. Thus, the acid rain will have dramatic impacts on the stability of soil organic carbon and even the forest soil carbon cycling. Soil is also the largest carbon pool in terrestrial ecosystem, and stores approximately 1 500 Pg of C in the upper meter of soil. Even a small change of the contents can result in a significant consequence on carbon cycling in forest. The readily oxidation organic carbon (ROC), as one of the liable soil organic carbon fractions, is more sensitive to environmental changes and its turnover rate is faster than other stable soil organic carbon. Consequently, ROC is considered as an early indicator of changes in total soil organic carbon (TOC). However, there have been very few studies on the fractions of soil organic carbon (liable and stable organic carbon) in response to the acid rain at home and abroad, despite the fact that acid rain has recently become a serious environmental threat in this

收稿日期: 2014-02-22 修回日期: 2014-09-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB421101); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050205)。

作者简介: 吴建平(1989-), 男, 广西合浦县人, 硕士研究生, 主要从事森林生态系统生态学研究, (E-mail)jianpingwu@scbg.ac.cn。

\* 通讯作者: 张德强, 研究员, 博士生导师, 主要从事陆地生态系统对全球变化的响应与适应的研究, (E-mail)zhangdeq@scib.ac.cn。

region. In this paper, four gradients of simulated acid rain (SAR) treatments were designed [control (natural lake water, pH4.5±0.3), pH4.0, pH3.5, pH3.0] to investigate the effects of simulated acid rain on soil organic carbon fractions, including total soil organic carbon, readily oxidation organic carbon and non-readily oxidation organic carbon (NROC), in three forests [i.e. a pine forest (PF), a mixed conifer and broadleaf forest (MF) and broadleaved forest (BF)] of Dinghushan Biosphere Reserve in southern China. The acidic solutions were used a mixture of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HNO<sub>3</sub> in a 1 : 1 mole ratio to the natural lake water. Results showed that ROC, NROC and TOC in the topsoil (0–20 cm) varied with types of forest: MF > BF > PF. After 25 months' SAR treatments, the pH values in the forest topsoil reduced gradually with the increase of acidity, and presented a trend toward increasing soil acidification with SAR. This phenomenon was in consistent with results from other researchers at Dinghushan Nature Reserve. Meanwhile, the concentrations of ROC in BF (7.14 g · kg<sup>-1</sup> for CK, 8.29 g · kg<sup>-1</sup> for pH4.0, 8.74 g · kg<sup>-1</sup> for pH 3.5, 9.84 g · kg<sup>-1</sup> for pH3.0), MF (8.58 g · kg<sup>-1</sup> for CK, 8.53 g · kg<sup>-1</sup> for pH4.0, 10.28 g · kg<sup>-1</sup> for 3.5, 10.36 g · kg<sup>-1</sup> for pH3.0) and PF (3.90 g · kg<sup>-1</sup> for CK, 4.49 g · kg<sup>-1</sup> for pH4.0, 4.74 g · kg<sup>-1</sup> for pH3.5, 5.48 g · kg<sup>-1</sup> for pH3.0), which indicated ROC increased gradually with the decrease of treatment pH value in all forests. Meanwhile, the percentage of ROC to total soil organic carbon was also increased. However, due to the relative stability of soil total organic carbon, the concentrations of TOC and NROC were not significantly different among the four treatments in all forests ( $P > 0.05$ ). The results indicated that the ROC was more sensitive to long-term acid rain treatment, and would have negative effects on the accumulation of soil organic carbon. However, more long-term investigations are needed in order to validate the role of acid rain on soil organic carbon storage.

**Key words:** southern subtropical forests; simulated acid rain (SAR); soil organic carbon fractions; soil acidification

近年来由于人类活动导致二氧化硫和氮氧化物的排放量越来越多,酸雨问题已成为全球性的环境问题 (Rodhe *et al.*, 1995; IPCC, 2007)。广东省位于世界三大酸雨区之一的华南酸雨区内 (Wang *et al.*, 2009), 工业化发展速度不断加快, 而因能源消耗排出的大气污染物也日趋增加。据统计, 2011 年广东省全省 SO<sub>2</sub> 排放量达到 84.8 万吨 (广东统计局, 2012), 大量的 SO<sub>2</sub> 等酸性物质的排放使酸雨的频率升高。全省约有 54.5% 的地区受到酸雨的影响, 而重酸雨区面积达到了 22.7% (广东省环境保护厅, 2012)。土壤系统是陆地生态系统的基本组成部分之一, 也是酸雨污染的最终受体。通过长期的酸雨淋溶, 土壤酸化, 最终影响土壤碳的固存。土壤是陆地生态系统中最大的碳库, 其表层碳储量约为 1 500 PgC (Trumbore, 1997), 是大气碳储量的 2 倍 (Schimel, 1995), 是植物碳储量的 2~3 倍 (Batjes, 1996)。土壤含碳量即便是微小的变化也会对生态系统碳平衡的评估产生重大影响。土壤有机碳分为惰性有机碳和活性有机碳。土壤活性有机碳, 包括颗粒有机碳、易氧化有机碳和轻组有机碳等, 指在一定的条件下, 受外部环境的影响强烈, 具有一定溶解性, 在土壤中不稳定, 且易被氧化、分解和矿化, 其形态和空间位置对环境变化敏感的那一部分土壤碳 (Rovira *et al.*, 2010)。Biederbeck *et al.* (1994) 通过研究发现, 土壤有机质的短期波动主要发生在易

