

喀斯特地区土壤表层 CO₂ 释放通量的影响 因素 I: 规律*

徐海^{1,2**} 朴河春¹ 洪业汤¹

(¹中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; ²中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 测定了贵州喀斯特地区土壤表层 CO₂ 释放通量, 同时还测定了土壤微生物生物量碳以及土壤可溶性有机质含量和土壤湿度。研究表明, 贵州喀斯特地区全年土壤表层 CO₂ 释放通量与温度变化呈正相关关系, 与土壤微生物生物量碳呈负相关关系; 当温度 > 20℃ 时, 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度呈正相关, 与土壤可溶性有机碳含量呈负相关。

关键词 土壤表层 CO₂ 释放通量, 土壤微生物生物量碳, 土壤可溶性有机碳, 土壤湿度, 温度

中图分类号 X144 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2003)02-0012-04

Factors influencing CO₂ flux of soil surface in Karst area. XU Hai^{1,2}, PIAO Hechun¹, HONG Yetang¹ (¹State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; ²Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(2): 12~15.

Soil surface CO₂ flux was measured in Karst area in Guiyang, South Western China. Other soil parameters such as soil microbial biomass carbon, soil soluble organic carbon, and soil moisture were determined at the same time. Results revealed significant positive correlations between soil surface CO₂ flux and soil temperature, as well as significant negative correlations with soil microbial biomass carbon. Soil surface CO₂ flux is positively correlated with soil moisture and negatively correlated with soil soluble organic carbon, respectively.

Key words soil surface CO₂ flux, soil microbial biomass carbon, soil soluble organic carbon, soil soluble organic carbon, soil moisture, temperature.

1 引言

土壤表层 CO₂ 释放通量是陆地生态系统 C 平衡收支中很重要的一部分^[3], 在 IGBP 研究计划中具有重要意义。同时土壤表层 CO₂ 释放通量也是土壤肥力的一个有效指标, 研究土壤表层 CO₂ 释放通量对规划土地利用方式, 提高土地利用效率有重要的借鉴意义^[5]。贵州省位于中国西南喀斯特地区, 土壤类型主要为黄壤和石灰土。土石粘结力差, 土壤风化较强、淋失严重; 当地居民为了扩大耕地而破坏森林植被, 使之水土保持能力较差; 传统的耕作习惯使得植物残留物返还率较小。这些因素都导致该区土壤非常贫瘠。本研究测定了该区土壤表层 CO₂ 释放通量以及土壤微生物生物量碳、土壤可溶性有机碳等土壤参数; 考察各土壤参数之间的相互作用关系。为弄清土壤表层 CO₂ 释放通量的变化规律及其影响因素并为土地规划利用及提高土地利用效率, 提供基础的参考数据。

2 研究地区与方法

2.1 自然概况

采样地点位于贵阳市郊区某一小山坡上, 选取 4 块彼此相连的旱地取样。土壤均为黄壤, 覆盖在石灰岩之上, 呈黄棕色; 该区年均降雨量达到 1 200 mm, 但土层比较薄, 水分保持力低, 降雨量的季节性分布不均匀, 经常出现干湿循环现象。由于受喀斯特地形地貌的影响, 地表径流量较大。

采取的土壤样品的部分参数见表 1。每年庄稼收割之后, 庄稼的茎秆茬被运走或被焚烧, 返回土壤的植物残留物较少。每年春季这些旱地在种庄稼之前都施少量的磷肥作底肥, 1997 年种的是玉米, 1998 年改种黄豆。

2.2 方法

* 国家自然科学基金(40072100)和国家自然科学基金重点资助项目(40231007)。

** 通讯作者

收稿日期: 2001-08-23 改回日期: 2002-01-02

2.2.1 样品 采用自制的有机玻璃采样器(长 25 cm, 内径 5 cm), 在每块地上分别采集 3 份土壤表层样品(0~10 cm), 从样品中捡出植物根系和岩屑后将每块地的 3 份土壤样品充分搅拌均匀后合为 1 份。从 1997 年 6 月~1998 年 5 月, 共采集 17 次。为避免植物根系可能带来的影响, 土壤样品均采自不种庄稼的垄沟(表 1)。

