

# 桂林岩溶表层带土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数时空变化规律及其意义

吴夏<sup>1</sup>, 朱晓燕<sup>1</sup>, 张美良<sup>1</sup>, 李涛<sup>1</sup>, 白晓<sup>2</sup>

1. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 广西区域地质调查研究院, 广西 桂林 541004

**摘要:** 通过 2010—2011 年的监测建立了桂林盘龙洞坡地和洼地不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的季节性变化。监测土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数空间上变化为: 坡地 80 cm>50 cm>30 cm; 洼地 80 cm>100 cm>50 cm>30 cm。监测土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数时间上变化为 2010 年 7 月和 2011 年 6 月末 CO<sub>2</sub> 体积分数达到最高值, 2010 到 2011 年冬季为土壤 CO<sub>2</sub> 达到最低值。由于受到大气降水量急剧减少的影响 2011 年土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数整体比 2010 年低。显示大气降水量也是影响土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的环境因素。为我国固碳减排科学的选择时间和空间提供有力的依据。

**关键词:** 时空变化; 土壤 CO<sub>2</sub>; 表层岩溶带; 盘龙洞

**中图分类号:** S152.6

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2012) 05-0834-06

随着全球环境的改变导致极端气候的出现频率日益增加。全球环境变化已经成为国内外学者研究热点和重点之一。在日益严峻的环境问题中碳循环和温室气体问题最为突出。CO<sub>2</sub> 作为温室气体 (O<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>) 中控制大气温度的最主要因素<sup>[1]</sup> 已经成为主要的研究对象<sup>[2-3]</sup>。随着大气中 CO<sub>2</sub> 体积分数从 1750 年的 280×10<sup>-6</sup> 逐渐上升到 2005 年的 380×10<sup>-6</sup><sup>[4]</sup>, 使得大气中 CO<sub>2</sub> 最主要来源之一的土壤碳库成为研究的核心问题<sup>[5-6]</sup>。土壤 CO<sub>2</sub> 是大气 CO<sub>2</sub> 的主要来源<sup>[7]</sup>, 并且在全球碳循环中是一个巨大的碳库(11 394×10<sup>18</sup> g)。在全球碳库中土壤碳库约是大气碳库的 2 倍, 陆地生物质碳库的 2 倍到 4 倍<sup>[8]</sup>。土壤 CO<sub>2</sub> 主要是植物根系、土壤微生物、土壤动物等呼吸排放的共同产物<sup>[9]</sup>。因此土壤理化性质、土壤微生物、大气环境和地表植被等因素共同影响着土壤 CO<sub>2</sub> 的体积分数。土壤作为陆地生态系统的生物循环和地球生物化学循环过程中的重要介质, 十分容易受到外界环境和人类活动的影响。

因此土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的变化对大气 CO<sub>2</sub> 体积分数的增加或减少都存在着重要的作用。由于土壤中 CO<sub>2</sub> 的主要受到了大气温度、大气降水量和土壤含水率等多种环境因素的影响。并且土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的时间和空间上的变化存在的明显的差异, 可以通过对不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的长期监测来揭示其变化规律。介于现阶段对于岩溶区域不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数变化长期监测的研究尚少。根据我国在世界范围内是岩溶地区分布最为广泛、面积最大、并且类型最多的国家, 岩溶面积达到 344

万 km<sup>2</sup>, 占国土面积的 1/3 的特点<sup>[10]</sup>。本次研究选择喀斯特分布最为典型的桂林地区作为研究对象, 对比坡地和洼地不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数的变化进行长期监测。通过结合前人 2010 年对桂林盘龙洞土壤 CO<sub>2</sub> 释放和不同深度 CO<sub>2</sub> 体积分数变化的取得了一定的研究成果<sup>[11-12]</sup>, 来继续分析和总结 2010—2011 年两年的土壤监测数据来分析外界环境对土壤 CO<sub>2</sub> 的影响和季节性变化规律。本次研究的主旨在喀斯特分布最为典型的桂林地区来分析和探讨土壤 CO<sub>2</sub> 的变化规律为碳循环提供基础数据和科学依据。为我国现阶段固碳减排提供科学的依据。

## 1 研究区域概况

本次所研究的桂林盘龙洞位于桂林南部 38 km 处的报安村的岩溶峰丛洼地区, 处于亚热带湿润地区。该地区大气降水主要受到西南夏季风的影响。桂林年平均降水总量为 1 868 mm, 年蒸发量 1 268 mm, 年均相对湿度 76%, 日照 1 285 h, 年均气温 19.5 °C。盘龙洞发育在上泥盆统融县组(D<sub>3r</sub>)厚层状亮晶砂屑灰岩中, 属中层洞。该洞穴年平均气温 19.5 °C, 相对湿度约为 90%~98%<sup>[13]</sup>。盘龙洞洞顶覆盖层厚 60~150 m, 洞穴内有发育有丰富的洞穴次生化学沉积物, 和许多现代滴水 and 现代碳酸盐在沉积。盘龙洞所处地理位置如图 1 所示。本次研究从 2010 年 1 月到 2011 年 12 月以 15 d 为周期对盘龙洞附近不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 进行现场检测, 并且于此同时采集坡地和洼地 0~5 cm 和 10~20 cm 处土壤, 带回实验室测试其含水率。2010 年到 2011 年全年