被氧化、分解的部分, 并认为易氧化有机碳及微生物量碳可作为土壤活性有机碳的指示因子。其中易氧化有机碳是指能被 333 mmol · L<sup>-1</sup> 的高锰酸钾氧化的有机碳, 这部分碳易受外部环境的影响, 经常被用于指示农业生态系统土壤有机质初期变化的指标 (Datta *et al.*, 2010)。

目前, 国内外关于酸雨如何影响土壤有机碳组分和分布格局方面的研究资料十分有限, 开展模拟酸雨对土壤有机碳组分及其分布格局影响的研究, 有助于加深环境变化背景下土壤有机碳形态及其含量等变化过程的了解, 对生态系统碳循环有重要的意义。本文以鼎湖山南亚热带不同演替阶段森林土壤为研究对象, 运用人工控制实验, 探讨了模拟酸雨背景下三种不同类型森林土壤总有机碳、易氧化有机碳和不易氧化有机碳含量与分布格局, 揭示酸雨对森林土壤碳循环过程的影响, 以期对生态系统碳平衡的研究提供支持。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究地概况

鼎湖山自然保护区 (112°30'39"~112°33'41" E, 23°09'21"~23°11'30" N) 位于华南酸雨区的广东省境内, 东距广州市约 86 km, 属南亚热带季风气候, 季节差异明显, 年均温度 20.9 °C, 最热月为 7

月,平均温度 28.0 °C,最冷月为 1 月,平均温度 12.6 °C。鼎湖山分布着赤红壤、黄壤和山地灌丛草甸土,3 类土壤随海拔梯度垂直分布。赤红壤主要分布在海拔 300 m 以下,主要粘粒矿物为伊利石、高岭石和蛭石,以伊利石为主,表层土壤有机质含量为 4.3%(刘菊秀等,2003c),pH 值为 4.1~4.9,酸性较强,土壤层深度为 30~90 cm。本文所研究的 3 种森林类型林下土壤均为赤红壤。

鼎湖山自然保护区季风常绿阔叶林(简称阔叶林, BF= Monsoon evergreen broadleaved forest), 群落终年常绿,物种丰富,结构复杂,成层现象较为明显,优势树种主要有锥(*Castanopsis chinensis*)、木荷(*Schima superba*)、厚壳桂(*C. chinensis*)、黄果厚壳桂(*Cryptocarya concinna*)等,已有 400 a 林龄,接近地带性顶级群落,是南亚热带森林的典型代表类型;针阔叶混交林(简称混交林, MF= Pine and broadleaved mixed forest),群落优势树种主要有马尾松(*Pinus massoniana*)、锥栗、荷木等,多分布于季风常绿阔叶林的边缘,由人工种植的马尾松群落被先锋阔叶树种入侵后自然演变而成,是马尾松群落向季风常绿阔叶林演替的一个中间过渡类型;马尾松针叶林(简称马尾松林, PF= Pine forest),主要分布于保护区的边缘,土层较浅。林冠层树种主要为马尾松林,还有少量桉树,林龄约为 70 a,林下植物包括草本、藤本、灌木和蕨类,该森林群落处在南亚热带森林群落演替的初期阶段。

## 1.2 研究方法

1.2.1 野外试验设计 在上述三个林型分别设置 12 个 10 m×10 m 的样方(3 个林地总共 36 个样方),每个样方之间预留 5 m 宽的缓冲带,样方四周用 PVC 板材围起,PVC 板材插入地表 15 cm,地上部分高出地表 5 cm。根据鼎湖地区近年酸雨的酸度和主要成分比例以及变化趋势,以  $H_2SO_4 : HNO_3 = 1 : 1$  的溶液与当地的天然湖水混合作为模拟酸雨实验材料,以 pH 值为衡量单位,设计模拟酸雨 pH 值分别为 3.0、3.5、4.0 和对照组(CK,pH 值 4.5 左右的天然湖水)4 个处理,每个处理设 3 个重复。2009 年 6 月开始进行模拟酸雨处理,每月月初和月中将配置好的模拟酸雨人工均匀地喷洒在林地土壤上,每个样方每次喷淋量为 40 L,对照样方则喷淋同样量的天然湖水(梁国华等,2014;Liang *et al.*, 2013;Mo *et al.*,2006)。

1.2.2 样品采集 2009 年 12 月和 2011 年的 6 月分

别在三个林型的每个酸雨样地内随机选取 5~7 个点,去除土面上方的枯枝落叶,用内径 2.5 cm 的土钻分别取 0~10 cm 和 10~20 cm 两个层次的土壤样品,每个样方每个层次共取 5~7 钻土壤,分层混合后装入布袋用标签做好标记带回实验室处理,每次共取样 72 个。去除样品中可见的根系等动植物残体和石块,过 2 mm 筛,自然风干后备测。

