

北京城区PM_{2.5}各组分污染特征及来源分析

安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献

PM_{2.5} 化学组成

SO₄²⁻ NH₄⁺ NO₃⁻
元素碳 Cl⁻ 有机物 地壳元素

源解析

二次
颗粒物

机动车

扬尘

工业

燃煤

生物质
燃烧



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年5月

第43卷 第5期
Vol.43 No.5

目次

北京城区 PM _{2.5} 各组分污染特征及来源分析	安欣欣, 曹阳, 王琴, 富佳明, 王陈婧, 景宽, 刘保献 (2251)
基于时空混合效应模型的京津冀 PM _{2.5} 浓度变化模拟	范丽行, 杨晓辉, 宋春杰, 李梦诗, 段继福, 王卫, 李夫星, 李伟妙 (2262)
2000~2018 年京津冀城市群 PM _{2.5} 时空演变及其与城市扩张的关联	赵安周, 相恺政, 刘宪锋, 张向蕊 (2274)
海-陆大气交汇作用下青岛冬季大气 PM _{2.5} 污染特征与来源解析	虞雄, 杨凌霄, 张婉, 齐安安, 王滢铭, 王鹏程, 黄琦, 赵彤, 张雄飞, 徐鹏, 张天琪, 王文兴 (2284)
硫酸盐非均相机制对颗粒物污染的影响: 上海典型污染事件的 WRF-Chem 模拟	张茹涵, 张皓然, 冯伟航, 汤克勤, 马亚平, 王红丽, 黄成, 胡建林, 张宏亮, 李楠 (2294)
省会城市不同功能区大气 PM _{2.5} 化学组分季节变化及来源分析	孙友敏, 范晶, 徐标, 李彦, 韩红, 张桂芹 (2304)
太原市冬季不同污染程度下 PM _{2.5} 的化学组成、消光特征及氧化潜势	任娇, 赵荣荣, 王铭, 张欢欢, 尹诗杰, 薛永刚 (2317)
郑州市冬季大气 PM _{2.5} 金属元素来源及健康风险评价	姚森, 王乾恒, 薛妍, 史来文, 张俊美, 杨书申 (2329)
淄博市冬季 PM _{2.5} 载带金属元素污染特征、生态风险评价及来源分析	白雯宇, 徐勃, 郭丽瑶, 殷宝辉, 马银红, 李丽明, 杨文, 赵雪艳 (2336)
承德市 PM _{2.5} 中多环芳烃的季节分布特征、来源解析及健康风险评价	贺博文, 聂赛赛, 李仪琳, 郭睿瑶, 姚波, 崔建升, 冯亚平, 王帅, 侯晓松 (2343)
珠三角大气中二噁英污染水平与区域迁移	付建平, 谢丹平, 黄锦琼, 杨艳艳, 冯桂贤, 周长风, 廖海婷, 青亮, 张漫雯, 吴明亮, 张素坤 (2355)
华北平原南部农村地区黑碳气溶胶浓度及来源	张玲, 孔少飞, 郑煌, 胡尧, 曾昕, 程溢, 祁士华 (2363)
基于模式过程分析技术天津地区 PM _{2.5} 污染气象成因分析	郝团, 蔡子颖, 韩素芹, 杨旭, 樊文雁, 姚青, 邱晓滨 (2373)
基于排放量和大气反应活性的 VOCs 污染源分级控制	陈鹏, 张月, 邢敏, 李珊珊 (2383)
基于复杂网络的中国臭氧拓扑特征	菅娜, 陈建华, 李冬, 王迪, 薛志钢 (2395)
基于前体物多情景排放的兰州市 2030 年夏季臭氧预测	陈天雷, 吴敏, 潘成珂, 常莉敏, 李洪, 刘鹏, 高宏, 黄韬, 马建民 (2403)
基于源反演和气溶胶同化方法天津空气质量模式预报能力改进	蔡子颖, 唐邈, 肖致美, 杨旭, 朱玉强, 韩素芹, 徐虹, 邱晓滨 (2415)
基于空气质量监测数据的钢铁行业污染源识别方法	石耀耀, 胡京南, 褚咏晰, 段青春, 胡丙鑫, 殷丽娜, 吕玲玲 (2427)
重污染天气应对“绩效分级、差异化管控”措施首次实践效果后评估	曾景海, 王灿 (2436)
黄河流域水污染风险分区	周夏飞, 曹国志, 於方, 杨威杉, 徐泽升 (2448)
黄河流域甘肃段工业行业水污染物空间排放特征	李雪迎, 杨曦, 乔琦, 刘丹丹, 张玥, 赵若楠, 白璐 (2459)
黄河沉积物重金属时空分布与污染评价	王韬轶, 潘保柱, 韩语, 王雨竹, 李晨辉, 杜蕾 (2467)
APCS-MLR 结合 PMF 模型解析厦门杏林湾近郊流域沉积物金属来源	沈宸宇, 闫钰, 于瑞莲, 胡恭任, 崔建勇, 颜妍, 黄华斌 (2476)
河流底泥 DOM、营养盐与重金属空间分异特征及响应关系	肖艳春, 于会彬, 宋永会 (2489)
太原市汾河河岸带土壤重金属分布特征、评价与来源解析	胡杰, 赵心语, 王婷婷, 苟奎贤, 王春玲 (2500)
洪泽湖溶解态有机质与重金属汞的结合特性	胡斌, 王沛芳, 张楠楠, 包天力, 金秋彤 (2510)
富营养化驱动下西凉湖百年来生态系统演化轨迹	郑佳楠, 徐敏, 郑文秀, 朱可欣, 王荣, 张恩楼 (2518)
基于 DGT 技术的黄河上游典型水库沉积物氮磷释放与污染源解析	马玉坤, 朱翔, 庞晴晴, 孔明, 韩天伦, 彭福全, 谢磊, 汪龙眠, 徐斌, 何斐 (2527)
暴雨前后河南北部河流水质分异特征及其污染源解析	张彦, 邹磊, 梁志杰, 姜明, 李平, 黄仲冬, 齐学斌 (2537)
鄱阳湖流域水葫芦 (<i>Eichhornia crassipes</i>) 对水体微塑料的吸附截留效应	李文刚, 吴希恩, 简敏菲, 刘淑丽, 刘海球, 丁惠君 (2548)
太湖塑料添加剂时空分布和生态风险评价	刘舒娇, 丁剑楠, 石波哲, 张军毅, 庄严, 邹华 (2557)
骆马湖表层沉积物微塑料的分布、来源及储量	姚明轩, 白雪, 徐振佳, 李凤杰, 陆滢, 李畅, 华祖林 (2566)
太湖不同介质中磷的污染特征及其治理启示	蔡梅, 陆志华, 王元元, 钱旭 (2575)
辽河四平段流域河流沉积物微生物群落多样性和结构分析	李鹏洋, 安启睿, 王新皓, 孙思宇, 李肖乾, 郑娜 (2586)
面源污染诱导嘉陵江沉积物中细菌群落结构与功能异变	薛玉琴, 徐飞, 刘坤和, 王佳颖, 竹兰萍, 朱志豪, 张拓 (2595)
微塑料对沉积物细菌群落组成和多样性的影响	李汶璐, 王志超, 杨文煊, 张博文, 李卫平 (2606)
白洋淀冬季沉积物好氧反硝化菌垂直分布特征及群落构建	张甜娜, 陈召莹, 张紫薇, 周石磊, 孟佳靖, 陈哲, 张一凡, 董宛佳, 崔建升 (2614)
人工诱导水库分层水体提前混合对细菌群落结构和代谢活性的影响	高悦, 黄廷林, 李楠, 齐允之, 司凡, 杨斌 (2624)
鄱阳湖典型区铜锈环螺体内微塑料分布特征	江为群, 胡启武, 简敏菲, 邹龙, 刘淑丽 (2633)
负载多壁碳纳米管的多孔 Ti/SnO ₂ -Sb-Ni 电极电催化氧化双酚 A	符远航, 刘安迪, 黄伟斌, 唐柏彬, 张进忠 (2640)
磁性 Mn _{0.6} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ 催化 H ₂ O ₂ 降解亚甲基蓝效能及机制	徐冬莹, 余静, 郝旗, 杨迎春, 方淑红 (2650)
两种纳米颗粒对沸石吸附环丙沙星的影响	蒋兰翠, 孟昭福, 刘贤, 刘欣, 王新欣, 曹雪雯 (2662)
AMD 污泥复合材料吸附 As(V) 的机制及其影响因素	张亚辉, 张瑞雪, 吴攀, 陈世万, 杨艳, 安丽, 傅渝然, 张子豪 (2673)
三氯生及其降解中间产物对活性污泥中微生物群落变化和硝化反硝化功能基因的影响	卢英源, 董小琦, 彭星星, 贾晓珊 (2685)
污染场地风险管控可持续评价指标体系构建及关键影响因素分析	李笑诺, 易诗懿, 陈卫平 (2699)
基于生态功能的滨海湿地土壤质量综合评价方法构建及实证分析	张雪, 孔范龙, 姜志翔 (2709)
铜山矿区周边农田土壤重金属来源解析及污染评价	陈航, 王颖, 王澍 (2719)
典型铁、锰矿物对稻田土壤砷形态与酶活性的影响	周一敏, 黄雅媛, 刘凯, 赵儒乐, 李冰玉, 雷鸣 (2732)
两种油菜施肥水溶性壳聚糖修复典型铅污染农田土壤	孟晓飞, 郑国砥, 陈同斌, 杨俊兴, 郭俊梅, 刘杰 (2741)
基于贝叶斯理论的小麦籽粒镉铅超标风险预测	王天齐, 李艳玲, 杨阳, 牛硕, 王美娥, 陈卫平 (2751)
紫色土旱坡地油菜/玉米轮作下氮流失的年度变化特征	徐曼, 高明, 余添, 朱浩宇, 邓华, 王子芳 (2758)
不同原料生物炭的理化特性及其作炭基肥缓释载体的潜力评价	邢莉彬, 成洁, 耿增超, 张宏伟, 梁宏旭, 王强, 孙倩倩, 李艳 (2770)
木醋液酸化生物炭与氮素配施对盐渍土壤活性氮及氮挥发的影响	申书伟, 张丹丹, 王敏鸽, 王旭东 (2779)
生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响	郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 陈海心, 冯浩 (2788)
戴云山南坡不同海拔森林土壤微生物群落结构特征和影响因素	何中声, 王紫薇, 朱静, 陈佳嘉, 谷新光, 江蓝, 陈博, 吴则焰, 刘金福, 陈文伟 (2802)
模拟增温和降雨增加对撂荒草地土壤胞外酶活性及计量特征的影响	王兴, 钟泽坤, 简俊楠, 张硕宏, 杨改河, 任成杰, 冯永忠, 任广鑫, 王晓娇, 韩新辉 (2812)
中国主要城市的城市化对局地增温的贡献	李宇, 周德成, 闫章美, 张良侠 (2822)
《环境科学》征订启事 (2293)	
《环境科学》征稿简则 (2426)	
信息 (2585, 2672, 2708)	