**基金项目:** 中国地质科学院岩溶重点开放实验室专项资金项目(2010-sys-14); 国家自然科学基金项目(40772216); 广西青年科学基金项目(桂科青 0640076); 科技部所控项目(200903); 中国地质调查项目(水[2010]矿评 03-06-02); 中国地质科学院岩溶地质研究所基金项目(2012006)

**作者简介:** 吴夏(1984 年), 男, 助理研究员, 主要从事同位素地球化学。E-mail: wuxia@karst.edu.cn

**收稿日期:** 2012-04-03

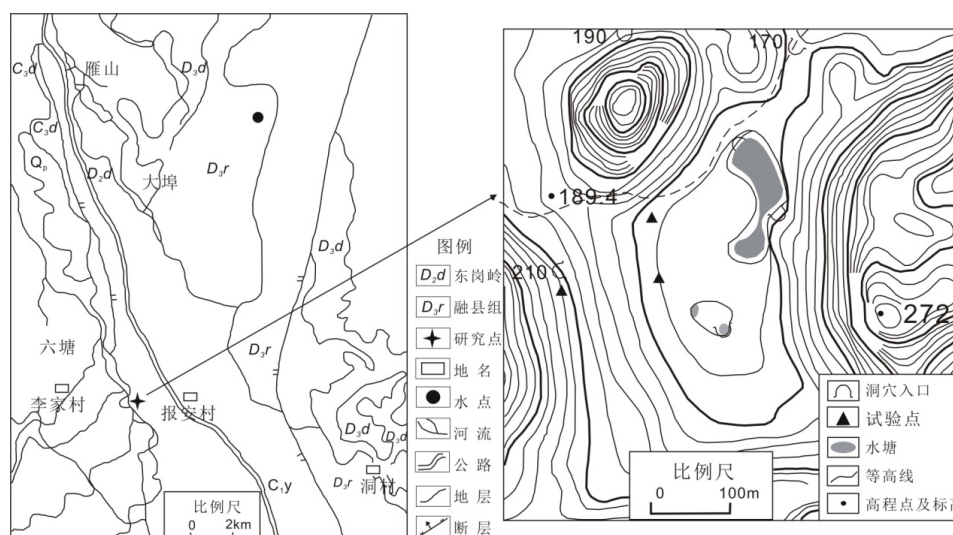


图 1 研究点位置示意图及地形图

Fig. 1 The location of the study site and the topographic map

共采集坡地土壤样品 88 个。盘龙洞地表覆盖植被主要为灌木丛，其优势种主要为欆木 *Loropetalum chinense*、黄荆 *Vitex negundo* 和龙须藤 *Bayhnia championii*<sup>[12]</sup>。

## 2 研究方法

野外原位监测不同深度 CO<sub>2</sub> 的装置根据国内已有报道<sup>[14]</sup>自制。该装置的简易图如图 2 所示。将 L 型采集装置的 PVC 管分别埋设在土壤深度为 30、50 和 80 cm 处的坡地；土壤深度为 30、50、80 和 100 cm 处的洼地。水平管为土壤气体收集管，其管壁上有与土壤接触的通气孔；竖管为导气管，导气管顶端衍生至地表，其上导气管末端用橡皮塞和玻璃棒密封来防止土壤气体与大气的交换。CO<sub>2</sub> 检测装置主要采用日本 Gestec 公司（光明理化学工业株式会社产）生产的手动真空泵及其配套 0.1%~2.6% 检测范围的 CO<sub>2</sub> 测试管（最低检测 CO<sub>2</sub>

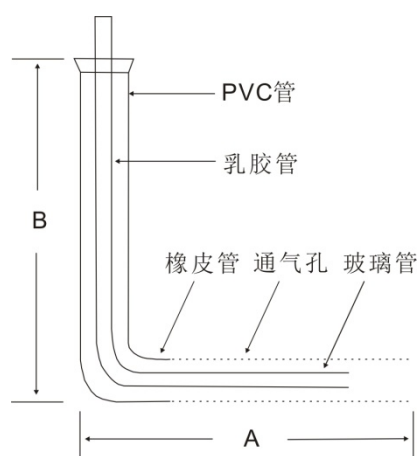
体积分数为  $100 \times 10^{-6}$ ）进行现场测定。土壤含水率样品采集装于密封袋中，避免由于高温光照引起水分蒸发。带回实验室用赛多利斯的万分之一的取 3 份野外采集的土壤样品，在烘箱 105 °C 干燥 8 h 后再次称量其质量<sup>[15]</sup>。土壤含水率的计算公式如下所示：土壤含水率 (%) = (采集土壤质量—干燥后土壤质量) / 采集土壤质量 × 100%

2010 年到 2011 年桂林盘龙洞坡地和洼地不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数检测结果如表 1 所示。