1.2.3 样品分析 土壤 pH 值用水土比 2.5 : 1 电位法测定;总有机碳用浓硫酸重铬酸钾氧化加热法测定;易氧化有机碳为能被 333 mmol·L<sup>-1</sup>高锰酸钾氧化的有机碳,具体方法如下:取过 100 目筛,含 15~30 mg 有机碳的风干土样 1 g,装入 100 mL 离心管,加入 333 mmol·L<sup>-1</sup>的高锰酸钾溶液 25 mL,密封管口,空白和土壤样品一样,以 250 r·min<sup>-1</sup>振荡 1 h。振荡后的样品以 2 500 r·min<sup>-1</sup>离心 5 min,用移液枪吸取上清液移到容量瓶中,用去离子水按 1 : 250 稀释,在 565 nm 的分光光度计上比色。同时配制标准系列浓度的  $KMnO_4$  溶液,在同样条件下进行比色。根据标准曲线可得到  $KMnO_4$  浓度,进而求得高锰酸钾的消耗量,根据消耗量计算出土壤样品易氧化有机碳含量。不易氧化有机碳的含量即为土壤总有机碳扣除易氧化有机碳含量(Blair *et al.*,1995)。

## 1.3 数据处理

所有数据均利用 SPSS 13.0 统计分析软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),用最小显著性差异法(LSD)比较不同处理间的差异处理,用 Excel 2003 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同酸梯度处理下土壤 pH 值的变化

土壤 pH 值是表征土壤性质的一个重要参数之一。从图 1 可以看出,鼎湖山三种森林 CK 样方上层土壤(表层 0~10 cm,次表层 10~20 cm)pH 值介于 3.81~4.2 之间,属于强酸性土壤,大小顺序为阔叶林<混交林<马尾松林,且表层(0~10 cm)显著低于次表层(10~20 cm)。土壤 pH 值对模拟酸雨的响应因林型、土层和处理时间而异,2009 年 12 月(模拟酸雨 7 个月后),三个林型土壤 pH 值在不同处理间均无显著差异,而在 2011 年 6 月(模拟酸雨 25 个月后),阔叶林表层土壤 pH 值在 4.0、3.5 和 3.0 三个处理下,相比于 CK 的 3.89±0.02 分别下降

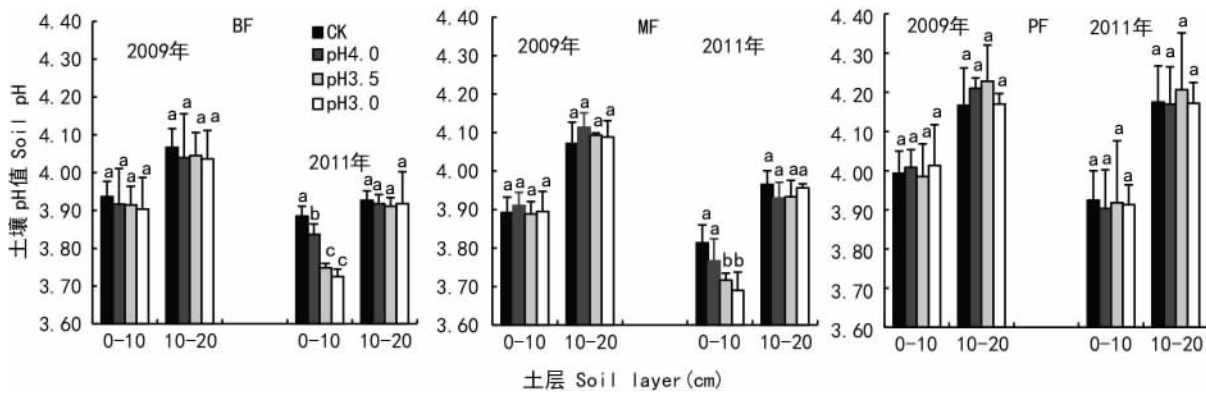


图1 不同酸梯度处理下土壤 pH 值的变化 不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P=0.05$ )。下同。

Fig. 1 Dynamics of soil pH values under different acid treatments (mean  $\pm$  SD)

Small letters mean significant differences ( $P=0.05$ ). The same below.