富营养化驱动下西凉湖百年来生态系统演化轨迹

郑佳楠^{1,2}, 徐敏², 郑文秀², 朱可欣^{1,2}, 王荣^{2*}, 张恩楼²

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

摘要: 长江中下游浅水湖泊是区域社会可持续发展的重要自然资源,富营养化问题致使该地区湖泊发生草-藻转换,限制了湖泊生态系统服务的供给。湖泊环境问题是生态系统受外力长期胁迫的结果,湖泊生态治理与保护须充分了解系统的演化规律,但是相关认识受限于长期监测资料的缺失。为了厘清长江中下游地区典型草型湖泊生态系统演化轨迹,更有效管理受损湖泊,选择西凉湖为研究对象,利用沉积记录代用指标粒度、元素和硅藻等,在高分辨率放射性核素定年的基础上,分析了近150年来西凉湖生态系统的演变规律。结果表明,西凉湖在20世纪40年代之前水体清澈,营养水平较低,沉水植物相对较少;而20世纪40年代以后,人类活动逐渐增强导致湖泊营养水平升高,水生植被增多;硅藻群落结构逐渐由浮游硅藻组合向底栖和附生硅藻组合演替,同时沉积物营养不断增加,表明以流域土地利用方式改变、围垦和渔业养殖等为代表的人类活动深刻改变了湖泊生态系统结构。研究认为虽然湖泊营养在20世纪70代之后一直维持在较高水平,达到富营养化标准,但沉水植被的生长限制了湖泊藻类浓度,西凉湖并未藻类暴发。同时也发现外源营养的增加通过湖泊初级生产者深刻影响了湖泊的地球化学循环,造成了沉积物碳酸钙的累积。这一过程表明富营养化驱动下沉水植物的演替影响了西凉湖营养地球化学循环过程,可能导致内源释放风险增大。以此明确了长江中下游地区典型草型湖泊的演化过程,评估了该类型湖泊在长期人类活动和气候变化下面临的生态风险,为区域湖泊的管理提供科学依据。

关键词: 西凉湖; 浅水湖泊; 生态系统演化; 硅藻群落; 富营养化

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)05-2518-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.202109101

Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication

ZHENG Jia-nan^{1,2}, XU Min², ZHENG Wen-xiu², ZHU Ke-xin^{1,2}, WANG Rong^{2*}, ZHANG En-lou²

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River are important natural resources for the regional sustainability. Eutrophication has transformed many lakes in this region from a clear macrophyte-dominated state to a turbid phytoplankton-dominated state, limiting the supply of lake ecosystem services. Environmental deterioration of these lake ecosystems was the result of long-term pressures from external forces. A full understanding of the lake evolution is the prerequisite for ecological management and protection, but the relevant understanding is limited by the lack of long-term monitoring data. Lake Xiliang was thus selected to clarify the evolutionary trajectory of typical macrophyte-dominated lake ecosystems in the middle and lower reaches of the Yangtze River and better govern lakes in this region. Based on high-resolution radionuclide dating, the evolutionary patterns over the past 150 years of Lake Xiliang were analyzed using sedimentary proxies such as grain size, chemical elements, and diatoms. The results showed that before the 1940s, Lake Xiliang was clear with a low nutrient level and relatively fewer submerged plants. Conversely, after the 1940s, human activities gradually increased and led to the higher nutrient level and higher coverage of macrophytes; the diatom composition gradually evolved from planktonic-dominated assemblages to benthic- and epiphytic-dominated ones, and the nutrient level of sediment also kept increasing, indicating that human activities represented by land use changes in the watershed, polder, and fish farming have profoundly changed the ecosystem structure of the lake. The study showed that although lake nutrients have been maintained at a high level after the 1970s and became eutrophic, the growth of submerged vegetation limited the concentration of algae in the lake and prevented an algae outbreak in Lake Xiliang. It was also found that the increase in exogenous nutrients profoundly affected the geochemical cycle of the lake through primary producers, causing the accumulation of sediment calcium carbonate. This process showed that the succession of submerged plants driven by eutrophication affected the nutrient geochemical cycle of Lake Xiliang, which may increase the risk of endogenous release. The evolutionary processes of a typical macrophyte-dominated lake in the middle and lower reaches of the Yangtze River was thus clarified, and the ecological risks faced by this type of lake under long-term human activities and climate change were also assessed, providing a scientific basis for the management of regional lakes.