表 1 4 块采样地土壤的部分参数

Tab.1 Soil parameters for four sampling sites

| 编号 | pH | 有机碳 (g·kg ⁻¹) | 总氮 (g·kg ⁻¹) | 容重 (g·cm ⁻³) | 粘土 (%) | 粉粒 (%) |
|----|------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| 1 | 7.24 | 20.5 | 0.99 | 1.17 | 20.4 | 77.9 |
| 2 | 7.25 | 21.0 | 0.70 | 1.18 | 21.9 | 75.5 |
| 3 | 7.24 | 19.7 | 1.04 | 1.13 | 21.2 | 74.1 |
| 4 | 7.25 | 20.0 | 1.04 | 1.17 | 24.0 | 74.5 |

注: pH 值的测定在 1:2(w/w) 的水土比中进行。

2.2.2 测定方法 土壤表层 CO₂ 释放通量的测定方法采用密闭式箱式法^[2], 用 1 mol 的 NaOH 溶液来吸收土壤释放的 CO₂, 再用 1 mol 的 HCl 溶液来滴

表 2 4 个采样点的方差分析

Tab.2 ANOVA for four sampling sites

| | | 离差平方和 | 自收度 | 均方 | F 检验 | 显著水平 |
|---------------------------|----|-----------|-----|----------|-------|-------|
| 土壤表层 CO ₂ 释放通量 | 组间 | 52.8 | 3 | 17.6 | 0.232 | 0.874 |
| | 组内 | 4 866.4 | 64 | 76.0 | | |
| | 总和 | 4 919.2 | 67 | | | |
| 土壤微生物生物量碳 | 组间 | 37 546.6 | 3 | 12 515.5 | 0.981 | 0.407 |
| | 组内 | 816 133.0 | 64 | 12 752.1 | | |
| | 总和 | 853 679.6 | 67 | | | |
| 可溶性有机碳 | 组间 | 157.9 | 3 | 52.6 | 0.223 | 0.880 |
| | 组内 | 15 112.1 | 64 | 236.1 | | |
| | 总和 | 15 270.0 | 67 | | | |
| 土壤湿度 | 组间 | 34.3 | 3 | 11.4 | 0.434 | 0.729 |
| | 组内 | 1 684.0 | 64 | 26.3 | | |
| | 总和 | 1 718.2 | 67 | | | |

表 3 4 个样品点平均后的实验数据

Tab.3 Average experiment data of four sampling sites

| 日期 (月.日) | 日期 (月.日) | 温度 (℃) | 土壤湿度 (%) | 土壤表层 CO ₂ 释放通量 (mg·m ⁻² ·h ⁻¹) | 土壤微生物生物量碳 (μg·g ⁻¹ 干土) | 土壤可溶性有机碳 (μg·g ⁻¹ 干土) |
|-------------|-------------|-----------|-------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 6.4 | 6.13 | 23.0 | 22.9 | 28.2 | 360.8 | 86.6 |
| 6.11 | 6.37 | 21.0 | 30.3 | 38.6 | 320.2 | 84.9 |
| 6.18 | 6.60 | 22.0 | 32.2 | 39.7 | 366.6 | 78.6 |
| 7.22 | 7.71 | 22.7 | 32.2 | 42.6 | 341.7 | 74.0 |
| 8.16 | 8.52 | 25.0 | 18.3 | 35.2 | 276.6 | 98.6 |
| 8.26 | 8.84 | 25.0 | 28.8 | 41.0 | 332.5 | 85.5 |
| 9.10 | 9.33 | 24.5 | 19.3 | 31.2 | 269.6 | 100.2 |
| 9.22 | 9.73 | 17.5 | 27.0 | 24.1 | 334.8 | 84.0 |
| 10.28 | 10.90 | 11.8 | 27.6 | 23.6 | 478.5 | 70.0 |
| 12.1 | 12.03 | 5.8 | 25.5 | 19.6 | 417.9 | 73.6 |
| 1.21 | 1.68 | 2.5 | 29.5 | 15.6 | 644.4 | 75.9 |
| 2.25 | 2.83 | 7.8 | 25.0 | 19.4 | 636.3 | 71.8 |
| 3.21 | 3.68 | 2.0 | 20.4 | 21.1 | 384.8 | 73.4 |
| 4.10 | 4.33 | 20.5 | 18.4 | 27.4 | 448.7 | 91.4 |
| 4.17 | 4.57 | 20.5 | 16.2 | 26.1 | 328.5 | 106.2 |
| 4.22 | 4.73 | 21.2 | 22.3 | 27.2 | 321.8 | 107.2 |
| 5.3 | 5.10 | 22.5 | 25.9 | 33.8 | 359.9 | 118.5 |

