

喀斯特河水 CO₂ 释放研究意义及进展

丁 虎, 郎赞超, 李思亮, 李晓东, 刘丛强

中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550081

河流连接陆地与海洋, 在向海洋输送碳(0.9 Pg C yr⁻¹)的同时向大气释放了大量 CO₂(1.8 Pg C yr⁻¹^[1])。输送量级与 IPCC 最新估计的陆地生态系统净吸收碳的量相当(2.6Pg C yr⁻¹)。这种新认识更新了陆地碳支出核算^[2], 已经被纳入了 IPCC(2013)最新公布的全球碳循环模型。河流水-气界面 CO₂ 交换研究对区域和全球碳循环都因此具有重要意义。

全球碳酸盐岩型喀斯特分布面积占陆地表面的 13%^[3], 是地表碳循环最为活跃的系统之一^[4], 特别是在亚热带季风气候带气候影响下的喀斯特河流系统, 其碳循环具有显著的空间差异和季节变化特征, 对降雨事件^[5-6]和人类活动^[7-8]的响应十分敏感。然而有关喀斯特地区河流 CO₂ 释放的研究却较少。Li 等(2010)^[9]较早认识到喀斯特地区水体中 CO₂ 释放的重要性, 指出由于喀斯特地区地下水、地下河的 CO₂ 分压(*p*CO₂)显著高于地表河水, 地下水向地表水转换过程中可能释放相当数量的 CO₂。实际上, 因受碳酸盐岩风化的影响, 喀斯特地区河流富含溶解无机碳(DIC)。尽管其中游离态 CO₂ 比重很低, 但通常向大气释放 CO₂。这已被最近的研究所证明^[10-15]。如 Wang 等^[15]对我国乌江上游红枫湖流域的研究表明, 河水中 *p*CO₂ 的平均值为 3443 tam, 与全球河流的平均值相近(3100 tam^[16]); Geldern 等^[11]等研究表明, 德国南部 Wiesent 河 *p*CO₂ 在 1240~21400 tam 之间变化, 平均值为 4620 tam, 高于全球河流的平均值。据此估计, 该河的 CO₂ 释放通量(*F*-CO₂)约为 450 mmol m⁻² d⁻¹。我们首次在乌江上游三岔河后寨小流域利用在线观测仪器对喀斯特河水开展了实测研究。结果表明, 4 个地表河水观测点的 *F*-CO₂ 在 173~1159 mmol m⁻² d⁻¹ 范围内, 平均达 596 mmol m⁻² d⁻¹。上述已有喀斯特地区河流的 *F*-CO₂ 位于全球河流的中间偏高水平(42~980 mmol m⁻² d⁻¹^[17])。值得一提的是, 一项最新的研究认为碳酸盐岩溶解是驱动全球一半以上湖泊释放 CO₂ 的关键因子之一^[18]。因此, 开展碳酸盐岩喀斯特地区河流系统 CO₂ 相关研究具有重要意义。

今后的研究将^[19]: 开展不同生态和人类活动干扰背景下河流 CO₂ 释放的对比研究; 综合利用双碳同位素、化学计量学、生物标志物等方法/手段辨识河流系统中 CO₂ 及其它形态碳的来源和迁移转化过程; 利用野外原位观测、传统采样分析和室内培养的方法开展“水-土/沉积物-气”多界面碳交换的系统综合研究, 揭示控制河流系统水-气界面碳交换的关键因子, 最终为区域和全球碳循环模型优化以及流域科学管理提供依据。

参考文献:

- [1] Lauerwald, R., Hartmann, J., Moosdorf, N., et al. What controls the spatial patterns of the riverine carbonate system? — A case study for North America[J]. *Chemical Geology*, 2013, 337-338(0): 114-127.
- [2] Wehrli, B. Biogeochemistry: Conduits of the carbon cycle[J]. *Nature*, 2013, 503(7476): 346-347.
- [3] Ford, D. and Williams, P. Karst hydrogeology and geomorphology[M]: Wiley, 2007.
- [4] 袁道先. 碳循环与全球岩溶[J]. *第四纪研究*, 1993(1): 1-6.
- [5] 丁虎, 郎赞超, 刘文景, 等. 桂西北峰丛洼地泉水和溪流在降雨过程中的水化学动态变化特征. *地球与环境*[J]. 39, 2011, 1(48-55).
- [6] 丁虎, 刘丛强, 郎赞超, 等. 桂西北典型峰丛洼地降雨过程中地表水溶解性碳和 δ¹³C_{DIC} 变化特征[J]. *地学前缘*, 2011, 18(6): 182-189.
- [7] Ding, H., Lang, Y.-C., Liu, C.-Q., et al. Chemical characteristics and δ³⁴S-SO₄²⁻ of acid rain: Anthropogenic sulfate deposition

- and its impacts on CO₂ consumption in the rural karst area of southwest China[J]. *Geochemical Journal*, 2013, 47(6): 625-638.
- [8] Li, S.L., Calmels, D., Han, G.L., et al. Sulfuric acid as an agent of carbonate weathering constrained by ¹³C_{DIC}: Examples from Southwest China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 270(3-4): 189-199.
- [9] Li, S.-L., Liu, C.-Q., Li, J., et al. Geochemistry of dissolved inorganic carbon and carbonate weathering in a small typical karstic catchment of Southwest China: Isotopic and chemical constraints[J]. *Chemical Geology*, 2010, 277(3-4): 301-309.
- [10] 张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 等. 亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究[J]. *环境科学*, 2014, 35(8): 2944-2951.
- [11] Geldern, R., Schulte, P., Mader, M., et al. Spatial and temporal variations of pCO₂, dissolved inorganic carbon, and stable isotopes along a temperate karstic watercourse[J]. *Hydrological Processes*, 2015: DOI: 10.1002/hyp.10457.
- [12] 刘丛强等. 生物地球化学过程与地表物质循环: 西南喀斯特流域侵蚀与生源要素循环[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [13] Yao, G.R., Gao, Q.Z., Wang, Z.G., et al. Dynamics of CO₂ partial pressure and CO₂ outgassing in the lower reaches of the Xijiang River, a subtropical monsoon river in China[J]. *Science Of The Total Environment*, 2007, 376(1-3): 255-266.
- [14] Wang, S., Yeager, K., Wan, G., et al. Dynamics of CO₂ in a karst catchment in the southwestern plateau, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(5): 2415-2427.
- [15] Wang, S., Yeager, K.M., Wan, G., et al. Carbon export and fate in carbonate catchments: A case study in the karst plateau of southwestern China[J]. *Applied Geochemistry*, 2012, 27(1): 64-72.
- [16] Raymond, P.A., Hartmann, J., Lauerwald, R., et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters[J]. *Nature*, 2013, 503(7476): 355-359.
- [17] Polsenaere, P. and Abril, G. Modelling CO₂ degassing from small acidic rivers using water pCO₂, DIC and δ¹³C-DIC data[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012, 91: 220-239.
- [18] Marce, R., Obrador, B., Morgui, J.-A., et al. Carbonate weathering as a driver of CO₂ supersaturation in lakes[J]. *Nature Geosci*, 2015, 8(2): 107-111.
- [19] 丁虎, 刘丛强, 郎赞超, 等. 河流水-气界面碳交换研究进展及趋势[J]. *上海大学学报:自然科学版*, 2015: 审稿中.