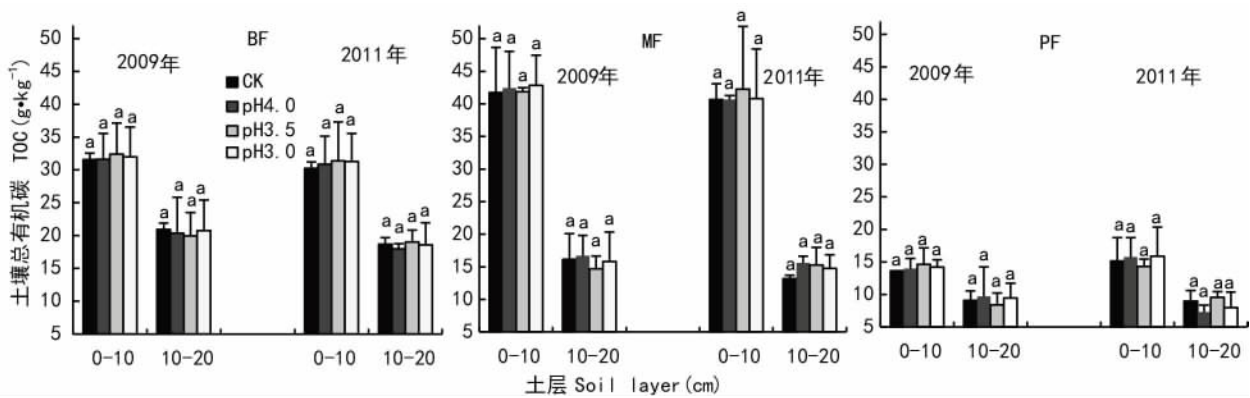


图2 不同酸梯度处理下森林土壤总有机碳的变化

Fig. 2 Dynamics of soil total organic carbon (TOC) under different acid treatments (mean  $\pm$  SD)

了 0.05、0.14 和 0.16；混交林三个处理相比于 CK 的  $3.81 \pm 0.05$  分别下降了 0.05、0.10 和 0.12。阔叶林和混交林表层土壤 pH 值随着酸处理 pH 值下降而呈降低的趋势，但阔叶林和混交林次层土壤与松林的两层土壤在不同处理间均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。这表明模拟酸雨使阔叶林和混交林的表层土壤酸化加剧，且这种下降效应会随着模拟酸雨处理的时间延长而逐渐增加。

## 2.2 不同酸梯度处理下土壤总有机碳含量的变化

图 2 显示，鼎湖山三种森林上层土壤 (0~10 cm、10~20 cm) 总有机碳含量随土层深度增加而减少。2009 年 12 月 (7 个月模拟酸雨处理)，在 CK、pH4.0、pH3.5 和 pH3.0 四个处理下，三种林型上层土壤 (0~10 cm+10~20 cm) 总有机碳含量分别为阔叶林 (26.23、25.99、26.18、26.36  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、混交林 (28.95、29.57、28.28、29.32  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和马尾松林 (11.34、11.84、11.52、11.82  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )；2011 年 6 月

(25 个月模拟酸雨处理)，总有机碳含量分别为阔叶林 (24.44、24.42、25.19、24.93  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、混交林 (26.93、28.14、28.76、27.78  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和马尾松林 (12.04、11.53、11.91、11.92  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )。经 7 个月和 25 个月的模拟酸雨处理后，相同林型同一层次的土壤总有机碳含量在不同酸雨处理间均无统计学上的差异 ( $P > 0.05$ )。显然，短期的酸雨处理对三种森林土壤总有机碳含量并无显著影响。

## 2.3 不同酸梯度处理下土壤易氧化有机碳的变化

图 3 显示，鼎湖山三种森林土壤上层剖面 (0~20 cm) 的易氧化有机碳含量均随剖面深度的增加而减少。经过 7 个月的模拟酸雨处理后，四个不同酸梯度处理间的土壤易氧化有机碳含量在各林型不同土层中均无统计学上的差异 ( $P > 0.05$ )，但从总体上看，2011 年 6 月 (模拟酸雨处理 25 个月后)，CK、pH4.0、pH3.5、pH3.0 四个处理下上层土壤 (0~10 cm、10~20 cm) 易氧化有机碳含量分别为阔

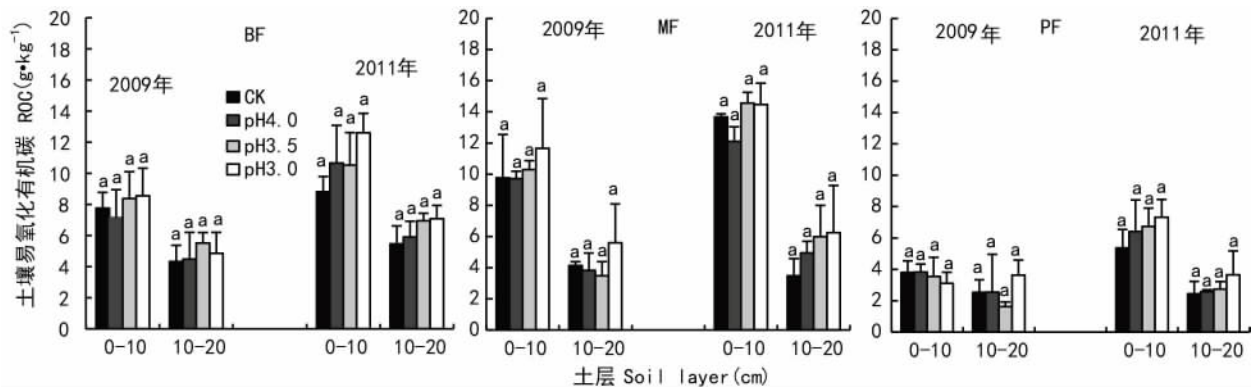


图 3 不同酸梯度处理下森林土壤易氧化有机碳的变化

Fig. 3 Dynamics of soil readily oxidation organic carbon (ROC) under different acid treatments (mean±SD)