定。土壤湿度的测定采用重量百分比方法。可溶性有机碳测定采用 0.5 mol 的 K₂SO₄ 萃取新鲜土壤(固液比 1:4), 再用重铬酸钾氧化法测定萃取液中的有机碳浓度^[1]。土壤微生物生物量碳的测定采用氯仿-烟熏萃取技术^[4]。

2.3 数据处理

对 4 个采样点的土壤表层 CO₂ 释放量、土壤微生物生物量碳、可溶性有机碳、土壤湿度数据序列按 4 个水平进行方差分析, 以检验 4 个采样点之间有无显著差异(由于数据量大, 未列出 4 个采样点详细实验数据)(表 2)。从表 2 可见, F 统计检验的显著性水平 > 0.05, 肯定零假设, 即 4 个水平之间没有显著性差异。

将 4 个采样点的数据平均, 得到土壤表层 CO₂ 释放通量、土壤微生物生物量碳、可溶性有机碳、土壤湿度数据(表 3)。

3 结果与分析

3.1 土壤表层 CO₂ 释放通量与温度的关系

从图 1a 可见, 土壤表层 CO₂ 释放通量与温度变化趋势相似。图 1b 为土壤表层 CO₂ 释放通量对温度的一元回归结果, 可知全年土壤表层 CO₂ 释放通量与温度呈正相关关系。

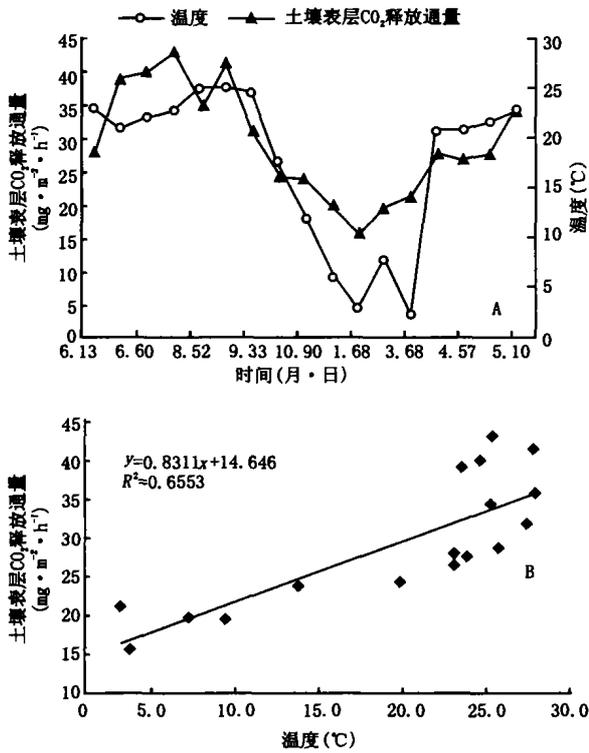


图 1 土壤表层 CO₂ 释放通量与温度的关系
Fig.1 Relationship between soil surface CO₂ flux and temperature