## 3 结果与讨论

### 3.1 土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数时间的上变化规律

2010 年到 2011 年坡地和洼地土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数变化如图 3 所示。2010 年和 2011 年的土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数都显示了明显的季节性变化规律。总体上表现为伴随着温度的逐渐上升和大气降水量逐渐增大，冬季的相对较低坡地和洼地土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数开始逐渐上升，到夏季（6-8 月）土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数到达峰值。两年冬季坡地和洼地的土壤中 CO<sub>2</sub> 体积分数基本维持在  $0.2 \times 10^{-2}$  左右波动。2010 年的夏季坡地和洼地的土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数高值主要分布在 7 月中旬，此时洼地和坡地土壤中 CO<sub>2</sub> 体积分数均到达最高值。2011 年夏季坡地和洼地的土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数峰值主要分布在 6 月中旬，此时土壤洼地和坡地土壤中 CO<sub>2</sub> 体积分数也均到达最高值。两年土壤 CO<sub>2</sub> 峰值时间上的分布差异主要由于大气降水量在时间上分布的不同所引起。由图 4 所示 2010 大气降水主要是分布 6 月份，7 月份土壤中 CO<sub>2</sub> 就逐渐上升为本年最高。而 2011 年大气降水主要是分布在 5 月份，6 月份土壤中 CO<sub>2</sub> 就逐渐上升为本年最高。虽然 2011 年 6 月份土壤 CO<sub>2</sub> 为本年最高，但是相对 2010 年土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数下降了



A:水平插入土层部分 B:引至地面部分

 图 2 CO<sub>2</sub> 收集装置示意图

 Fig. 2 Map of the soil CO<sub>2</sub> collecting device

表1 2010–2011年不同深度坡地和洼地土壤CO<sub>2</sub>监测数据Table 1 Different depth of soil slope and depression of CO<sub>2</sub> monitoring data from 2010 to 2011

| 监测日期       | 洼地土壤 $\varphi(\text{CO}_2)/10^{-2}$ |       |       |        | 坡地土壤 $\varphi(\text{CO}_2)/10^{-2}$ |       |       |  |
|------------|-------------------------------------|-------|-------|--------|-------------------------------------|-------|-------|--|
|            | 30 cm                               | 50 cm | 80 cm | 100 cm | 30 cm                               | 50 cm | 80 cm |  |
| 2010-1-15  | 0.45                                | 0.35  | 0.46  | 0.45   | 0.4                                 | 0.5   | 0.42  |  |
| 2010-1-30  | 0.3                                 | 0.38  | 0.44  | 0.48   | 0.42                                | 0.54  | 0.44  |  |
| 2010-2-28  | 0.48                                | 0.66  | 0.86  | 1.04   | 0.45                                | 0.55  | 0.7   |  |
| 2010-3-15  | 0.36                                | 0.64  | 0.66  | 0.78   | 0.39                                | 0.56  | 0.65  |  |
| 2010-3-30  | 0.44                                | 0.6   | 0.8   | 0.84   | 0.36                                | 0.52  | 0.6   |  |
| 2010-4-15  | 0.6                                 | 0.88  | 0.88  | 0.97   | 0.41                                | 0.64  | 0.78  |  |
| 2010-4-30  | 0.82                                | 1.14  | 1.28  | 1.2    | 0.6                                 | 0.84  | 0.82  |  |
| 2010-5-15  | 1.14                                | 1.18  | 1.22  | 1.36   | 0.7                                 | 0.98  | 0.92  |  |
| 2010-5-30  | 1.58                                | 1.76  | 1.76  | 1.6    | 1.16                                | 1.48  | 1.4   |  |
| 2010-6-15  | 1.76                                | 2.04  | 2.2   | 1.8    | 1.2                                 | 1.66  | 1.54  |  |
| 2010-6-30  | 2.08                                | 2.5   | 2.6   | 1.96   | 1.68                                | 2.08  | 1.94  |  |
| 2010-7-15  | 3.08                                | 3.48  | 3.6   | 3.36   | 1.44                                | 2.04  | 1.92  |  |
| 2010-7-31  | 1.88                                | 2.32  | 2.8   | 2.8    | 0.96                                | 1.6   | 1.4   |  |
| 2010-8-15  | 1.56                                | 2.16  | 2.92  | 2.54   | 0.8                                 | 1.12  | 1.28  |  |
| 2010-8-31  | 1.34                                | 1.72  | 2.28  | 2.12   | 0.6                                 | 0.92  | 1.06  |  |
| 2010-9-15  | 1.08                                | 1.56  | 2.2   | 2.12   | 0.64                                | 0.88  | 1.04  |  |
| 2010-9-30  | 1                                   | 1.36  | 1.84  | 1.72   | 0.66                                | 0.94  | 0.94  |  |
| 2010-10-15 | 0.8                                 | 1.32  | 1.8   | 1.68   | 0.58                                | 0.86  | 0.86  |  |
| 2010-10-30 | 0.64                                | 1.08  | 1.68  | 1.76   | 0.54                                | 0.82  | 0.64  |  |
| 2010-11-15 | 0.64                                | 0.8   | 1.28  | 1.36   | 0.4                                 | 0.52  | 0.76  |  |
| 2010-11-30 | 0.58                                | 0.72  | 1.08  | 1.12   | 0.38                                | 0.48  | 0.66  |  |
| 2010-12-15 | 0.6                                 | 0.6   | 0.88  | 0.92   | 0.4                                 | 0.5   | 0.68  |  |
| 2010-12-30 | 0.4                                 | 0.47  | 0.56  | 0.72   | 0.3                                 | 0.45  | 0.48  |  |
| 2011-1-15  | 0.34                                | 0.36  | 0.48  | 0.72   | 0.32                                | 0.45  | 0.51  |  |
| 2011-1-30  | 0.36                                | 0.37  | 0.42  | 0.76   | 0.34                                | 0.52  | 0.42  |  |
| 2011-2-15  | 0.35                                | 0.38  | 0.62  | 0.72   | 0.38                                | 0.46  | 0.58  |  |
| 2011-2-28  | 0.36                                | 0.51  | 0.73  | 0.64   | 0.41                                | 0.54  | 0.64  |  |
| 2011-3-15  | 0.24                                | 0.48  | 1.36  | 0.72   | 0.3                                 | 0.5   | 0.38  |  |
| 2011-3-30  | 0.5                                 | 0.44  | 0.68  | 0.6    | 0.34                                | 0.36  | 0.36  |  |
| 2011-4-15  | 1.04                                | 0.56  | 0.72  | 0.72   | 0.44                                | 0.52  | 0.54  |  |
| 2011-4-30  | 1.28                                | 1.2   | 0.88  | 1.32   | 0.72                                | 0.6   | 0.6   |  |
| 2011-5-15  | 0.9                                 | 1.4   | 1.3   | 1.6    | 0.6                                 | 1.4   | 1.85  |  |
| 2011-5-30  | 1                                   | 1.22  | 1.8   | 1.92   | 0.76                                | 1.4   | 0.92  |  |
| 2011-6-15  | 1.68                                | 1.92  | 2.32  | 2      | 1                                   | 1.12  | 1.04  |  |
| 2011-7-15  | 1.2                                 | 1.6   | 2.6   | 1.92   | 0.64                                | 0.76  | 0.42  |  |
| 2011-7-31  | 1                                   | 1.2   | 2.3   | 2.24   | 0.6                                 | 0.8   | 0.82  |  |
| 2011-8-15  | 1                                   | 1.1   | 2     | 1.6    | 0.5                                 | 0.7   | 0.7   |  |
| 2011-8-31  | 1.1                                 | 0.9   | 1.6   | 0.98   | 0.4                                 | 0.6   | 0.5   |  |
| 2011-9-15  | 1.2                                 | 1.5   | 1.6   | 1.1    | 0.6                                 | 0.7   | 1     |  |
| 2011-9-30  | 0.8                                 | 0.8   | 1.7   | 1.55   | 0.5                                 | 0.6   | 0.6   |  |
| 2011-10-15 | 1.06                                | 0.92  | 1.04  | 1.06   | 0.5                                 | 1     | 0.84  |  |
| 2011-10-30 | 1.06                                | 0.92  | 1.04  | 1.06   | 0.5                                 | 1     | 0.84  |  |
| 2011-11-15 | 0.76                                | 0.58  | 1     | 0.86   | 0.4                                 | 0.44  | 0.56  |  |
| 2011-11-30 | 0.4                                 | 0.68  | 0.64  | 0.8    | 0.4                                 | 0.45  | 0.58  |  |
| 2011-12-15 | 0.34                                | 0.38  | 0.56  | 0.52   | 0.3                                 | 0.34  | 0.5   |  |
| 2011-12-30 | 0.2                                 | 0.24  | 0.4   | 0.38   | 0.2                                 | 0.2   | 0.34  |  |