Key words: Lake Xiliang; shallow lake; ecosystem evolution; diatom community; eutrophication

湖泊是地表重要的水生生态系统,提供灌溉、饮水、渔业和文化旅游等多种生态系统服务,生态和社会价值十分显著^[1,2]。人类对湖泊资源的不合理开发利用已导致越来越多的湖泊生态系统恶化,出现湖泊面积萎缩,生物多样性减少,水体富营养化等一系列问题^[3,4]。气候变化与人类活动是引发湖泊环境问题的最主要驱动力。如何应对未来气候变

化和人类活动对湖泊生态系统的影响,是全球变化研究的重要课题。

收稿日期: 2021-09-12; 修订日期: 2021-10-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFA0605203); 江苏省“双创博士”项目(JSSCBS20211397); 中国长江三峡集团有限公司项目(201903144)

作者简介: 郑佳楠(1996~),男,硕士研究生,主要研究方向为湖泊沉积与环境演化, E-mail: zhengjianan19@mails.ucas.ac.cn

* 通信作者, E-mail: rwang@niglas.ac.cn

中国湖泊类型多样,区域差异明显,不同区域湖泊生态系统受人类活动和气候变化影响的方式和程度不同.西北部湖区,气候变化造成了湖泊萎缩和咸化;青藏高原湖泊普遍受到冰川融水影响,湖泊面积增加;而东部湖区长期受到强烈人类活动的影响,出现富营养化、水质恶化和生物多样性下降^[5-8].突出的环境问题已引起各级政府的关注,并开展了各类综合治理工作.然而,湖泊治理效果依然有限,很多湖泊环境依然持续恶化.有研究表明,湖泊生态系统是长期演化的结果,对湖泊演化历史的理解,有利于揭示湖泊生态系统的退化机制和预测未来发展趋势,为湖泊的治理和保护提供科学依据^[9].

古湖沼学是利用湖泊沉积物中保存的各类代用指标研究历史时期湖泊生态环境变化,进而揭示湖泊生态系统演化轨迹的研究方法^[9].沉积物中的硅藻亚化石,因分布广泛,保存性好,对环境变化敏感等特点,被广泛应用于湖泊生态环境演化研究^[10-12].目前,基于沉积物硅藻和各种理化指标重建湖泊生态环境演化过程的研究已经在中国湖泊中大量开展^[13-16].这些研究揭示了近百年来不同类型湖泊对气候、水文和营养变化的响应特征;分析了湖泊生态系统退化的原因,探讨了湖泊生态系统修复的参考目标,为地区湖泊富营养化治理提供了重要参考信息^[17].

长江中下游流域是我国淡水湖泊非常集中的区域之一,湖泊数量占全国总数量的23.4%,淡水湖泊面积占全国湖泊总面积的26.3%^[18].由于长期受人类活动干扰影响,该区也成为我国湖泊富营养化问题最为突出的区域^[19,20].对已有研究的调查显示,目前长江中下游大多数湖泊已经由水体清澈和沉水植物占优势的草型湖转变为水质浑浊和藻类频发的藻型湖^[21].由于草型湖泊数量大量消失,这一区域湖泊生态环境演化过程研究多以藻型湖为主^[22-24],缺乏对生态环境较好的草型湖泊演化轨迹及其对环境干扰响应机制等问题的深入认识.因此,本文选取长江中游地区典型草型湖泊西凉湖为研究对象,结合高分辨率定年和沉积物中多指标分析,重建西凉湖历史时期水生植被的演化过程,评估气候变化与人类活动背景下草型湖泊生态系统演化所面临的生态风险,以期对区域湖泊管理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西凉湖(29°51'~30°02' N, 114°00'~114°10' E)是湖北省第五大湖泊,位于湖北省咸宁市西北

部,跨赤壁、嘉鱼和咸宁三县市,因处于梁子湖西,又名西梁湖(图1).西凉湖东临斧头湖,北面长江,历史上曾与斧头湖连通.西凉湖由东部和西部湖区组成,水位22.0 m,长15.4 km,最大宽8.2 km,平均宽4.68 km.20世纪30年代前湖泊面积约131.2 km²,20世纪70年代开始围垦后,现有面积约84 km².最大水深4.1 m,平均水深1.94 m,蓄水量约 $1.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[25].西凉湖地处亚热带北缘,四季分明.全年无霜期约270 d,年均气温16.7~16.8℃,年均降水量1220~1370 mm^[26].近60年来气象观测数据显示(图2),西凉湖流域年均气温呈现上升趋势,而年降雨量并无显著变化趋势.

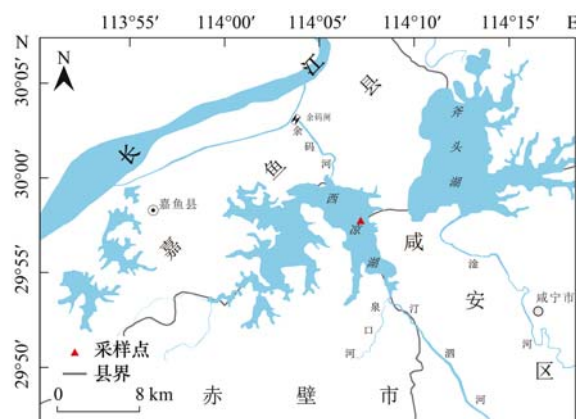


图1 西凉湖采样点位置示意

Fig. 1 Sampling site location of Lake Xiliang

西凉湖是目前长江中下游地区所剩不多的草型湖泊.对西凉湖水生植物观测显示,2001年西凉湖水生植物覆盖率约为61%,1980~2001年期间有8种水生植物从西凉湖中消失^[27].2013年对西凉湖水生植物多样性调查发现,全湖水生(湿)生植物共计75种,其中沉水植物主要以菹草、微齿眼子菜、轮叶黑藻和苦草为主;浮叶植物主要以格菱和荇菜为主;漂浮植物主要以浮萍和凤眼莲为主;挺水植物则以芦苇、菰和莲为主;湿生植物以莎草科、禾本科和菊科为优势类群,且绝大多数为中富-富营养属种^[28].

由于长江河床迁移,湖泊水位下降,河床迁移,西凉湖和斧头湖逐渐分开^[29].西凉湖水产养殖业发达,20世纪70年代以前便开始了围网养殖,但属于人放天养的养殖模式,人类对湖泊生态环境干扰较小.在70年代挖掘余码河,修筑余码闸之后,加大了对湖泊的改造利用,围垦造田、围塘养殖和围网养殖等面积逐渐扩大,围网面积一度达到全湖面积的60%,到2005年市政府发布相关通告,才停止围湖筑堤等活动^[30].

1.2 样品采集与实验室分析

2020年9月于西凉湖东部湖区

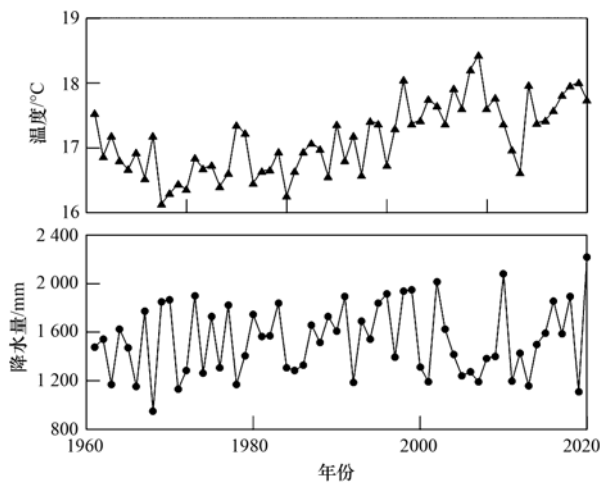


图2 1960~2020年西凉湖流域气象数据

Fig. 2 Meteorological data of Lake Xiliang basin from 1960 to 2020

(29°57'46.006 2"N, 114°07'11.246 7" E) 水深 3.5 m 处, 利用重力采样器采集了 3 根沉积岩芯 (XLHA、XLHB 和 XLHC), 长度分别为 77、83.5 和 82 cm. 每根沉积岩芯以 0.5 cm 为间距现场分样, 样品密封放置冰箱冷藏保存. 本研究选取编号 XLHB (83.5 cm) 进行各项指标分析测试.

