

专题16: 关键带生物地球化学过程与物质迁移

喀斯特关键带土壤无机碳循环过程及机理探讨

罗维均^{1,2}, 王彦伟^{1,3}, 曾广能⁴, 王梅芳^{1,5},
杨瀚凌^{1,3}, 吕伊娜^{1,3}, 李子涵^{1,3}, 王世杰^{1,2*}

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 550081; 2. 中国科学院 普定喀斯特生态系统观测研究站, 普定 560001; 3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 贵州民族大学 化学与生态环境工程学院, 贵阳 550025; 5. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025

土壤是陆地生态系统中最大的碳库(Batjes, 1996), 土壤呼吸是第二大生态系统碳通量(Zhang et al., 2013), 其微小的变化对全球碳循环就会产生明显影响(Raich and Schlesinger, 1992), 因此受到了科学家们的高度关注, 在非喀斯特地区, 相关研究已取得了非常多的成果。然而, 在喀斯特地区的研究工作却相对滞后, 可能主要与喀斯特地区土被空间上的高度异质性导致监测研究比较难有效开展有关, 也可能是喀斯特的相关研究工作还未得到应有重视。

喀斯特地貌在全球广泛发育, 约占地球陆地面积的12%~15%, 其中, 中国分布着约344万 km^2 , 裸露面积达91万 km^2 , 约占全球的15.6%, 占中国国土面积的约1/3。贵州位于中国西南喀斯特连片分布区的中心地带, 喀斯特出露面积占全省的61.92%, 喀斯特地貌类型最全, 石漠化面积最大, 石漠化严重程度最深。而众所周知, 喀斯特关键带是地球关键带的重要组成部分, 由于其地表植被和土壤分布不连续、地下管道(包括洞穴)和裂隙发育等特征, 致使其物质和能量循环具有很强的独特性, 对人类活动和气候变化非常敏感。

然而, 在如此脆弱和敏感的喀斯特地区, 土壤碳循环的长期连续自动观测研究还未见报道。因此, 我们选择中国科学院普定喀斯特生态系统观测研究站内一块退耕地作为主要研究对象, 其他样地(如天龙山及讲义)及模拟场(站内)作为对比。通过对土壤进行系统采样分析; 利用八通道监测系统(LI-8150)进行为期两年多的土壤呼吸连续自动监测; 结合人工采样分析, 利用土壤 CO_2 浓度自动监测系统(RR-7130)对土壤剖面中不同深度的土壤空气 CO_2 浓度进行在线监测; 同时, 我们还开展了其他相关的监测工作, 如对区内大气碳通量(Li-7500A)和监测样地下洞穴空气 CO_2 浓度(LGR-921-0003)等进行监测; 也在各子系统中根据需要开展有关环境因子的监测。目的有三个: ①定量估算喀斯特退耕地土壤呼吸通量; ②定量估算岩溶碳汇通量; ③探讨影响喀斯特关键带土壤碳循环的主要因素。为全球生态系统碳平衡估算提供依据。

初步的监测结果表明, 喀斯特地区土壤呼吸有明显的空间变化特征(表1), 一方面, 可能是土壤空间分布不均和其理化性质差异等(表2)因素的体现, 另一方面, 也可能与地下土壤空气向洞穴或管道扩散以及岩溶作用消耗 CO_2 等过程有关。在相似气候环境条件下, 喀斯特地区土壤呼吸显著高于非喀斯特地区, 但若考虑喀斯特地区岩石裸露所占比例, 即在区域尺度上, 喀斯特地区的土壤呼吸一般会低于非喀斯特地区。土壤呼吸与土壤温度之间呈显著指数关系, 相对于非喀斯特地区, 喀斯特地区土壤呼吸对温度的敏感性(Q_{10})较高, 即温度

基金项目: 国家重点研发计划(批准号: 2016YFC0502300), 国家自然科学基金(批准号: 41571130042, 41673121)

第一作者简介: 罗维均(1978-), 男, 研究员, 研究方向: 环境地球化学. E-mail: luoweijun@vip.gyig.ac.cn

*通信作者简介: 王世杰(1966-), 男, 研究员, 研究方向: 环境地球化学. E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