1.5×10<sup>-2</sup>。并且从图3可见2011年全年土壤CO<sub>2</sub>体积分数整体比2010的全年土壤CO<sub>2</sub>体积分数要低。主要由于受到2011年大气降水总量(928.9 mm)相对于2010年大气降水总量(1592.6 mm)极具减少的影响,从而抑制土壤CO<sub>2</sub>最主要来源的植物

根系的呼吸作用和土壤中微生物的活动。

如表2所示,2010年7月为全年温度最高的月份,此时土壤CO<sub>2</sub>体积分数也为全年最高。主要是因为土壤中可供微生物利用的有机质相对增多,从而导致分解产生较多的CO<sub>2</sub>,同时由于受到气温升高有利于地表植被的根系呼吸作用的影响<sup>[16-17]</sup>。但是2011年7月份也为桂林地区温度最高的季节,并且该月份的大气降水量基本相同。由于受到2011年6月大气降水量比2010年6月大气降水量相对减少408.8 mm的影响,从而导致2011年7月洼地和坡地土壤CO<sub>2</sub>体积分数相对于2010年7月均减少约为1×10<sup>-2</sup>。因此土壤的CO<sub>2</sub>体积分数时间上的变化结果显示在土壤中CO<sub>2</sub>体积分数的不仅是受到大气温度的影响<sup>[18]</sup>,同时也受到大气降水量的协同影响<sup>[19]</sup>。并且在两种环境因素的协同影响下土壤CO<sub>2</sub>逐渐增高对大气降水量的响应约滞后15~30 d。由此可见大气降水量也是主要影响土壤CO<sub>2</sub>体积分数的主要环境因素之一。