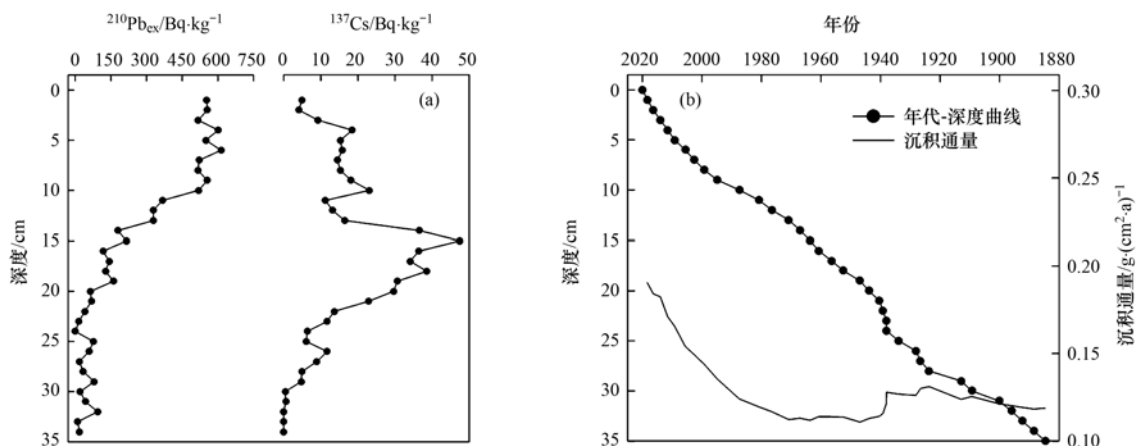
^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比活度测定采用美国 EG&GOrtec 公司生产的高纯锗井型探测器 (HPGe GwL-120-15), 利用恒定通量模型 (constant rate of supply, CRS) 获得年代框架^[31]. 将样品研磨后用稀盐酸去除碳酸盐, 清洗离心烘干, 用 EA 3000 元素分析仪测定沉积物中的 TN 和 TOC^[32]. 沉积物中各类元素测定采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 四酸消解法处理后, 用等离子体原子发射光谱仪 (ICP-AES) 测定, 测试误差控制在 $\pm 5\%$ 之间^[33]. 粒度测定是将样品经过双氧水去除有机质后用 Mastersizer 3000 型激光粒度仪测量^[34]. 质量磁化率采用 Bartington MS2 型磁化率仪进行测定. 沉积物中硅藻制片鉴定参考标准方法^[35] 用稀盐酸去除碳酸盐, 再用双氧水去有机质, 清洗离

心后用树胶制片. 沉积硅藻的鉴定标准参考 Krammer 和 Lange-Bertalot 分类系统^[36]. 每个样品硅藻统计在 500 个以上, 属种相对丰度以百分比表示. 硅藻属种时间序列上的演化阶段采用 Tilia 软件进行 CONISS 聚类分析划分.

2 结果与分析

2.1 钻孔沉积年代确定

本研究考虑到百余年尺度下沉积速率的非恒定性以及沉积物的压实作用, 因此采用恒定放射性通量模式 (constant rate supply, CRS) 计算西凉湖 XLHB 沉积钻孔年代^[37,38], 并结合 ^{137}Cs 检验 CRS 模式下年代的合理性. 西凉湖沉积钻孔中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比活度变化如图 3 (a) 所示, 过剩 ^{210}Pb 比活度 ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$) 总体上随着深度的增加而递减, ^{137}Cs 在 15 cm 处出现峰值, 对应于 1963 年全球核试验高峰期^[39]. ^{210}Pb 沉积岩芯年代、深度和沉积通量的对应关系如图 3 (b) 所示. 由于近百年来, 不断加剧的人类活动是该区域湖泊生态环境恶化的重要原因, 因此本研究关注的时间尺度为近 100 年左右, 各指标处理与数据分析选取沉积钻孔上部 35 cm 开展. XLHB 沉积岩芯 31 cm 以上的平均沉积速率为 $2.58 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均沉积通量为 $0.132 \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 31 cm 处对应沉积年份为 1900 年. 31 cm 以下根据平均沉积速率计算出 35 cm 处所对应的沉积年份为 1885 年. 同时 15 cm 处对应年份为 1964 年, 符合北半球 1963 ~ 1964 年地面 ^{137}Cs 沉降出现高峰值^[40]. 根据年代计算的沉积物干通量 (dry mass accumulation rate, DMAR) 显示, 1940 年之前沉积通量呈现平稳变化趋势, 1940 年后从 $0.122 \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 陡然减小至 $0.112 \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$, 之后随时间增加. 最高值出现在表层, 为 $0.190 \text{ g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ [图 3 (b)].

图3 西凉湖钻孔中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比活度的垂直变化以及年份-深度-沉积通量对应曲线Fig. 3 Vertical variation in ^{210}Pb and ^{137}Cs specific activities in Lake Xiliang core and corresponding curve of age (AD)-depth-sedimentary flux

2.2 沉积物理化指标

沉积岩芯各金属元素变化如图 4 所示, $\omega(\text{Al})$ 、 $\omega(\text{Fe})$ 和 $\omega(\text{Mg})$ 变化趋势一致, 表现为在 20 世纪 40 年代之前相对稳定, 均值分别为 98.19、49.33 和 $8.81 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 之后逐渐降低至 2018 年左右最低值。而 $\omega(\text{Ca})$ 则呈现出完全相反的趋势, 其含量在 20 世纪 40 年代之前也较为稳定, 均值为 $33.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$; 之后开始显著增加, 2018 年左右达到最大值 $207.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 约为 20 世纪 40 年代之前的 6.7 倍。

西凉湖沉积物中总有机碳(TOC)和总氮(TN)质量分数自钻孔底部向顶部呈增加趋势, $\omega(\text{TOC})$ 从 2.02% 升高到 21.01%, $\omega(\text{TN})$ 从 0.26% 升高到

2.94%。20 世纪 40 年代之前 $\omega(\text{TOC})$ 和 $\omega(\text{TN})$ 变化稳定, 分别处于 2.02% ~ 2.61% 和 0.26% ~ 0.32% 之间。20 世纪 40 年代以来, $\omega(\text{TOC})$ 和 $\omega(\text{TN})$ 存在两次明显的上升阶段, 分别为 20 世纪 40 年代至 80 年代和 21 世纪初以来, 其中 $\omega(\text{TOC})$ 从 2.39% 升高到顶部的 21.01%, 而 $\omega(\text{TN})$ 从 0.31% 升高到 2.94%。20 世纪 80 年代以前, 沉积物中 $\omega[\text{总磷(TP)}]$ 相对稳定, 保持在 $0.26 \sim 0.45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间, 20 世纪 80 年代以来, $\omega(\text{TP})$ 增幅明显, 最高值出现在顶部, 为 $1.06 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。西凉湖沉积柱 XLHB 中 $\omega(\text{TOC})$ 、 $\omega(\text{TN})$ 和 $\omega(\text{TP})$ 的变化指示了西凉湖 20 世纪 40 年代以来湖泊营养水平的持续提升。

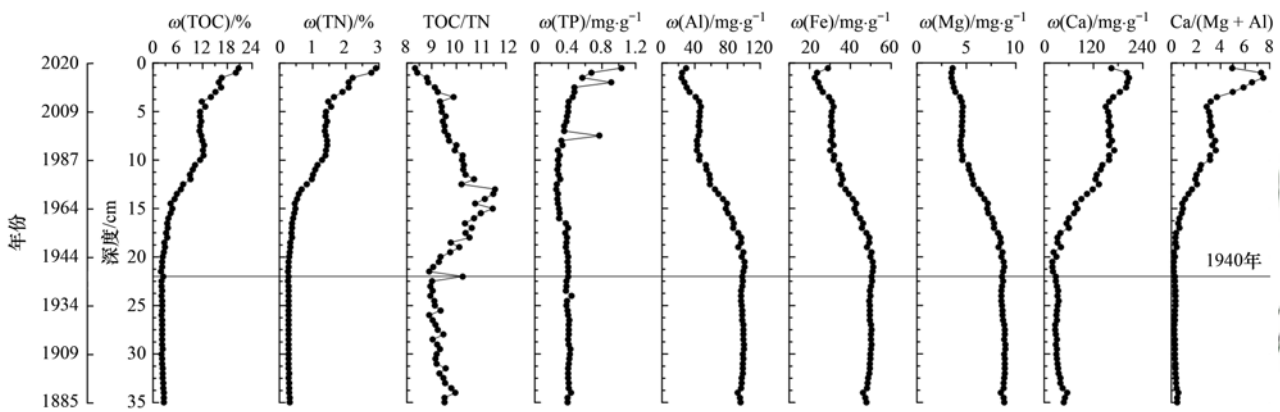


图 4 西凉湖沉积钻孔中总碳、总氮和地球化学元素变化

Fig. 4 Variation in total carbon, total nitrogen, and geochemistry elements in sedimentary core in Lake Xiliang