变化对喀斯特地区的土壤呼吸影响更大。而研究区土壤呼吸与土壤湿度关系非常复杂,在不同的时间尺度上体现出不一样的关系,当然也与天气过程有关。另外,通过大量数据统计,发现在研究区,每天上午 11 点左右的土壤呼吸通量能较好地代表当天的平均土壤呼吸值。

表 1 土壤呼吸的时空变化($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)

日期/样点编号	2# (n)	5# (n)	8# (n)					
2015-3-13~2016-3-12	2.84 (4125)	3.32 (4047)	2.01 (4042)					
2016-3-13~2017-3-12	2.65 (4207)	3.09 (4208)	2.55 (4206)					
日期/样点编号	1# (n)	2# (n)	3# (n)	4# (n)	5# (n)	6# (n)	7# (n)	8# (n)
2015-3-13~2015-5-2	2.05 (588)	2.74 (588)	1.88 (588)	2.20 (588)	2.95 (588)	1.95 (588)	2.73 (588)	1.67 (588)
2016-3-13~2016-5-2	1.92 (606)	2.34 (606)	1.92 (605)	1.74 (605)	2.26 (605)	1.84 (605)	1.98 (605)	1.61 (604)
2017-3-13~2017-5-2	/	2.34 (612)	/	/	2.33 (612)	/	/	2.31 (611)

表 2 八个土壤呼吸监测点表层($\leq 20\text{cm}$)土壤的元素含量及 C/N

样点编号 (采集深度/cm)采集点土层厚度/cm	N/%	C/%	H/%	S/%	C/N
1# (0-17)17	0.264	3.116	0.938	0.046	11.818
2# (0-20)>50	0.210	2.366	0.625	0.031	11.244
3# (0-20)=31	0.221	2.537	0.658	0.030	11.481
4# (0-20)>50	0.202	2.242	0.698	0.029	11.074
5# (0-16)16	0.222	2.560	0.691	0.030	11.513
6# (0-20)=25	0.258	2.903	0.718	0.036	11.253
7# (0-20)>42	0.214	2.442	0.735	0.027	11.401
8# (0-16)16	0.250	2.814	0.693	0.033	11.258

对三个石灰土土壤剖面进行了基本的土壤理化性质分析,在此基础上,开展土壤剖面空气 CO_2 及其碳同位素的监测和采样分析。初步结果表明:整体上,土壤空气 CO_2 浓度在冬季最低,夏季最高,可能受气温和降水等环境因素影响;剖面不同层位的 CO_2 浓度差值没有明显受温湿度影响,其不同深度间的变化规律保持一致,如 1 号剖面第三层基本上在任何时间点都显示土壤空气 CO_2 浓度最高,而 2 和 3 号剖面的土壤空气 CO_2 浓度随深度增加而增加;从 1 号剖面不同时间不同层位 CO_2 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化规律可见,雨季底层偏正,很可能是水岩反应(岩溶作用)的结果。

另外,我们分别对不同岩性(讲义白云岩和天龙山石灰岩)背景下,不同土地利用类型(次生林地、灌丛地、草地、旱地、水田)条件下开展的两种岩性(白云岩和石灰岩)的岩溶试片试验。两个水文年(2016.12~2017.12; 2017.12~2018.12)内获得的初步结果显示,几乎在所有土壤剖面中,从土壤剖面表层向下,岩溶强度逐渐降低;白云岩试片被溶解量远远低于石灰岩试片;水田溶蚀能力最强,其次是旱地,草地居中,次生林和灌丛地最低。原因有待进一步探讨。

上述部分初步监测结果和机理推测还有待于进一步探讨,如通过洞穴及模拟洞穴上覆土壤呼吸、土壤剖面空气 CO_2 浓度及其同位素、土壤向洞穴的扩散以及洞穴滴水 DIC 等的监测,估算土壤空气 CO_2 向下的扩散通量、岩溶作用消耗 CO_2 的量等。