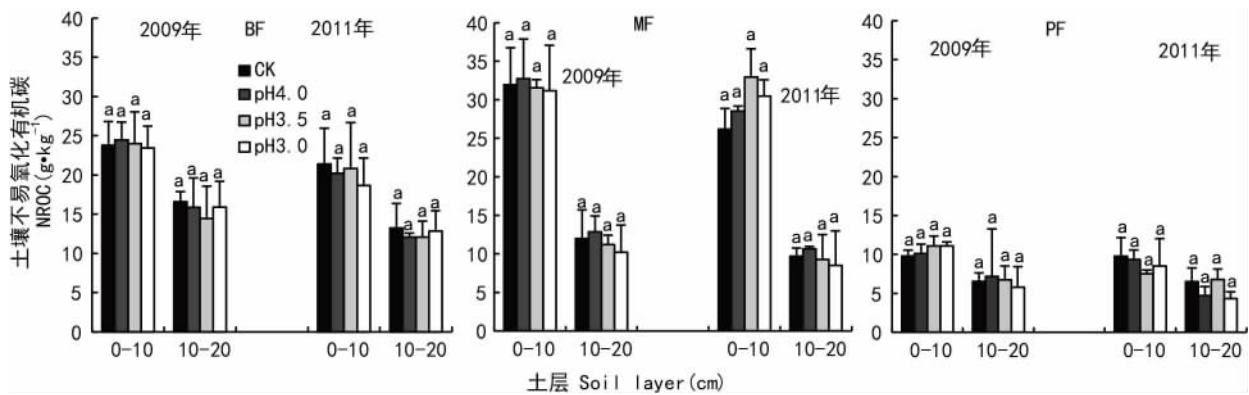


图 4 不同酸梯度处理下森林土壤不易氧化有机碳的变化

Fig. 4 Dynamics of soil non-readily oxidation organic carbon (NROC) under different acid treatments (mean±SD)

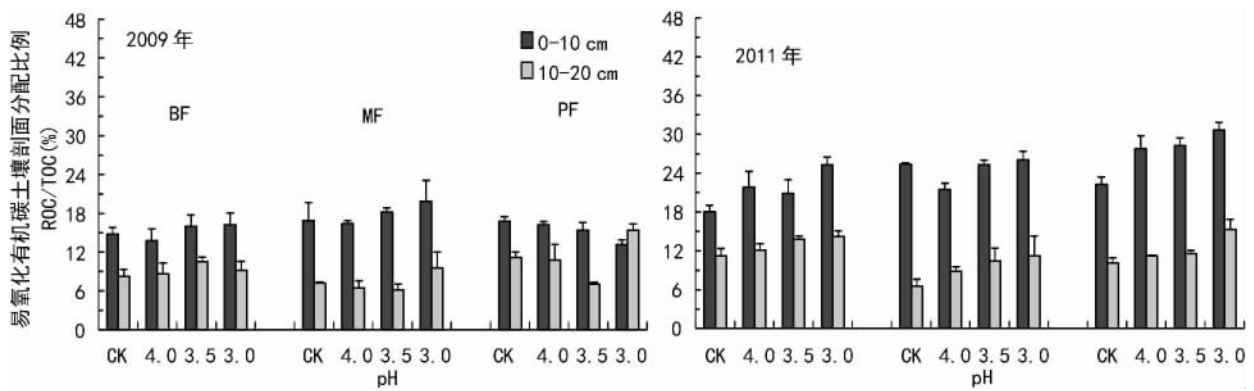


图 5 不同酸梯度处理下三种森林土壤易氧化有机碳占总有机碳的比例

Fig. 5 Change of the percent of soil organic carbon fraction under different acid treatments (%)

叶林(7.14、8.29、8.74、9.84  $g \cdot kg^{-1}$ )、混交林(8.58、8.53、10.28、10.36  $g \cdot kg^{-1}$ )和马尾松林(3.90、4.49、4.74、5.48  $g \cdot kg^{-1}$ ),三种林型土壤中的易氧化有机碳含量均呈随酸强度增加而升高的趋势。从图 5 可

看出,经过 25 个月的酸沉降处理,易氧化有机碳占总有机碳的百分比也随酸强度的升高而呈上升的趋势。这表明土壤易氧化有机碳在模拟酸雨的背景下有累积趋势,尤其在表层土壤,这种累积的趋势可能

也会随模拟酸雨处理时间的延长而逐渐显著。

#### 2.4 不同酸梯度处理下土壤不易氧化有机碳的变化

图 4 显示,三种森林类型土壤上层剖面(0~20 cm)中的不易氧化有机碳含量随土层深度增加而降低。经过 7 个月和 25 个月的模拟酸沉降处理后,四种酸梯度处理间的土壤不易氧化有机碳含量在各林型中并无统计学上的差异( $P > 0.05$ ),这可能是因为实验的时间还较短,差异性并没有表现出来。这表明短期的酸雨处理对三种森林土壤不易氧化有机碳含量并无显著的影响。