湖泊沉积物中有机质含量主要受内源自生和外源输入的共同影响, 有研究认为沉积物中 TOC/TN 的大小可以间接反映有机质的来源^[41]. 当 TOC/TN 处于 4 ~ 10 之间时, 沉积物中有机质来源主要以水生植物以及各种藻类为主; 其中浮游藻类因有机氮的含量较高, TOC/TN 通常介于 4 ~ 8 之间^[42]; 而大型水生维管束植物 TOC/TN 差异较大, 介于 10 ~ 30 之间^[43]; 而陆生高等植物 TOC/TN 则普遍大于 20^[44,45]. 西凉湖沉积物中 TOC/TN 变化范围为 8.33 ~ 11.59, 均值为 9.70. 20 世纪 40 年代之前, 西凉湖沉积物中 TOC/TN 变化稳定且小于 10, 表明此时西凉湖中有机质主要受到内源自生的影响; 20 世纪 40 ~ 80 年代之间, TOC/TN 开始增加, 一度达到 11.59, 可能是该阶段大型水生植物增多或者外源输入增加导致; 20 世纪 80 年代以来, 西凉湖沉积物中 TOC/TN 开始持续降低, 内源贡献提高, 可能是浮游和沉水植物进一步增多导致; 同时 TOC 含量陡增, 反映了西凉湖初级生产力持续增高。

西凉湖沉积物中质量磁化率由底部向顶部逐渐降低, 变化范围在 $13.23 \times 10^{-8} \sim 39.78 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 均值为 $30.22 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 5)。

20 世纪 40 年代之前, 质量磁化率降低趋势缓慢, 降幅较小; 而 20 世纪 40 年代之后降低趋势明显. 西凉湖沉积柱中的粒径组分以粒径较粗的粉砂 ($2 \sim 63 \mu\text{m}$) 组分为主, 占比在 41.08% ~ 78.78% 之间, 均值为 55.52%. 中值粒径 (D_{50}) 则介于 $3.13 \sim 30.90 \mu\text{m}$ 之间, 均值为 $8.15 \mu\text{m}$. 20 世纪 40 年代之前, 沉积柱中粒径组分由黏土 ($< 2 \mu\text{m}$) 和粉砂交替主导, 砂石 ($> 63 \mu\text{m}$) 占比较低, 这一阶段中值粒径也较细; 20 世纪 40 年代以来, 砂石占比开始增加, 同时黏土占比开始降低, 中值粒径随之变粗。

2.3 沉积硅藻组合

共鉴定出硅藻 23 属 80 种, 主要包括底栖、附生和浮游类型, 其中主要 26 个属种 (相对丰度 $> 2\%$) 组分如图 6 所示. 硅藻群落中底栖和附生类型总含量较高, 最高总含量可达 89.75% 且属种丰富, 包括 *Achnanthes minutissima*、*Amphora libyca*、*Cocconeis placentula*、*Epithemia adnata*、*Fragilaria construens*、*Gyrosigma acuminatum*、*Pinnularia* spp. 和 *Surirella* spp. 等. 浮游种包括 *Aulacoseira granulata*、*Cyclotella meneghiniana*、*Cyclotella pseudostelligera*、*Cymbella affinis*、*Fragilaria pinnata*

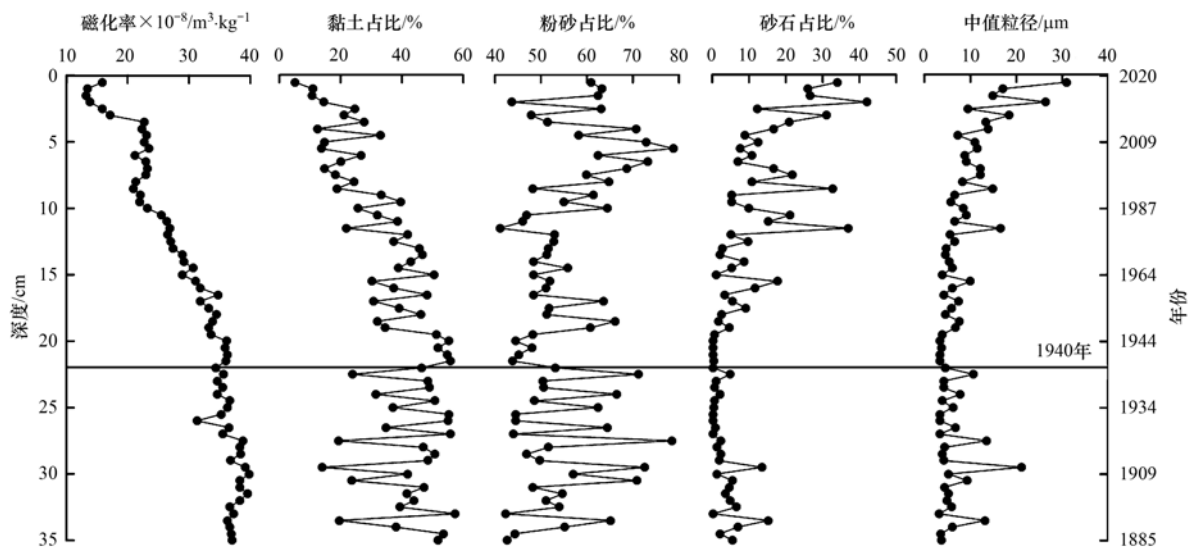


图5 西凉湖沉积孔中磁化率和粒径组成变化

Fig. 5 Variation in magnetic susceptibility and particle size composition in sedimentary core in Lake Xiliang

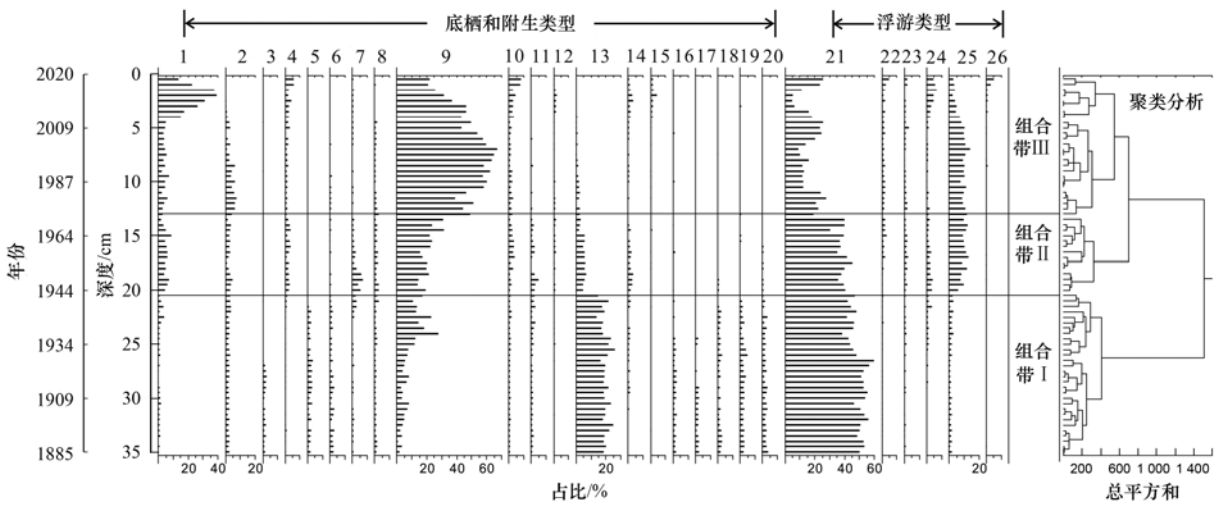


图6 西凉湖沉积柱中主要硅藻群落相对丰度变化(相对丰度 >2%)