### 3.2 土壤CO<sub>2</sub>体积分数空间的上变化规律

桂林盘龙洞坡地和洼地不同深度的土壤CO<sub>2</sub>体积分数如图3所示。2010年到2011年不同深度坡地土壤CO<sub>2</sub>体积分数的变化范围:坡地深度30 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.2×10<sup>-2</sup>到1.68×10<sup>-2</sup>,平均值为0.59×10<sup>-2</sup>;坡地深度50 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.2×10<sup>-2</sup>到2.08×10<sup>-2</sup>,平均值为0.82%;坡地深度80 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.34×10<sup>-2</sup>到1.94×10<sup>-2</sup>,平均值为0.83×10<sup>-2</sup>。坡地不同深度土壤CO<sub>2</sub>体积分数总体变化趋势为:80 cm>50 cm>30 cm。由于表层30 cm土壤层较薄,土壤中CO<sub>2</sub>容易与大气中CO<sub>2</sub>发生交换,所以表层30 cm土壤一直处于最低。

洼地深度30 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.2×10<sup>-2</sup>到3.08×10<sup>-2</sup>,平均值为0.94×10<sup>-2</sup>;洼地深度50 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.24×10<sup>-2</sup>到3.48×10<sup>-2</sup>,平均值为1.11%;洼地深度80 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数从0.4×10<sup>-2</sup>到3.6×10<sup>-2</sup>,平均值为1.41×10<sup>-2</sup>,在此抽取土壤CO<sub>2</sub>时多次抽取到土壤水。显示洼地80 cm处为主要径流分布的深度,有利于加强此处的溶蚀作用而释放CO<sub>2</sub><sup>[20]</sup>;洼地深度100 cm处土壤CO<sub>2</sub>体积分数为0.38×10<sup>-2</sup>到3.36×10<sup>-2</sup>,平均值为1.34×10<sup>-2</sup>。洼地土壤CO<sub>2</sub>体积分数总体变化趋势为:80 cm>100 cm>50 cm>30 cm。总体上显示了双向梯度变化主要是由于土壤层中最主要的径流层分布于此深度,并且此变化结果与北方土壤CO<sub>2</sub>监测结果相同<sup>[21]</sup>。

本次研究结果显示破坡地和洼地在空间上随着土壤深度增加CO<sub>2</sub>体积分数逐渐上升,这主要是

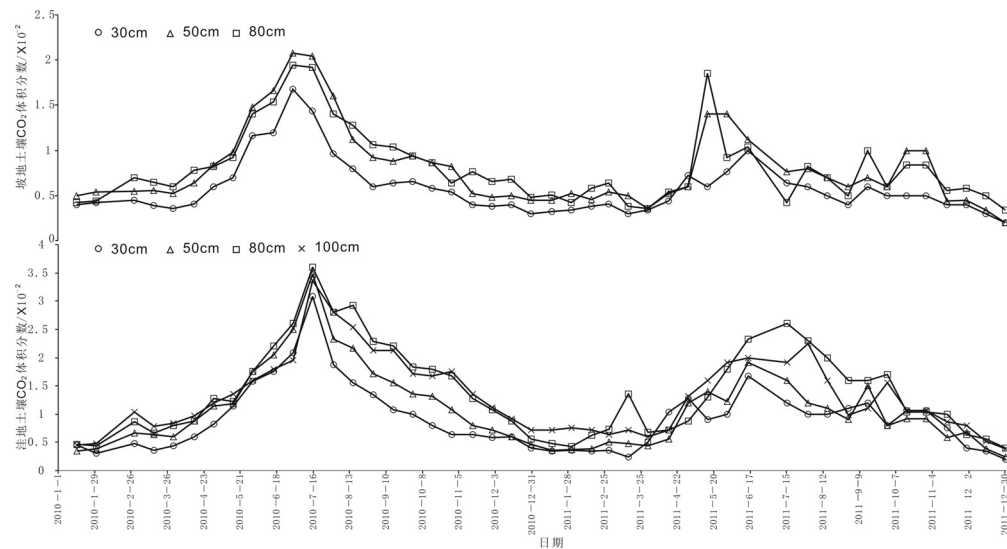


图3 土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数变化曲线  
Fig.3 Curves of soil CO<sub>2</sub> concentration variation

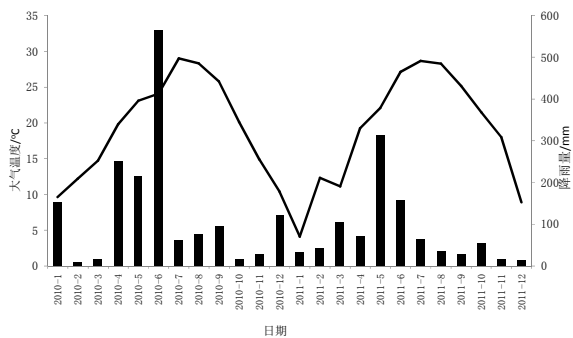


图4 2010–2011 年月平均大气温度、大气降水量  
Fig.4 Monthly mean temperature and precipitation during 2010–2011