### 3 讨论

#### 3.1 酸雨对土壤 pH 值的影响

土壤 pH 值是表征土壤酸化强弱的直观度量,降水酸度的高低将影响到森林土壤的 pH 值大小(王代长等,2004)。长期酸雨将导致土壤 pH 值下降(McFee *et al.*, 1977);Serguei *et al.*(2001)通过研究模型和田间数据发现,俄罗斯最北部森林土壤 pH 值在强酸性降雨的影响下有下降的趋势。廖柏寒等(1991)研究发现淋出液 pH 存在着下降的趋势;酸雨的 pH 值是决定土壤酸化的主要因素(廖柏寒等,2002);张明等(2010)研究发现,酸雨影响下近三十年泰山的土壤酸化过程明显。本研究中,鼎湖山三种森林 CK 样方土壤上层(0~10 cm, 10~20 cm)的 pH 值介于 3.81~4.2 之间,属强酸性土壤,顺序为阔叶林<混交林<马尾松林,且都是表层最低,随深度增加而升高,这与刘菊秀等(2001, 2003a)的研究结果一致,表明鼎湖山土壤有继续酸化的可能。阔叶林和混交林分别作为演替的顶级和过渡群落,具有较高的生物量,林冠郁闭度高,林下微环境相对稳定,凋落物分解速率更高,产生更多的有机酸,土壤 pH 值相对较低。马尾松林作为演替先锋群落,林冠稀疏,生物量较小,林下微环境受外部环境影响大,凋落物分解速率较低,由枯枝落叶分解产生的有机酸较少,因而土壤 pH 值相对阔叶林和混交林较高。由于土壤对酸雨有巨大的缓冲能力,在经模拟酸雨处理 7 个月后,三个林型各层土壤 pH 值在不同处理间均无显著差异,但经模拟酸雨处理 25 个月后,阔叶林和混交林表层土壤 pH 值随酸处理强度增加而显著下降( $P < 0.05$ ),这与刘菊秀等(2003b)和江远清等(2007)的研究结果一致,表明模拟酸雨额外的  $H^+$  输入,加速了土壤酸化进程,且

这种下降效应会随着模拟酸雨处理时间的延长而逐渐显著。

#### 3.2 森林土壤有机碳组分对模拟酸雨的响应

易氧化有机碳是土壤中易被氧化和分解的碳,属于活性有机碳的一种,对周围环境变化较为敏感(Datta *et al.*, 2010)。本研究表明,表层土壤(0~10 cm)的易氧化有机碳含量高于次表层(10~20 cm)。易氧化有机碳主要来源于植物残体,尤其是木质素碎屑(Grandy *et al.*, 2008),而土壤表层作为与其直接接触的部分,易氧化有机碳的含量相对较高,随着土壤深度的增加,凋落物的供给效应不明显,次表层土壤中的含量则相对较低。虽然三个林型各层次中在不同酸梯度处理下的土壤易氧化有机碳含量都无统计学上的显著差异,但从总体来看,2011 年 6 月,即酸处理 25 个月后,除了混交林的 0~10 cm 层,其他林型土壤层中的易氧化有机碳含量均呈随酸强度增加而升高的趋势,且三种林型的增加趋势都表现为 2011 年 6 月比 2009 年 12 月明显,这表明在模拟酸雨的持续作用下,土壤易氧化有机碳含量有增加的趋势。在模拟酸雨的作用下,土壤 pH 值降低,土壤酸化有所加剧,这会降低土壤微生物的活性(Fang *et al.*, 2009),使有机碳的矿化分解速率发生改变。酸雨对土壤微生物的数量和群落组成有一定影响(孟磊等,2010)。Greszta (1992)研究发现纤维素分解及土壤呼吸均受到限制,土壤动物也因酸雨影响而减少。Liang *et al.*(2013)的研究结果也验证了这一点,在鼎湖山过去几年的监测中发现,模拟酸雨引起的土壤酸化使得阔叶林和混交林土壤呼吸显著下降,并伴随着土壤微生物量碳减少。许第发等(2002)研究发现酸雨抑制参与有机碳循环的酶活性,同样也降低了对活性有机碳的分解速率。微生物及相关酶活性的降低将导致微生物对碳源利用率的下降,有利于土壤有机碳的累积。本研究表明,2011 年 6 月(25 个月酸沉降处理)和 2009 年 12 月(7 个月酸沉降处理)相比,土壤易氧化有机碳比例显著增加,表明活性有机碳库占的比例在升高,由于易氧化有机碳对环境变化较为敏感,易于分解氧化,因此在酸雨作用下,易氧化有机碳含量的增加和不易氧化有机碳的减少都使土壤有机碳的稳定性降低,这不利于有机碳的长期累积。然而,由于这三种森林土壤对酸雨引起的土壤酸化有一定的缓冲作用,土壤结构和性质对酸度有一定的耐受限度(刘菊秀等,2003a),虽然易氧化有机碳含量在一定程度上

随酸梯度增加有升高的趋势,但差异未达到统计学上的显著水平。

刘洪杰(1991)的研究表明,酸性淋入液使土壤有机质含量轻微下降,下降的幅度随淋入液的酸度加大而变大。本研究中,三种森林类型土壤各层次中总有机碳含量在各酸度处理下并无显著性差异( $P>0.05$ )。出现这样的情况可能是因为实验的时间较短,酸雨对土壤总有机碳的影响还不显著。本研究还表明,三种森林类型土壤不易氧化有机碳含量在不同酸雨处理下并无显著性的差异。不易氧化有机碳占总有机碳含量的绝大部分,因此和总有机碳一样,短时间内酸雨对其影响并未完全表现出来。故预测酸雨对土壤总有机碳和不易氧化有机碳的影响仍需长期的实验研究与监测。