Fig. 6 Variation in relative abundance of main diatom communities in the sedimentary core of Lake Xiliang (relative abundance >2%)

和 *Fragilaria tenera* 等。同时,兼附生浮游中 *Fragilaria ulna* 也伴生出现,其相对丰度较小且变化不明显,本文中仍将其归于附生和底栖类型中。依据 CONISS 聚类分析可将西凉湖沉积柱中硅藻群落丰度变化划分为 3 个阶段,硅藻组合特征自沉积柱底部向上叙述如下:

组合带 I (35 ~ 20 cm; 1885 ~ 1944 年) 主要是以浮游种 *Aulacoseira granulata* 为绝对优势种,平均占比约为 48.98%,其余浮游种则很少出现。底栖和附生类型硅藻 *Gyrosigma acuminatum* 相对丰度稳定,平均占比约为 19.28%,是仅次于 *Aulacoseira*

granulata 的优势种。底栖种 *Fragilaria construens* 在这一阶段逐渐增加。其余底栖和附生类型属种,如 *Amphora libyca*、*Cymbella ehrenbergii* 和 *Navicula* spp. 等也有零星分布,但变化趋势并不明显。

组合带 II (20 ~ 13 cm; 1944 ~ 1971 年) 仍然以浮游种 *Aulacoseira granulata* 为优势种,但相对丰度较上一带有所减少,其相对丰度平均值为 38.24%。同属浮游种的 *Fragilaria pinnata* 在此期间明显增多,其余浮游种如 *Cyclotella meneghiniana*、*Cyclotella pseudostelligera* 和 *Cymbella affinis* 等属种的相对丰度也有所增加。底栖和附生类型硅藻中,上一带的优势

种 *Gyrosigma acuminatum* 的相对丰度大幅降低,平均值为 4.61%,取而代之的是 *Achnanthes minutissima*、*Cocconeis placentula* 和 *Fragilaria construens* 的增加。底栖种 *Navicula* spp.、*Cymbella elliptica*、*Cymbella ehrenbergii*、*Pinnularia* spp. 和 *Surirella* spp. 基本消失,其余底栖和附生类型变化不明显。

组合带Ⅲ(13~0 cm; 1971~2020 年)底栖种 *Fragilaria construens* 呈现明显的增加趋势,最高相对丰度达 66.98%,成为这一阶段的主要优势种。底栖和附生种 *Gyrosigma acuminatum* 几乎消失。2009 年以后, *Fragilaria construens* 则逐渐降低,有被 *Achnanthes minutissima* 取代的趋势。这一时期, *Achnanthes minutissima* 丰度增加明显,其余底栖和附生类型硅藻如 *Amphora libyca*、*Cocconeis placentula* 和兼浮游种 *F. ulna* 等也呈现增多趋势。前两带的优势种 *Aulacoseira granulata* 丰度降低明显,相对丰度平均值为 16.04%。浮游种的 *Fragilaria pinnata* 在 2009 年之后开始减少,逐渐被其他浮游种如 *Cyclotella meneghiniana*、*Cymbella affinis* 和 *Fragilaria tenera* 所取代。

3 讨论

西凉湖沉积柱中物理指标、地球化学指标及硅藻群落结构的变化综合揭示了西凉湖生态系统响应外力驱动的变化过程:20 世纪 40 年代之前,西凉湖生态系统稳定,各指标变化较小。建国以后由于发展需求,人们加强了对于西凉湖流域的开发,围湖筑堤和围网养殖等人类活动造成外源营养物质进入湖泊,使得湖泊水体营养水平升高。过度养殖最终造成营养物质大量富集,沉积物中 TP 含量上升,湖泊水体富营养化,浮游藻类大量生长。这一过程中西凉湖硅藻群落向富营养属种演替,同时湖泊初级生产力提高,水生植物大量发育。与此同时,大量 Ca 元素在沉积物中富集,这也造成其他元素的相对减少。围垦造塘和挖河建闸使湖泊水动力逐渐减弱,但是水生植物覆盖度增加干扰了湖泊沉积过程,造成沉积颗粒物粒径增大。

浅水湖泊沉积物中硅藻群落组合不仅可以反映历史时期水体营养水平的变化^[24,46],还能指示水生植被的变化^[23,47]。20 世纪 40 年代以前,西凉湖与长江仍然相连,湖水扰动较大,浮游种 *Aulacoseira granulata* 大量繁殖。同时底栖种 *Gyrosigma acuminatum* 也是优势种之一,反映了湖泊水体具有较高的透明度,阳光能够直射进入湖底。这一时期,西凉湖流域开发程度低,人类活动较弱,此时湖泊营

养水平和初级生产力均比较低,同时较大的水流扰动也可能阻碍水生植物生长。湖泊内水生植物较少可能是阳光能够直射湖底的重要原因之一,从而促进了 *Gyrosigma acuminatum* 的大量生长^[48,49,23]。20 世纪 40~70 年代之间,硅藻群落中 *Gyrosigma acuminatum* 锐减,而附生营养种如 *Achnanthes minutissima* 和 *Cocconeis placentula* 等开始出现;以 TOC 代表的初级生产力水平开始增高,同时 TOC/TN 逐渐升高反映出湖泊水生植物,主要是大型维管植物覆盖度增加。20 世纪 70 年代以来,随着农业、水产养殖的大力发展,大量营养物质进入湖泊,并逐渐迁移进入沉积物中,造成沉积物 TP 含量增加,为水生植物根部提供一定的营养。TOC 及 TN 含量增加明显,反映了西凉湖初级生产力的显著提升;而 TOC/TN 却逐渐降低至 8.5 左右,表明西凉湖水生植物由大型水生植物为主逐渐过渡为浮游和沉水植物覆盖为主。这一时期硅藻属种中附生种如 *Achnanthes minutissima* 显著增多,而底栖种 *Navicula* spp. 和 *Gyrosigma acuminatum* 等逐渐消失。同时余码闸的修筑减小了西凉湖的水动力条件,为沉水植物的生长提供了稳定的环境。水生植物的大量发育,削弱了湖泊水流对于入湖颗粒物的扰动,反而使得水动力减小的西凉湖沉积物颗粒变粗。

在西凉湖富营养化的过程中,研究发现沉积物中 Ca 逐渐富集而其他元素相对应地减少。湖泊沉积物中 Ca 的来源分为流域侵蚀和自生碳酸钙沉淀^[50]。淡水湖泊沉积物中碳酸盐类矿物主要包括流域侵蚀的白云石($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$)和自身沉淀的方解石(CaCO_3),并且 Al_2O_3 多数是以碎屑物质存在的惰性组分,因此沉积物中 $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 的比值变化可以近似反映湖泊自生碳酸盐的相对比例^[51]。由图 4 可知,自 20 世纪 40 年代以来,西凉湖沉积物中 $\text{Ca}/(\text{Mg} + \text{Al})$ 持续增加,表明这一阶段西凉湖沉积柱中碳酸钙含量的变化并非由惰性组分代表的流域侵蚀所导致,而是湖泊自生沉淀的原因。湖泊内碳酸盐主要受到生物过程的控制,而碳酸钙的沉淀主要是由于水生植物光合作用而产生^[52]。自 20 世纪 40 年代开始,由于营养水平的逐渐提高,西凉湖沉积柱硅藻组合反映出的水生植被覆盖度呈现增加趋势。这一过程中水生植物光合作用增强,水体里的溶解性无机碳(DIC)被大量消耗,这会使得水体 pH 值升高。研究发现,在偏碱性水体中 HCO_3^- 在光合作用中的消耗与碳酸钙沉淀紧密耦合^[53,54],造成了西凉湖沉积柱中 Ca 的持续性富集现象。虽然水体中的其他阳离子,如 Mg^+ 和 Na^+ 等也易于同 CO_3^{2-} 相结合沉淀,但相较于 Ca^{2+} 并不显著且更易

再次溶解^[55]. 沉积物中 Al、Fe、Mg 和 Ca 变化趋势呈现明显的负相关关系, 指示着其余金属元素含量受到 Ca 质组分稀释的影响. 而 20 世纪 70 年代以来湖泊水体逐渐富营养化, 水生植物大量发育导致西凉湖水体溶解氧含量降低, 湖泊底部水-泥界面处于还原状态, 不稳定的铁铝结合态磷(Fe/Al-P)中氧化铁被还原成游离态的 Fe^{2+} 并释放到上覆水体中. 同时水体 pH 升高, 促进 H_2PO_4^- 转变为 HPO_4^{2-} , 改变了 Fe 和 Al 氧化物表面电荷, 从而降低其对磷素的吸附作用^[56].

