

· 专题 10: 表层地球系统生物地球化学循环及其生态环境效应 ·

湖泊沉积物内源磷释放通量的定量估算 ——以红枫湖为例

王敬富¹, 陈敬安^{1*}, 孙清清^{1,2}, 杨海全¹, 兰晨^{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. 中国科学院大学, 北京 100049

磷是浮游植物生长所必需的营养元素, 同时也是引起湖泊富营养化的关键限制性因子 (Carpenter *et al.*, 2008)。沉积物是湖泊中最大的磷汇, 但是当环境条件发生变化时, 沉积物中的磷可以再次释放至上覆水体, 从而成为湖泊水体磷的重要内源 (Zhang *et al.*, 2008)。众多湖泊的研究和观测结果表明, 尽管外源污染治理工程使得外源污染物输入量大大减少, 但湖泊水体磷酸盐浓度并未如预期那样显著降低, 而是仍然维持在一个较高浓度水平。沉积物内源磷释放被认为是导致这一现象出现的主要原因 (Søndergaard *et al.*, 2003; 范成新等, 2007; Elsbury *et al.*, 2009; Ozkundakci *et al.*, 2011)。

红枫湖是贵州省最大的人工湖泊, 也是黔中地区重要的水源地。近年来, 红枫湖富营养化问题日益凸显 (Chen *et al.*, 2009)。红枫湖水体氮磷比高达 40:1, 是典型的磷限制性湖泊。前人对红枫湖磷的污染 (工业废水排放、农业面源污染、城镇-农村生活污水等) 已进行了大量的野外调查研究 (张明时等, 2009; 刘汉林等, 2009; 王震洪, 2009; 王家齐, 2012), 但对沉积物内源磷的贡献缺乏定量评估。本研究以红枫湖为例, 系统开展了野外调查分析法、模拟实验法和扩散模型法等 3 种沉积物内源磷释放通量估算方法的对比研究, 旨在定量估算红枫湖沉积物内源磷释放通量及其对水体磷的贡献比例, 为科学制定该类型湖泊富营养化防治措施提供科学依据。

研究表明: ①野外调查法通过对流域工业废水、城镇生活污水、农村生活污水、农业面源污染、大气沉降和畜禽养殖污染等的调查与分析, 可估算湖

泊外源磷输入通量, 利用质量平衡计算粗略获得内源磷释放通量。然而, 利用野外调查法进行污染物来源的定量解析, 工作量大, 且存在取样代表性、采样周期及频次等方面的差异, 研究结果往往存在较大偏差。②模拟实验法是通过采集原状沉积物柱芯, 在实验室模拟不同条件下沉积物内源磷的释放, 定量计算湖泊内源磷释放通量的方法。利用柱芯培养实验进行内源磷释放通量估算, 结果表明: 红枫湖沉积物内源磷的释放通量约为 12.9 t/a, 占全湖水体磷总磷的 46%。③扩散模型法是通过沉积物-水界面的精细研究, 借助物质扩散模型计算获取沉积物磷释放通量的方法。近年来, 快速发展的薄膜扩散梯度技术 (diffusive gradients in thin-films technique, DGT) 可在亚毫米尺度获取沉积物-水界面磷酸盐的空间分布信息, 大幅提高了扩散模型法应用的准确性与便捷性。计算表明, 夏季红枫湖沉积物内源磷释放通量约为 6.3~8.0 t/a, 占全湖水体总磷的 22%~29%。

综上所述, 红枫湖沉积物内源磷释放是水体磷的重要来源, 在红枫湖富营养化治理工作中, 需进一步加强沉积物内源磷释放控制关键技术研究, 采取有效工程措施削减沉积物内源磷释放量。从国内外众多湖泊的治理经验来看, 红枫湖水质目前正处于转变的“临界点”, 要想从根本上抑制水体富营养化, 必须坚持“内外源污染并重”, 一方面应继续强化外源污染治理, 另一方面加强沉积物内源磷释放控制, 结合红枫湖底泥污染物空间分布特征, 针对不同湖区特点提出系统配套的治理技术体系和治理方案。

基金项目: 贵州省应用基础研究计划重大项目 (黔科合 J 重大字 [2015] 2001 号); 贵州省科技计划项目 (黔科合 [2016] 支撑 2802 号)

第一作者简介: 王敬富 (1983-), 男, 副研究员, 研究方向: 湖泊环境. E-mail: wangjingfu@vip.skleg.cn.

* 通讯作者简介: 陈敬安 (1973-), 男, 研究员、博导, 研究方向: 环境地球化学. E-mail: chenjingan@vip.skleg.cn.