## 4 结论

鼎湖山森林上层土壤(0~20 cm)易氧化有机碳、不易氧化有机碳和总有机碳等组分含量与森林类型关系密切,在模拟酸雨处理下,森林土壤酸化均有加剧的趋势,并且土壤中易氧化有机碳含量的累积趋势明显,易氧化有机碳占总有机碳百分比在增加,活性有机碳库的积累对土壤总有机碳的稳定性有一定的影响,不利于土壤有机碳的长期存埋。相对于土壤总有机碳缓慢的变化过程,利用易氧化有机碳对环境变化响应的敏感性,可以在相对短的时间内揭示土壤有机碳的变化过程对环境变化的响应规律,从而对全球变化背景下森林土壤碳循环过程作出更为科学的评估。

### 参考文献:

Batjes NH. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world[J]. *Euro J Soil Sci*, **47**(2):151-163

Biederbeck BO, Zentner RP. 1994. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment[J]. *Soil Biol Biochem*, **26**(12):1 647-1 656

Blair BJ, Lefroy RDB. 1995. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the developments of a carbon management index for agricultural systems[J]. *Aust J Agric Res*, **46**(7):1 456-1 466

Datta SP, Rattan RK, Chandra S. 2010. Labile soil organic carbon, soil fertility, and crop productivity as influenced by manure and mineral fertilizers in the tropics[J]. *J Plant Nut Soil Sc*, **173**(5):715-726

Department of Environmental Protection of Guangdong Province (广东省环境保护厅). 2012. Environment Quality Bulletin of Guangdong Province in the first half of 2012(2012年上半年广

东省环境质量状况公报)[M]. Guangzhou(广州): Department of Environmental Protection of Guangdong Province(广东省环境保护厅)

Fang HJ, Yu GR, Cheng SL, et al. 2009.  $^{13}\text{C}$  abundance, water-soluble and microbial biomass carbon as potential indicators of soil organic carbon dynamics in subtropical forests at different successional stages and subject to different nitrogen loads[J]. *Plant Soil*, **320**(1-2):243-254

Grandy AS, Sinsabaugh RL, Neff JC, et al. 2008. Nitrogen deposition effects on soil organic matter chemistry are linked to variation in enzymes, ecosystems and size fractions[J]. *Biogeochemistry*, **91**(1):37-49

Greszta J. 1992. Humus degradation under the influence of simulated acid rain[J]. *Water Air Soil Poll*, **63**(1-2):51-66

IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers[M]. New York: Cambridge University Press

Jiang YQ(江远清), Mo JM(莫江明), Fang YT(方运霆), et al. 2007. Concentrations of exchangeable cations of soil and their seasonal dynamics in three representative forests of Dinghushan Biosphere Reserve(鼎湖山主要森林类型土壤交换性阳离子含量及其季节动态特征)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(1):106-113

Liang GH, Liu XZ, Chen XM, et al. 2013. Response of soil respiration to acid rain in forest of different maturity in southern China[J]. *PLoS ONE*, **8**(4):62 207

Liang GH(梁国华), Li RH(李荣华), Qiu QY(丘清燕), et al. 2014. Response of leaf litter decomposition of two dominant trees to simulated acid rain in southern China(南亚热带两种优势树种叶凋落物分解对模拟酸雨的响应)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **34**(20):5 728-2 735

Liao BH(廖柏寒), Dai ZH(戴昭华). 1991. Soil buffering capacity to acid precipitation and weathering characteristics of soil minerals(土壤对酸沉降的缓冲能力与土壤矿物的风化特征)[J]. *Acta Sci Circ*(环境科学学报), **11**(4):425-431

Liao BH(廖柏寒), Jiang Q(蒋青). 2002. Acid Deposition and acidification of forest soils in southern China(酸沉降与我国南方森林土壤的酸化)[J]. *Agro-environ Prot*(农业环境保护), **21**(2):110-114

Liu HJ(刘洪杰). 1991. Influence of acidic leaching upon the contents of organic matter and clay particle in soil(酸性淋洗对土壤有机质和粘粒含量的影响)[J]. *Chin J Environ Sci*(环境科学), **12**(2):42-44

Liu JX(刘菊秀), Yu QF(余清发), Chu GW(褚国伟), et al. 2001. The dynamic change of soil pH value in major forests in Dinghushan(鼎湖山主要森林类型土壤 pH 值动态变化)[J]. *Soil Environ Sci*(土壤与环境), **10**(1):39-41

Liu JX(刘菊秀), Zhang DQ(张德强), Zhou GY(周国逸), et al. 2003a. A preliminary study on the chemical properties of precipitation, through fall, stem flow and surface run-off in major forest types at Dinghushan under acid deposition(鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(8):1 223-1 228

