

中国西南喀斯特湖泊硫酸盐来源的 硫同位素示踪研究

王中良¹, 刘丛强¹, 朱兆洲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 550002;

2. 天津师范大学 天津水环境与水资源重点实验室, 天津 300387

关键词: 喀斯特; 湖泊; 硫酸盐; 硫同位素

硫是导致酸沉降的主要大气污染物之一, 主要来源于重工业污染和矿物燃料利用过程中的排放。处于中国西南地区的贵阳市, 其酸雨污染问题一直很严重, 这是由于该地区分布有较多的燃煤型火力发电厂和冬季居民的取暖用煤释放, 而该地区煤中 S 的含量可高达 20 mg/L。正是由于这个原因, 利用 S 同位素示踪贵州酸雨的研究一直没有中断过。但是相对于密集的对酸雨问题的研究, 对贵阳地区地表水中 S 同位素的研究工作显得相对滞后。有研究显示, 酸沉降可以显著地影响区域内的地表和地下水的组成。Fisher (1975) 的研究显示, 瑞典地区河流和湖泊中 S 污染的 90% 来自于酸沉降, Ember (1981) 对北美的研究也显示了同样的研究结果。要示踪和区分地表水体 (如河流、湖泊和水库等) 中 S 污染的来源, SO_4^{2-} 酸根中 S 同位素组成 ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) 的研究必不可少。本研究的基本目的就是通过对贵阳周围主要湖泊及其入湖河流水体中 SO_4^{2-} 的 S 同位素地球化学的研究, 确定 S 污染的主要来源并估算各个端员的相对贡献。

1 样品采集与分析

位于贵阳西南的红枫湖和阿哈湖始建于 1960 年代初, 一直是贵阳市的重要水源地。由于两湖位于植被相对较差的喀斯特山地地区, 其水体的主要来源是河流输入和大气降水, 地下水的贡献很少。周围岩石主要是白云岩为主的碳酸盐岩。由于两湖周围分布有大大小小众多煤矿, 煤矿废水的排放是湖泊主要污染源之一。水样采集后经 0.22 μm 滤膜过滤, 然后加入饱和 HgCl_2 溶液使之产生 BaSO_4 沉淀并收集, 用来进行 S 同位素测定。S 同位素分

析利用连续流稳定同位素质谱仪 (IsoPrime JB144) 进行。

2 结果与讨论

研究结果显示, 红枫湖和阿哈湖湖水及其入湖河流河水中 SO_4^{2-} 离子的浓度处于 0.3 ~ 3.5 mmol/L 之间, 显著高于世界大河的 SO_4^{2-} 离子浓度 (0.2 ~ 0.4 mmol/L), 也高于本地区主要河流乌江河水的 SO_4^{2-} 离子浓度 (0.5 mmol/L)。 SO_4^{2-} 离子浓度的最大值见于阿哈湖湖水 (2.8 ~ 2.96 mmol/L) 及其入湖河流河水 (2.8 ~ 3.5 mmol/L)。鉴于本次研究的红枫湖和阿哈湖及其入湖河流都属于本地区大河 (乌江) 的支流, 所以可以将乌江河水的 SO_4^{2-} 离子浓度看做本流域自然风化的 SO_4^{2-} 离子的本底浓度。红枫湖和阿哈湖相对较高的 SO_4^{2-} 离子浓度说明, 两湖湖水中的 SO_4^{2-} 离子有除流域岩石和土壤风化之外其他来源的 S 的参与。

在红枫湖和阿哈湖湖水 SO_4^{2-} 离子中, S 同位素的值为 $-6\text{‰} \sim -11\text{‰}$ 。其中, 红枫湖湖水 S 同位素值为 $-6\text{‰} \sim -7\text{‰}$, 而阿哈湖湖水的 S 同位素值则处于 $-10\text{‰} \sim -11\text{‰}$ 之间, 都在一个较窄的变化范围内, 并显著轻于世界其他河流河水的 S 同位素比值。表生水体中溶解态的 S 可能来自于流域岩层中硫化物氧化风化、流域蒸发岩层中石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 等硫酸盐矿物的溶解和雨水中的 SO_4^{2-} 。在一定条件下, 还可能受到化肥、工业废水排放和土壤中有机硫矿化等的影响。前期研究显示, 相对于中国及世界其他地区来说, 贵州煤中含有非常高的 S 浓度 (3.12% ~ 9.08%, 平均约

5.5%) 和相对较低的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($-10\text{‰} \sim -15\text{‰}$)。由于在红枫湖和阿哈湖流域内较频繁的煤矿开采,大量未经处理的煤矿废水直接排入流域河流并最终汇集于湖泊内。这些煤矿废水含有较高的 SO_4^{2-} 离子浓度 (13 mmol/L) 和较低的 $\delta^{34}\text{S}$ 值 ($-13\text{‰} \pm 2\text{‰}$)。所以煤矿开采应该是流域湖水和河水 SO_4^{2-} 离子的主要来源。另外,贵阳地区雨水中 SO_4^{2-} 离子 S 同位素比值也比较低,冬季约为 -4.0‰ 而夏季约为 -7.0‰ 。由于本地区雨水的 75% 集中在夏季,所以贵阳地区降水的 $\delta^{34}\text{S}$ 和 SO_4^{2-} 离子浓度约为 -7.0‰ 和 0.1 mmol/L 。此外,

本地区碳酸盐岩岩层中也含有一定的硫化物和石膏,也是流域地表水体中 SO_4^{2-} 离子的可能来源。所以,归纳而言,红枫湖和阿哈湖及其入湖河流中 SO_4^{2-} 离子的来源主要包括煤矿废水、大气降水、流域硫化物风化和硫酸盐溶解。

端元计算结果显示,在阿哈湖湖水及其入湖河流河水中,超过 80% ~ 90% 的 SO_4^{2-} 来自于煤矿废水,硫化物氧化、雨水和石膏溶解所占比例非常少。在红枫湖湖水及其入湖河流河水中,煤矿废水输入约占 55% ~ 65%,雨水约占 14%,硫化物风化和石膏溶解各自约占 10%。