表 2 2010–2011 年桂林地区月平均温度、大气降水量  
Table 2 Mean monthly temperature and precipitation in Gui Lin from 2010 to 2011

| 时间      | 气温/℃ | 降雨量/mm | 时间      | 气温/℃  | 降雨量/mm |
|---------|------|--------|---------|-------|--------|
| 2010-1  | 9.6  | 151.8  | 2011-1  | 4.1   | 33     |
| 2010-2  | 12.2 | 9.6    | 2011-2  | 12.3  | 42.1   |
| 2010-3  | 14.7 | 16     | 2011-3  | 11.1  | 104.7  |
| 2010-4  | 19.8 | 249.3  | 2011-4  | 19.23 | 71.5   |
| 2010-5  | 23.1 | 213.7  | 2011-5  | 22.07 | 311.7  |
| 2010-6  | 24.1 | 565.5  | 2011-6  | 27.1  | 156.7  |
| 2010-7  | 29   | 60.8   | 2011-7  | 28.65 | 64     |
| 2010-8  | 28.3 | 75.9   | 2011-8  | 28.26 | 35.7   |
| 2010-9  | 25.8 | 95.3   | 2011-9  | 25.14 | 26.7   |
| 2010-10 | 20.1 | 14.5   | 2011-10 | 21.45 | 54.6   |
| 2010-11 | 14.9 | 28.1   | 2011-11 | 18    | 14.3   |
| 2010-12 | 10.4 | 121.7  | 2011-12 | 8.9   | 13.9   |

由于表层土壤相对深层土壤结构疏松,有利于土壤中 CO<sub>2</sub> 向大气中释放<sup>[22-23]</sup>。而随着土壤深度的逐渐增加蒸发量相对减少和土壤 CO<sub>2</sub> 释放减少,微生物和植物根系的呼吸作用增强,导致土壤中 CO<sub>2</sub> 体积分数逐渐上升。本次研究结果显示洼地的土壤 CO<sub>2</sub>

体积分数整地比坡地土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数要高。因此在一定深度范围内,随土壤深度增加,土壤 CO<sub>2</sub> 含量逐渐增大。主要是由于洼地土壤层厚度相对坡地较厚,导致洼地土壤含水率相对较高,有利于微生物的活动和植物根系的呼吸作用。并且浅层土壤比深层土壤易受大气温度、湿度变化影响的缘故。该研究结果与前人的对本地区和不同地区的土壤剖面的结果基本一致<sup>[11,24]</sup>。

3.3 土壤含水率的变化规律

2010桂林盘龙洞坡地和洼地土壤含水率均在 20%~30% 的范围内变化,并且整年含水率的总体变化趋势呈平缓没有显示明显季节性变化规律。在降水量增大的月份,土壤含水率也相对的逐渐增加。2011年坡地和洼地土壤含水率从6月份后就一直处于下降趋势,坡地最低值达到13.31%,洼地最低值达到13.89%。2011年7—12月土壤含水率一直处于下降趋势主要是由于受到大降水量的逐月减少的影响,土壤蒸发量增加。由于土壤的含水率一般较小,介于10% ~ 30% 之间,并且极易受到外界条件如气候条件、地形因素、土层结构、采集季节、时间等的影响<sup>[25]</sup>。由此可见土壤含水率主要是受到从环境因素的协同影响,同时也受到自身结构特征的影响。洼地和坡地土壤含水率与土壤CO<sub>2</sub>体积分数的相关性如图6所示(仅以30 cm处CO<sub>2</sub>体积分数和10~20 cm含水率为例)。洼地和坡地中的参数均没有显示出明显的相关性,该监测结果显示了土壤含水率并不是影响土壤CO<sub>2</sub>体积分数的主控因素。

4 结论

1) 研究结果表明,桂林盘龙洞表层岩溶带洼地由于土壤层较厚有利于微生物的活动和植物根系的呼吸作用,因此洼地土壤 CO<sub>2</sub> 体积分数整体上大



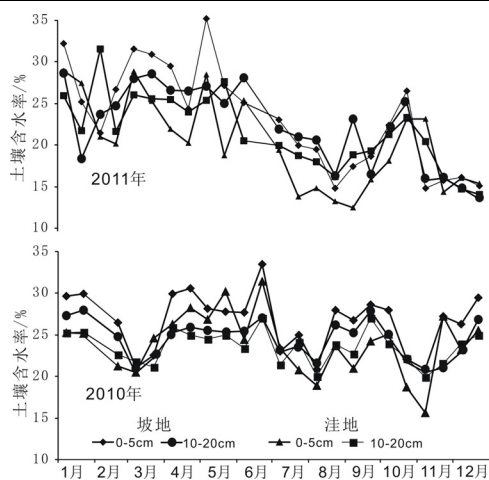


图5 2010-2011年土壤含水率

Fig.5 Soil moisture content from 2010 to 2011

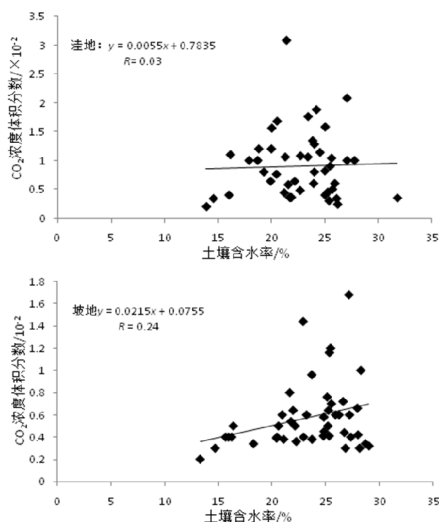
图6 土壤含水率和土壤CO<sub>2</sub>之间的相关性

Fig.6 Soil moisture content from 2010 to 2011

于坡地土壤CO<sub>2</sub>体积分数。

2) 桂林盘龙洞表层岩溶带坡地和洼地土壤中CO<sub>2</sub>通量在时间上有明显的季节性波动,最大值分布在夏季6-7月份、最小值分布在冬季、中间值分布在春季和秋季。此外,空间上有着显著性规律:不同深度的坡地土壤中CO<sub>2</sub>体积分数变化规律为:80 cm>50 cm>30 cm;不同深度的洼地土壤中CO<sub>2</sub>体积分数变化规律为:80 cm>100 cm>50 cm>30 cm。