Liu JX(刘菊秀), Zhou GY(周国逸), Zhang DQ(张德强), et al. 2003b. The cumulative effects of acid rain on the soil and responses of *Schimasuperb* at Dinghushan(酸雨危害对鼎湖山土壤化学的累积效应及荷木某些生理过程的反应)[J]. *Chin Environ Sci*(中国环境科学), **23**(1):90-94

- Liu JX(刘菊秀), Zhou GY(周国逸), Chu GW(褚国伟), *et al.* 2003c. Effects of soil acidity on the soil nutrients under Dinghus-han monsoon evergreen broad-leaved forest(鼎湖山季风常绿阔叶林土壤酸度对土壤养分的影响)[J]. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, **40**(5):763-767
- Meng L(孟磊), Zhang JE(章家恩), Xu HQ(徐华勤), *et al.* 2010. Impacts of simulated acid rain on community composition and diversity of small and medium-sized animals in lateritic red soil in Guangdong Province(模拟酸雨对广东赤红壤的中小型动物群落组成及多样性的影响)[J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, **29**(11):204-209
- Rodhe H, Grennfelt P, Wisniewski J, *et al.* 1995. Acid reign'95-conference summary statement[J]. *Water Air Soil Poll*, **85**(1):1-14
- Rovira P, Jorba M, Joan R. 2010. Active and passive organic matter fractions in mediterranean forest soils[J]. *Biol Fertil Soils*, **46**(4):355-369
- Schimel DS. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle[J]. *Glob Chang Biol*, **1**(1):77-91
- Serguei V, Koptsik, Galina N, *et al.* 2001. Effects of acid deposition on forest soils in northernmost Russia: modelled and field data [J]. *Water Air Soil Poll*. **130**(1-4):1227-1282
- Statistics Bureau of Guangdong Province(广东省统计局), Guangdong Survey Office of NBS(国家统计局广东调查总队). 2012. Guangdong Statistical Yearbook(广东统计年鉴 2012)[M]. Beijing(北京):China Statistics Press(中国统计出版社)
- Trumbore SE. 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change[J]. *PNAS*, **94**(16):8284-8291
- VAN BN. 1984. Acidic deposition and internal proton in acidification of soils and water[J]. *Nature*, **367**:599
- Wang DC(王代长), Jiang X(蒋新), He JZ(贺纪正), *et al.* 2004. Influence of simulated acid rain on transferring of cations in soils(模拟酸雨对阳离子在土体内迁移的影响)[J]. *Geochimica(地球化学)*, 2004, **33**(1):46-51
- Wang WX, Xu PJ. 2009. Research progress in precipitation chemistry in China. *Progress in Chemistry*, **21**(2-3):266-281
- McFee WW, JM Kelly, RH Beck. 1977. Acid precipitation effects on soil pH and base saturation of exchange sites[J]. *Water Air Soil Poll*. **3**:725-735
- Xu DF(许第发), Zhong TX(钟天祥), Xu DM(徐冬梅), *et al.* 2002. Effects of Acid Deposition on soil Geochemical Cycles(酸沉降对土壤地球化学过程的影响)[J]. *Geol Geochem(地质地球化学)*, **30**(4):68-74
- Zhang M(张明), Li XM(李晓明). 2010. Impact of acid deposition on the soil acidification of Mt. Taishan(酸沉降对泰山土壤酸化的影响)[J]. *J Shandong Univ: Nat Sci Ed(山东大学学报·理学版)*, **45**(1):36-40

## 《广西植物》被美国史蒂芬斯数据库(EBSCOhost)全文收录

接美国 EBSCO 文献库通知,《广西植物》通过 EBSCO 业务部门的遴选和评审,被全文收录于美国 EBSCO 大型文献库系统,并将在短时间内通过这一系统发行至世界各国。

这是《广西植物》继被美国《化学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》、美国《乌利希期刊指南》、美国《剑桥科学文摘》等 11 家国际著名数据库收录之后,再一次被国际著名检索系统收录,标志着我所主办的期刊学术质量和影响力再次得到显著提升。

附:

美国 EBSCO 文献库创建于 1943 年,是一个拥有近 70 年历史的大型文献服务专业公司。EBSCO 于全球最早推出全文在线数据库检索系统,是目前世界上最大的全文数据库。其总部设在美国,在 19 个国家设有分部。EBSCO 于 1986 年开始发展电子信息产品,1994 年在 Internet 上提供在线服务,可以提供 100 多种原文与二次文献的数据库,涉及自然科学、社会科学、人文和艺术等多种学术领域。

EBSCOhost 是 EBSCO 公司的一个检索服务系统,可提供多个数据库资源的检索服务,索引、文摘覆盖欧美等国的 3700 余个出版社,其中“商业资源数据库”和“学术研究数据库”是两个最重要的全文数据库资源。学术研究数据库(Academic Search Premier, ASP)收录期刊 7699 种,其中提供全文的期刊有 4700 种,被 SCI 和 SSCI 收录的核心期刊为 993 种(全文有 350 种);主要报道社会科学、人文学科、教育、计算机科学、工程学、物理学、化学、语言学、艺术和文学、医学、种族研究等方面的学术期刊的全文、索引和文摘,部分全文可回溯到 1975 年。