3.2 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤微生物生物量碳的关系

从图 2a 可知, 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤微生物生物量碳呈相反的变化趋势。图 2b 表明, 全年土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤微生物生物量碳呈显著的负相关关系。

3.3 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度的关系

图 3a 为土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度随时间的分布关系。显然, 全年土壤表层 CO₂ 释放通量与湿度的变化关系不明显。研究表明, 全年土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度的相关关系很弱, $R^2 = 0.1007$ 。然而, 如果考察 4~9 月(即温度 $> 20^{\circ}\text{C}$ 的 11 次采样)土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度

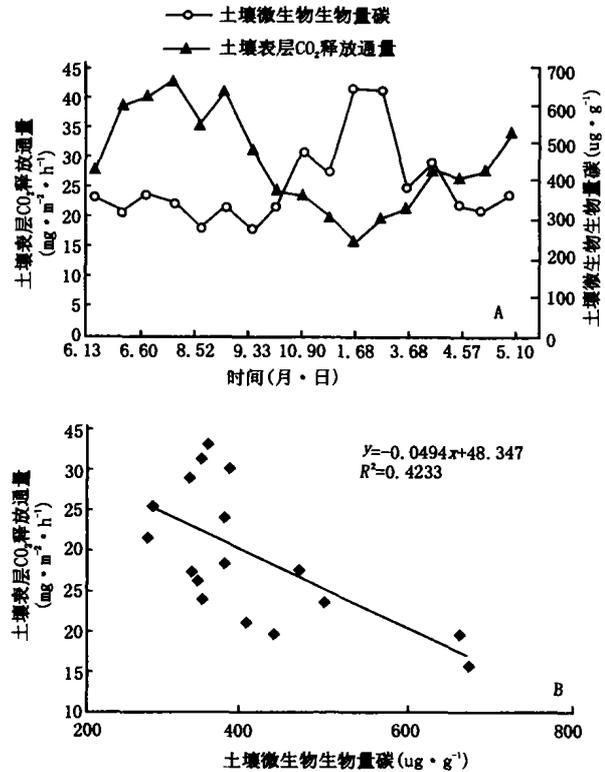


图 2 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤微生物量碳的关系
Fig.2 Relationship between soil surface CO₂ flux and soil microbial biomass carbon

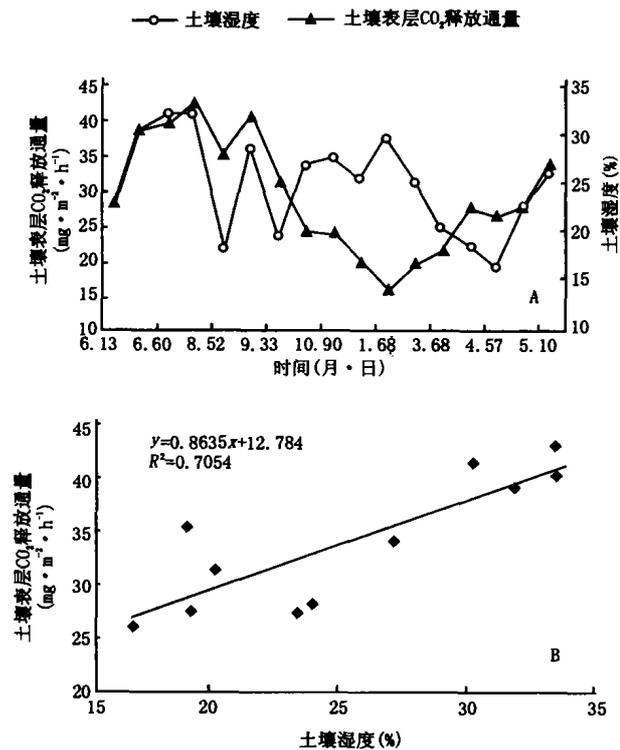


图 3 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度的关系
Fig.3 Relationship between soil surface CO₂ flux and soil moisture