3) 桂林盘龙洞表层岩溶带坡地和洼地土壤中CO<sub>2</sub>体积分数时间上的变化显示土壤CO<sub>2</sub>主要受到了大气温度的影响。同时监测结果也揭示了大气降水量也是主要影响因素之一。由此可见土壤CO<sub>2</sub>体积分数是受到大气温度和大气降水量的协同影响。但是由于土壤温度作为一个重要土壤物理指标,并且在时间和空间上对外界环境的响应存在着差异。因此这是下一监测的主要对象。

4) 根据土壤CO<sub>2</sub>体积分数的时间和空间上的变化规律,我们可以选着土壤CO<sub>2</sub>体积分数最高的时间段夏季,空间上80 cm深度作为固碳减排的一个重要时间和空间上的选择。为我国现阶段的全球变化问题,特别是固碳减排提供有力的科学基础。

致谢: 本文气象数据均由桂林市雁山气象站提供。

#### 参考文献:

- [1] LACIS A A, SCHMIDT G A, RIND D, et al. Atmospheric CO<sub>2</sub>: Principal control knob governing earth's temperature[J]. Science, 2010, 330: 356-359.
- [2] RAYMOND P A. Carbon cycle: the age of the Amazon's breath[J]. Nature, 2005, 436:469-470.
- [3] PIAO S L, CIAIS P, FRIEDLINGSTEIN P et al. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming[J]. Nature, 2008,451: 49-52.
- [4] WMO. Greenhouse gas bulletin: The state of greenhouse in the atmosphere based on global observations through 2009[C]// World Meteorological Organization, 2010, 24(6): 2-3.
- [5] 徐芹选,赵景波. 西安地区黄土含水率变化特点[J]. 现代地质, 2002,16(4):436-438.  
XU Qinxuan,ZHAO Jingbo. The change characteristic of moisture content of loess stratum in the Xi'an area[J]. Geoscience, 2002, 16(4): 436-438.
- [6] JENKINSON D S, ADAMS D E, WILD A. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming[J]. Nature, 1991, 351: 304-306.
- [7] JENKINSON D S, ADAMS D E, WILD A. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming[J]. Nature, 1991, 351: 304-306.
- [8] 陈庆强,沈承德,易惟熙,等. 土壤碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 555-563.  
CHEN Qingqiang, SHEN Chengde, YI Weixi, et al. Progresses in soil carbon cycle research[J]. Progress in Earth Science, 1998, 13(6): 555-563.
- [9] 梁福源,宋林华,王 静. 土壤CO<sub>2</sub>浓度昼夜变化及其对土壤CO<sub>2</sub>排放量的影响. 地理科学进展, 2003,22(2):170-176.  
LIANG Fuyuan, SONG Linhua, WANG Jing. Diurnal variation of soil CO<sub>2</sub> concentration and its relationship with soil CO<sub>2</sub> flux[J]. Progress in Geography, 2003,22(2):170-176.
- [10] 李大通,罗雁. 中国碳酸盐岩分布面积测量[J]. 中国岩溶, 1983, 2(2) : 147-150.  
LI Daton, LUO Yang. Measurement of carbonate rocks distribution area in China[J]. Carsologica Sinica, 1983, 2(2) : 147-150.
- [11] 李涛,曹建华,张美良等. 桂林盘龙洞岩溶表层带土壤 CO<sub>2</sub> 浓度的季节变化研究[J]. 中国岩溶, 2011,30(3):349-353.  
LI Tao, CAO Jianhua, ZHANG Meiliang. The seasonal variation of soil CO<sub>2</sub> concentration in epikarst in the Panlong cave, Guilin[J]. Carsologica Sinica, 2011, 30(3):349-353.
- [12] 李涛,张美良,曹建华等. 桂林盘龙洞土壤 CO<sub>2</sub> 释放速率的分布状况和变化规律[J]. 地球与环境, 2011,39(3):343-348  
LI Tao, ZHANG Meiliang, CAO Jianhua. The distribution and variation of soil CO<sub>2</sub> emission rate in the Panlong cave, Guilin[J]. Earth and Enviroment, 2011,39(3):343-348.
- [13] 张美良,朱晓燕,林玉石,等. 桂林洞穴滴水及现代碳酸钙 (CaCO<sub>3</sub>) 沉积的碳同位素记录及其环境意义[J]. 地球学报, 2009,30(5):634-642.

