

马尾松针叶组织硫、氧同位素组成对 大气硫沉降的响应研究

关 晖, 肖化云

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

本研究选择了马尾松作为研究对象, 并选择了大气 SO_2 浓度水平不相同的多个地区作为采样点, 包括贵阳地区和云南地区(曲靖、昆明、安宁、晋宁), 同时还选取了两个特定污染源 - 曲靖火电厂和昆明钢铁厂, 并按照离工厂的距离进行采样。我们采集了各样点的针叶和根际土壤样品, 分析测定了针叶的总硫、无机硫含量和硫同位素组成、针叶溶解性硫酸盐和叶水的氧同位素组成; 土壤硫含量、硫同位素组成和土壤硫酸盐的氧同位素组成。探讨不同生境下针叶对大气硫沉降的差异响应, 以期研究大气硫沉降的生物监测提供新的思路。

各地区大气 SO_2 浓度和针叶硫酸盐硫 (S_{SO_4}) 含量存在较好的正相关关系($y = 0.724x + 0.0107$, $R^2 = 0.92$, $P < 0.05$), 但 SO_2 浓度和针叶总硫 (S_T) 含量不存在显著相关关系($y = 0.4609x + 0.1441$, $R^2 = 0.27$, $P = 0.36$), 表明针叶组织 S_{SO_4} 含量的变化相对于 S_T 含量能更可靠地反映大气硫输入。从土壤中吸收的硫在不同采样点之间没有明显的差异。叶片 S_{SO_4} 含量的变化可以归因于大气 SO_2 浓度的变化。对针叶组织 $\delta^{34}\text{S}$ 研究表明, 贵阳地区针叶中 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ 主要受到燃煤来源的大气硫沉降影响。贵阳市苔藓组织硫同位素组成、雨水硫同位素组成、针叶硫同位素组成均偏负, 相差不大。不同地区和特定点源的采样点, $\delta^{34}\text{S}_T$ 和 $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ 的差值 $\Delta^{34}\text{S}(\delta^{34}\text{S}_T - \delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4})$ 大部分位于 2‰~3‰ 之间, 呈现正态分布, 表明了植物体内硫同化过程中仅发生很小的同位素分馏。

我们同时分析了针叶组织中硫酸盐的氧同位素组成 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$)。在大气 SO_2 浓度很低的采样点, 针叶 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ 接近于土壤 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, 表明针叶硫酸盐大部分来源于根际土壤。但在其他大气 SO_2 浓度相对较高的地区(曲靖、昆明、贵阳), 针叶 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ 远低于土壤和雨水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$, 表明针叶硫酸盐有相当一部分来源于大气 SO_2 氧化。 O_2 氧化生成硫酸盐的氧同位素组成 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_2}$) 取决于参与反应叶水的氧同位素组成 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$)。研究进一步发现 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 与针叶硫酸盐 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ 呈正相关关系($y = 0.71x + 0.86$, $R^2 = 0.98$, $P = 0.01$)。基于前人的研究结果, 只要测得针叶叶水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$, 就能计算出 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_2}$ 。结合土壤 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ 计算出 SO_2 对针叶硫酸盐的贡献率。贵阳地区大气 SO_2 对针叶硫酸盐的贡献率最高为 88%, 晋宁地区最低, SO_2 的贡献率只有 33%, 这也进一步证实了在大气 SO_2 浓度很低的地区, 针叶硫酸盐大部分来源于根际土壤。大气 SO_2 对针叶硫酸盐的贡献率与大气 SO_2 浓度呈对数相关关系 ($y = 20.78\ln(x) - 8.18$, $R^2 = 0.87$, $P < 0.05$)。