

# 贵州喀斯特地区碳酸盐岩的宇宙成因核素 $^{36}\text{Cl}$ 侵蚀速率

徐胜<sup>①②</sup>, 刘丛强<sup>②\*</sup>, FREEMAN Stewart<sup>②</sup>, 郎赞超<sup>①</sup>, SCHNABEL Christoph<sup>②</sup>, 涂成龙<sup>①</sup>, WILCKEN Klaus<sup>②</sup>, 赵志琦<sup>①</sup>

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 Scottish Universities Environmental Research Center, East Kilbride, G75 0QF, UK

\* 联系人, E-mail: liucongqiang@vip.skleg.cn

国家自然科学基金(41130536, 41021062)和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开放基金(9014)资助

喀斯特地区侵蚀速率是理解全球碳循环、喀斯特地貌演化以及土地利用等学科的最基本问题之一。侵蚀速率估算方法主要包括: (1) 流域河水化学溶解物平衡的计算; (2) 置于不同环境下的大理岩片重量损失的观测; (3) 显微侵蚀测量仪对暴露地表的直接测量; (4) 碳酸盐岩中石英脉的长期观测; (5) 地表岩石中宇宙成因核素  $^{36}\text{Cl}$  (半衰期 3 万年) 的测定。与其他方法相比, 地表岩石中  $^{36}\text{Cl}$  含量反映了  $10^4\sim 10^5$  年尺度内的岩石暴露和侵蚀历史。本研究收集了贵州省内不同地区的碳酸盐岩露头, 利用高灵敏度加速器质谱分析技术, 测定了碳酸盐岩石中  $^{36}\text{Cl}$  的含量, 进而获取碳酸盐岩的长期侵蚀速度并与其他测定结果进行对比。

贵州地处中国喀斯特最集中的西南片区中心, 碳酸盐岩占全省土地面积的 62%, 位于亚热带湿润季风气候区, 平均年降水量 900~1300 mm, 西部海拔高达 2800 m, 而东部仅为 500 m, 其结果导致年均温度在中西部 11~12℃ 和东部 15~17℃ 的差异。区域地质表明, 碳酸盐岩地层自震旦纪至三叠纪均有出露, 但没有证据显示这些碳酸盐岩地层出露地表后, 曾遭到包括冰川在内的后期埋藏作用。露头样品的地貌学特征排除土壤覆盖和人为活动的可能性, 并具有区域代表性。

因为碳酸盐岩出露地表时间远远大于  $^{36}\text{Cl}$  的半衰期, 其中  $^{36}\text{Cl}$  的生成

和衰变达到平衡状态, 所以, 地表岩石中  $^{36}\text{Cl}$  的含量主要反映侵蚀速率的变化。贵州碳酸盐岩中  $^{36}\text{Cl}$  含量变化为  $0.8\times 10^6\sim 2.4\times 10^6\text{ atom g}^{-1}$ , 由此得到  $10^4\sim 10^5$  年时间尺度内包括物理和化学作用的平均侵蚀速率为  $20\sim 50\text{ mm ka}^{-1}$ 。这些结果类似于其他地区不同气候条件下碳酸盐岩的  $^{36}\text{Cl}$  侵蚀速率, 以及碳酸盐岩中石英脉的长期观测结果。

尽管测定数据有限, 贵州碳酸盐岩侵蚀速率仍具有中西部高侵蚀速率 ( $40\sim 47\text{ mm ka}^{-1}$ ) 与东部低侵蚀速率 ( $17\sim 19\text{ mm ka}^{-1}$ ) 的区域分布特征。不同类型碳酸盐岩的侵蚀速率在误差范围内基本一致, 可能反映区域侵蚀速率的变化受到岩石类型的影响不大, 而主要受控于区域气候条件的变化。图 1 所示气候条件与侵蚀速率的相关关系。侵蚀速率与年降雨量之间没有

明显的相关关系, 但与年均温度则具有微弱的负相关关系。根据降雨量归一化处理后得到的侵蚀速率与年均温度的相关性, 我们可以初步推断, 贵州东部样品基本代表以化学风化为主的侵蚀速率, 而中西部则包括化学和物理风化作用, 其中物理风化对总侵蚀速率的贡献约为 50%~60%。

由贵州境内主要河流的化学组成得到流域碳酸盐岩的近代化学侵蚀速率为  $43\sim 57\text{ mm ka}^{-1}$ , 明显高于  $^{36}\text{Cl}$  长期侵蚀速率 ( $\sim 20\text{ mm ka}^{-1}$ )。这一差异显示贵州碳酸盐岩的侵蚀速率在近代有较大幅度的增加。目前, 我们还没有令人信服的解释, 但进一步地表和剖面的  $^{36}\text{Cl}$  侵蚀速率研究, 以及碳酸盐岩中可能存在的石英脉中  $^{10}\text{Be}$  和  $^{26}\text{Al}$  的分析, 将有助于对侵蚀速率变化的理解。

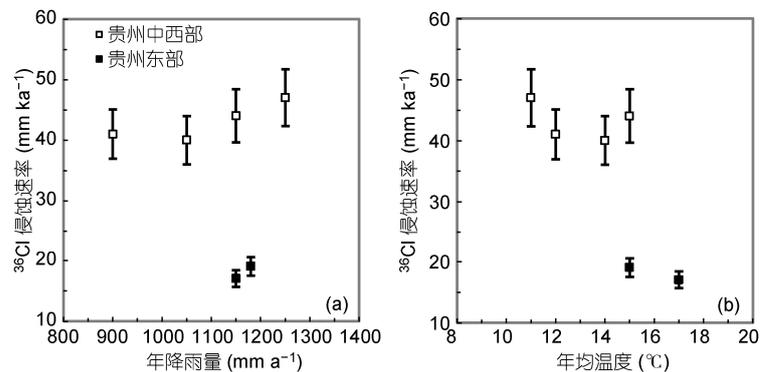


图 1  $^{36}\text{Cl}$  侵蚀速率与气候因素相关性

(a) 年降雨量; (b) 年均温度

全文见: Xu S, Liu C Q, Freeman S, et al. *In-situ* cosmogenic  $^{36}\text{Cl}$  denudation rates of carbonates in Guizhou karst area. *Chin Sci Bull*, 2013, 58: 2473–2479, doi: 10.1007/s11434-013-5756-8