- ZHANG Meiliang, ZHU Xiaoyan, LIN yushi, et al. Cave dripping water and carbon isotopic records of modern carbonate (CaCO<sub>3</sub>) deposits: stalagmite in Panlong cave of Guilin and its environmental significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(5): 634-642.
- [14] 曾艳. 亚热带岩溶山区夏季土壤 CO<sub>2</sub> 浓度的分布状况与变化规律---以重庆金佛山自然保护区为例[D]. 重庆: 西南师范大学, 2003: 16.
- ZHENG Yang. The distribution and dynamics of CO<sub>2</sub> concentration in the karst soil system in subtopic region[D]. Chongqing: Southwest China Normal University, 2003: 16.
- [15] 地质矿产部. 土工试验规程 (DT-92) [M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [16] ANJA L, HOMAS K, OLOF A. Carbon dioxide evolution from top and subsoil as affected by moisture and constant and fluctuating temperature[J]. *Soil Biol*, 1998, 30(14): 2017-2022.
- [17] 董云社, 章申, 齐玉春, 等. 内蒙古典型草地 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub> 通量的同时观测及其日变化[J]. *科学通报*, 2000, 45(3): 318-322.
- [18] 刘允芬. 西藏高原农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放研究初报[J]. *自然资源学报*, 1998, 13(2): 181-186.
- LIU Yunfen. A tentative study of CO<sub>2</sub> emission from farmland soil in Tibetan Plateau. *Journal Of Natural Resources*, 1998, 13(2): 181-186.
- [19] 程建中, 李心清, 周志红, 等. 土壤 CO<sub>2</sub> 浓度与地表 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化及其相互关系[J]. *地球与环境*, 2011, 39(2): 196-202.
- CHENG Jianzhong, LEE Xinqing, ZHOU Zhihong, et al. Seasonal variation and relationship between soil CO<sub>2</sub> concentrations and surface CO<sub>2</sub> fluxes[J]. *Earth and Environment*, 2011, 39(2): 196-202.
- [20] 何师意, 徐胜友, 张美良. 岩溶土壤中 CO<sub>2</sub> 浓度、水化学观测及其与岩溶作用关系[J]. *中国岩溶*, 1997, 16(4): 319-324.
- HE Shiyi, XU Shengyou, ZHANG Meiliang. Observation on soil CO<sub>2</sub> concentration, hydrochemistry, and the relationship with karst processes[J]. *Carpological Sinica*, 1997, 16(4): 319-324.
- [21] 高程达, 孙向阳, 张林等. 北温带干旱地区土壤剖面 CO<sub>2</sub> 通量的变化特征. *北京林业大学学报*, 2010, 32(2): 6-13.
- GAO Chengda, SUN Xiangyang, ZHANG Lin, et al. Characteristics of carbon dioxide flux in soil profiles of arid areas in north temperate regions, China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2010, 32(2): 6-13.
- [22] 刁一伟, 郑循华, 王跃思, 等. 开放式空气 CO<sub>2</sub> 浓度增高条件下旱地土壤气体 CO<sub>2</sub> 浓度廓线测定[J]. *应用生态学报*, 2001, 13(10): 1249-1252.
- DIAO Yiwei, ZHENG Xunhua, WANG Yuesi, et al. Measurement of CO<sub>2</sub> profiles in non-waterlogged soil in a FACE study[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 13(10): 1249-1252.
- [23] 张春林, 赵景波, 杨晓东. 草地不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 浓度变化特征研究[J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(6): 91-95.
- ZHANG Chunlin, Zhao Jingbo, Yang Xiaodong. Research on soil carbon dioxide density in different depths of the grassland[J]. *Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2008, 36(6): 91-95.
- [24] 李艳花, 赵景波. 西安南郊不同深度土壤 CO<sub>2</sub> 浓度变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(2): 124-128.
- LI Yanhua, ZHAO Jingbo. Research on CO<sub>2</sub> Density Changes in Different Depth of the Soil in the South Suburb of Xi'an[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(2): 124-128.
- [25] RAICH J W, SCHLESINGER W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 1992, 44B: 81-89.

## Variation of soil CO<sub>2</sub> concentration content and its significance in epikarst of Guilin

WU Xia<sup>1</sup>, ZHU Xiaoyan<sup>1</sup>, ZHANG Meiliang<sup>1</sup>, LI Tao<sup>1</sup>, BAI Xiao<sup>2</sup>

1. Karst Dynamics Laboratory, Institute of Karst Geology, GAGS, Guilin 541004, China;

2. Guangxi Institute of Regional Geological Survey, Guilin 541004, China

**Abstract:** This study monitors Guilin Panlong cave slope and depression of different depth soil CO<sub>2</sub> concentration season from 2010 to 2011 years. Monitoring of slope soil CO<sub>2</sub> concentration space change as: 80 cm > 50 cm > 30 cm; depressions: 80 cm > 100 cm > 50 cm > 30 cm. Monitoring of soil CO<sub>2</sub> concentration reached a maximum value in July, 2010 and June, 2011. And soil CO<sub>2</sub> content value reaches a minimum value in winter of 2010 and 2011. Soil CO<sub>2</sub> concentration in 2011 is less than 2010. Because of atmospheric precipitation in 2011 is less than 2010. This result shows soil CO<sub>2</sub> concentration also affected by atmospheric precipitation.

**Key words:** temporal and spatial variation; soil CO<sub>2</sub>; epikarst; Panlong cave