的关系,则会发现土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度变化趋势一致。图 3b 为 4~9 月温度 >20℃ 的 11 次采样土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度回归结果。研究表明,当温度 >20℃ 时,土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度呈显著正相关关系。

3.4 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤可溶性有机碳的关系

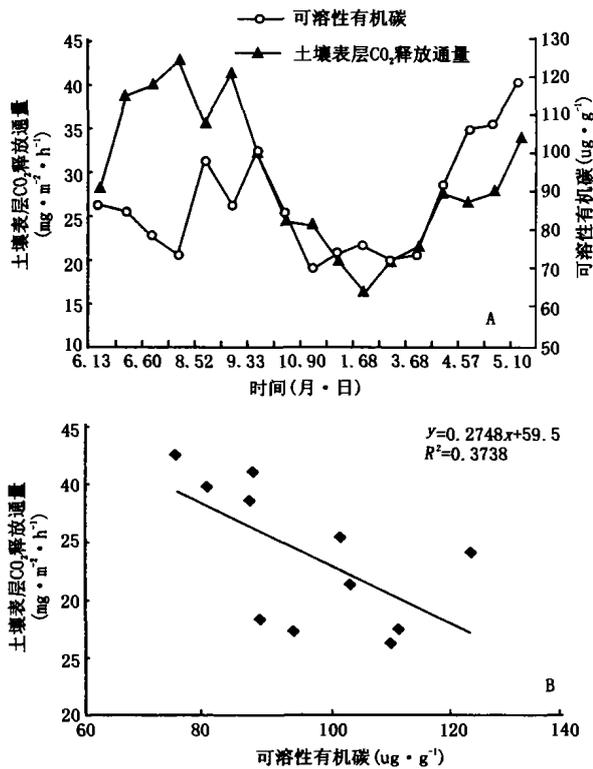


图 4 土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤可溶性有机碳的关系

Fig.4 Relationship between soil surface CO₂ flux and soil soluble organic carbon

全年土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤可溶性有机碳的关系如图 4a。从图 4a 可知,全年土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤可溶性有机碳关系不明显。同样统计温度 >20℃ 的 11 次采样,发现当温度 >20℃ 时,土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤可溶性有机碳呈负相关关系(图 4b)。

4 结论

研究表明,贵州喀斯特地区全年土壤表层 CO₂ 释放通量与温度变化呈正相关关系,与土壤微生物生物量碳呈负相关关系;当温度 >20℃ 时,土壤表层 CO₂ 释放通量与土壤湿度呈正相关,与土壤可溶性有机碳含量呈负相关。

参考文献

- [1] Joergenson RG, *et al.* 1996. Total carbohydrates of the soil microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts [J]. *Soil Biol. Biochem.*, **28**:1147~1153.
- [2] Pomakona LV, *et al.* 1996. Dynamics of CO₂ evolution in grey forest soil of the Baikal forest steppe[J]. *Biol. Fertil. Soils*, **23**: 327~331.
- [3] Raich JW, Schlesinger WA. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. *Tellus*, **44**:81~99.
- [4] Voroney RP, *et al.* 1993. Soil microbial biomass C and N[A]. In: Cater MR. (eds). *Soil Sampling and Methods of Analysis* [C]. Can. Soc. Soil Sci. Lewis Publisher, 227~286.
- [5] Wagai R, *et al.* 1998. Land use and environmental factors influencing soil surface CO₂ flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin [J]. *Soil Biol. Biochem.*, **30**(12):1501~1509.

作者简介 徐海,男,1975年生,博士。主要从事环境地球化学研究。

责任编辑 王伟

更正 2002, 21(6):72, 73 页的图 1 和图 2 纵坐标微粒有机碳的单位应改为: $g \cdot kg^{-1}$, 特此更正。