西凉湖沉积岩芯的研究表明, 近年来外源营养物质的输入促进了西凉湖水生植物的大量发育, 对西凉湖富营养化过程中维持生态系统的稳定起到了积极作用, 使得湖泊维持在清水状态, 但也影响了湖泊内元素地球化学循环. 有研究发现沉水植物对于抑制磷循环, 维持湖泊清水态具有重要意义^[57]. 一方面沉水植物可以降低风浪对湖水的扰动, 抑制了表层沉积物再悬浮^[58]; 另外水生植物吸收湖泊水体及底泥中的营养物质, 从而抑制藻类的生长^[59]. 另有研究发现, 沉水植物生长过程中会分泌抑制浮游藻类生长的化感物质, 达到竞争资源的目的^[60]. 这都对西凉湖在水体富营养化过程中仍然保持较高水体透明度, 未出现藻类占主导的浊水状态提供了保障. 但近年来在人类活动的影响下, 持续性外源营养物质输入造成西凉湖沉积物中 TP 含量不断升高(图 4), 这势必会损害湖泊生态系统抗营养干扰的能力, 降低湖泊生态系统弹性, 增加湖泊发生稳态转换的风险^[61]. 外源营养物质的增多已经造成西凉湖水体富营养化, 湖泊初级生产力大幅提高. 这一过程中大量 Ca^{2+} 析出沉淀, 稀释了沉积物中 Fe 和 Al 等元素的含量; 同时水生植物增多消耗湖泊中溶解氧, 影响湖泊水-泥界面氧化还原环境, 进一步增加了内源 P 释放的风险. 目前长江中下游地区普遍存在由于外源营养物质过多输入导致湖泊环境恶化的现象, 这些湖泊大多已由清水态转变为藻类频发的浊水态, 对于此类湖泊的治理往往因为营养物质内源释放等原因收效甚微. 本研究表明在湖泊富营养化过程中, 过剩的营养物质促进了湖泊初级生产力, 改变了水体环境, 导致沉积物地球化学循环发生变化, 并最终导致湖泊内源释放风险的增加. 内外源营养物质的双重压力逐渐损坏了湖泊生态系统状态, 使之产生突变和发生稳态转换的风险增加, 同时也增加了修复的难度.

4 结论

(1) 西凉湖沉积柱中高分辨率环境指标(粒度、

磁化率和金属元素)和沉积硅藻揭示了西凉湖富营养化过程中湖泊的生态响应过程. 结果显示: 20 世纪 40 年代之前湖泊维持着水体清澈, 营养水平较低, 水生植物稀少的稳定状态; 20 世纪 40 年代以来, 以流域土地利用方式改变为主的人类活动改变了湖泊生态系统结构, 水生植物逐渐增多, 硅藻群落组成由浮游种为主演替为以底栖附生种为主. 20 世纪 70 年代之后, 湖泊营养水平显著升高, 达到富营养化标准, 但由于沉水植被缓冲了营养物质的影响, 西凉湖并未转变为藻类占优的浊水状态.

(2) 在气候增温和人类活动加剧的背景下, 西凉湖水体逐渐富营养化. 这一过程导致水生植物增多, 改变了水体环境, 影响了湖泊中元素地球化学的循环, 造成碳酸盐因过饱和而大量累积, 最终增加了内源释放的风险, 这也使得湖泊生态系统更容易发生稳态转换, 提高了湖泊修复的难度.

致谢: 感谢王倩副研究员、董一凡和张晨雪等在采样和实验方面提供的帮助.

参考文献:

- [1] de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, *et al.* Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units [J]. *Ecosystem Services*, 2012, **1**(1): 50-61.
- [2] Gao C, Zhang T L. Eutrophication in a Chinese context: understanding various physical and socio-economic aspects [J]. *AMBIO*, 2010, **39**(5): 385-393.
- [3] Liu J G, Yang W. Water sustainability for China and beyond [J]. *Science*, 2012, **337**(6095): 649-650.
- [4] Ho J C, Michalak A M, Pahlevan N. Widespread global increase in intense lake phytoplankton blooms since the 1980s [J]. *Nature*, 2019, **574**(7780): 667-670.
- [5] Tao S L, Fang J Y, Ma S H, *et al.* Changes in China's lakes: climate and human impacts [J]. *National Science Review*, 2020, **7**(1): 132-140.
- [6] Zhang G Q, Yao T D, Chen W F, *et al.* Regional differences of lake evolution across China during 1960s-2015 and its natural and anthropogenic causes [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, **221**: 386-404.
- [7] Ma R H, Duan H T, Hu C M, *et al.* A half-century of changes in China's lakes: global warming or human influence? [J]. *Geophysical Research Letter*, 2010, **37**(24), doi: 10.1029/2010GL045514.
- [8] Fang J Y, Rao S, Zhao S Q. Human-induced long-term changes in the lakes of the Jiangnan Plain, Central Yangtze [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, **3**(4): 186-192.
- [9] 羊向东, 王荣, 董旭辉, 等. 中国湖泊古生态研究进展 [J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(5): 1380-1395.
- [10] Yang X D, Wang R, Dong X H, *et al.* A review of lake palaeoecology research in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(5): 1380-1395.
- [11] Bennion H, Fluin J, Simpson G L. Assessing eutrophication and reference conditions for Scottish freshwater lochs using subfossil diatoms [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, **41**(1): 124-138.
- [12] Hall R I, Smol J P. Diatoms as indicators of lake eutrophication [A]. In: Smol J P, Stoermer E F (Eds.). *The Diatoms*:

- Applications for the Environmental and Earth Sciences (2nd ed.) [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 122-151.
- [12] Zhang Q H, Dong X H, Yang X D, *et al.* Hydrologic and anthropogenic influences on aquatic macrophyte development in a large, shallow lake in China [J]. *Freshwater Biology*, 2019, **64** (4): 799-812.
- [13] Klamt A M, Hu K, Huang L P, *et al.* An extreme drought event homogenises the diatom composition of two shallow lakes in southwest China [J]. *Ecological Indicators*, 2020, **108**, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105662.
- [14] 钱福明, 张恺, 陈光杰, 等. 云南杞麓湖沉积物记录的近现代生态环境变化及影响因子识别 [J]. *湖泊科学*, 2018, **30** (4): 1109-1122.
- Qian F M, Zhang K, Chen G J, *et al.* Sediment-inferred recent pattern and drivers of environmental and ecological changes at Lake Qilu, Yunnan Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30** (4): 1109-1122.
- [15] Yang X D, Anderson N J, Dong X H, *et al.* Surface sediment diatom assemblages and epilimnetic total phosphorus in large, shallow lakes of the Yangtze floodplain: their relationships and implications for assessing long-term eutrophication [J]. *Freshwater Biology*, 2008, **53** (7): 1273-1290.
- [16] 陈旭, 羊向东, 刘倩, 等. 巢湖近代沉积硅藻种群变化与富营养化过程重建 [J]. *湖泊科学*, 2010, **22** (4): 607-615.
- Chen X, Yang X D, Liu Q, *et al.* Sedimentary diatom flora changes and eutrophication reconstruction for the last 200 years in Lake Chaohu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, **22** (4): 607-615.
- [17] 羊向东, 董旭辉, 陈旭, 等. 长江经济带湖泊环境演变与保护、治理建议 [J]. *中国科学院院刊*, 2020, **35** (8): 977-987.
- Yang X D, Dong X H, Chen X, *et al.* Past environmental changes and management suggestions for lakes in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, **35** (8): 977-987.
- [18] 张亚丽, 高楹, 吴峰, 等. 我国东部浅水湖泊水生态效应特征 [J]. *环境科学研究*, 2018, **31** (5): 878-885.
- Zhang Y L, Gao Y, Wu F, *et al.* Characteristics of ecological effects in the eastern shallow lakes, China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, **31** (5): 878-885.
- [19] Tang X Q, Wu M, Li R. Distribution, sedimentation, and bioavailability of particulate phosphorus in the mainstream of the Three Gorges Reservoir [J]. *Water Research*, 2018, **140**: 44-55.
- [20] 朱广伟, 许海, 朱梦圆, 等. 三十年来长江中下游湖泊富营养化状况变迁及其影响因素 [J]. *湖泊科学*, 2019, **31** (6): 1510-1524.
- Zhu G W, Xu H, Zhu M Y, *et al.* Changing characteristics and driving factors of trophic state of lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River in the past 30 years [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, **31** (6): 1510-1524.
- [21] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略 [J]. *湖泊科学*, 2010, **22** (6): 799-810.
- Yang G S, Ma R H, Zhang L, *et al.* Lake status, major problems and protection strategy in China [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, **22** (6): 799-810.
- [22] 赵雁捷, 王荣, 羊向东, 等. 古生态记录揭示的长江中下游太湖生态系统稳态转换过程 [J]. *湖泊科学*, 2016, **28** (6): 1381-1390.
- Zhao Y J, Wang R, Yang X D, *et al.* Regime shifts revealed by paleoecological records in Lake Taibai's ecosystem in the middle and lower Yangtze River Basin during the last century [J]. *Journal of Lake Science*, 2016, **28** (6): 1381-1390.
- [23] 羊向东, 沈吉, 董旭辉, 等. 长江中下游浅水湖泊历史时期营养态演化及湖泊生态响应—以龙感湖和太白湖为例 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2005, **35** (S2): 45-54.
- [24] 陈旭, 羊向东, 董旭辉, 等. 近 50 年来环境变化对巢湖硅藻组合演替的影响 [J]. *湖泊科学*, 2011, **23** (5): 665-672.
- Chen X, Yang X D, Dong X H, *et al.* Effects of environmental changes on the succession of diatom assemblage during the last 50 years in Lake Chaohu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2011, **23** (5): 665-672.
- [25] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊调查报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [26] 刘梦, 祁士华, 袁林喜. 1960-2009 年咸宁市气候变化特征 [J]. *气象与环境学报*, 2012, **28** (1): 71-76.
- Liu M, Qi S H, Yuan L X. Characteristics of climate change from 1960 to 2009 in Xianning, Hubei province [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2012, **28** (1): 71-76.
- [27] 彭映辉, 简永兴, 倪乐意, 等. 西凉湖水生植物多样性研究 [J]. *广西植物*, 2003, **23** (3): 211-216.
- Peng Y H, Jian Y X, Ni L Y, *et al.* Studies on the diversity of aquatic plants in Lake Xiliang [J]. *Guihaia*, 2003, **23** (3): 211-216.
- [28] 杨磊. 水生植物多样性变化、湖泊形态演变及其相互关系研究——以江汉湖群七个湖泊为例 [D]. 武汉: 湖北大学, 2015.
- Yang L. Variation of aquatic macrophytes, and the morphology of lake shorelines, and their relationship between them—The cases study of seven lakes in Jianghan Lake Groups [D]. Wuhan: Hubei University, 2015.
- [29] 罗泽宁, 蔡晓军. 图说咸宁北部空间沧海桑田 咸宁北部空间水域变迁分析 [J]. *中华建设*, 2018, (12): 94-95.
- [30] 咸宁市地方志编纂委员会. 咸宁市志 (1965-2005) [M]. 湖北: 湖北科学技术出版社, 2014.
- [31] Appleby P G. Chronostratigraphic techniques in recent sediments [A]. In: Last W M, Smol J P (Eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques* [C]. Dordrecht: Springer, 2001.
- [32] Chen X, Meng X Q, Song Y X, *et al.* Spatial patterns of organic and inorganic carbon in Lake Qinghai surficial sediments and carbon burial estimation [J]. *Frontiers in Earth Science*, 2021, **9**, doi: 10.3389/feart.2021.714936.
- [33] Liu E F, Yang X D, Shen J, *et al.* Environmental response to climate and human impact during the last 400 years in Taibai Lake catchment, middle reach of Yangtze River, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **385** (1-3): 196-207.
- [34] Battarbee R W, Jones, V J, Flower R J, *et al.* Diatoms [A]. In: Smol J P, Birks H J B, Last W M, *et al.* (Eds.). *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators* [C]. Dordrecht: Springer, 2001.
- [35] Zhao W W, Chen C Z, Jiang Q F, *et al.* Holocene hydroclimate in the source region of the Yellow River: a new sediment record from Lake Gyaring, NE Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2021, **205**, doi: 10.1016/j.jseas.2020.104601.
- [36] Krammer K, Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae [A]. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa Band II, Teil. 4. Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolata) und Gomphonema* [C]. Stuttgart: G. Fischer Verlag, 1991.

- [37] 万国江. ^{137}Cs 及 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 方法湖泊沉积计年研究新进展[J]. 地球科学进展, 1995, **10**(2): 188-192.
Wan G J. Progresses on ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dating of lake sediments [J]. Advance in Earth Sciences, 1995, **10**(2): 188-192.
- [38] Appleby P G, Oldfield F. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment[J]. CATENA, 1978, **5**(1): 1-8.
- [39] Van Dam H, Mertens A, Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands[J]. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, 1994, **28**(1): 117-133.
- [40] 姚书春, 薛滨, 李世杰, 等. 长江中下游湖泊沉积速率的测定及环境意义——以洪湖、巢湖、太湖为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, **15**(5): 569-573.
Yao S C, Xue B, Li S J, *et al.* Sedimentation rates in Honghu, Chaohu and Taihu Lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006, **15**(5): 569-573.
- [41] Kaushal S, Binford M W. Relationship between C:N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA[J]. Journal of Paleolimnology, 1999, **22**(4): 439-442.
- [42] Giresse P, Maley J, Brenac P. Late quaternary palaeoenvironments in the Lake Barombi Mbo (West Cameroon) deduced from pollen and carbon isotopes of organic matter[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1994, **107**(1-2): 65-78.
- [43] Kendall C, Silva S R, Kelly V J. Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States[J]. Hydrological Processes, 2001, **15**(7): 1301-1346.
- [44] Ishiwatari R, Uzaki M. Diagenetic changes of lignin compounds in a more than 0.6 million-year-old lacustrine sediment (Lake Biwa, Japan)[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, **51**(2): 321-328.
- [45] Meyers P A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter [J]. Chemical Geology, 1994, **114**(3-4): 289-302.
- [46] 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰. 湖北太白湖 400 多年来沉积硅藻记录及湖水总磷的定量重建[J]. 湖泊科学, 2006, **18**(6): 597-604.
Dong X H, Yang X D, Liu E F. Diatom records and reconstruction of epilimnetic phosphorus concentration in Lake Taibai (Hubei Province) over the past 400 years[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, **18**(6): 597-604.
- [47] 张清慧, 董旭辉, 姚敏, 等. 沉积硅藻揭示的历史时期水生植被信息——以梁子湖为例[J]. 水生生物学报, 2014, **38**(6): 1024-1032.
Zhang Q H, Dong X H, Yao M, *et al.* Historical information on aquatic vegetation revealed by sedimentary diatoms: a case study on Liangzi Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, **38**(6): 1024-1032.
- [48] Hötzel G, Croome R. Population dynamics of *Aulacoseira granulata* (EHR.) Simonson (Bacillariophyceae, Centrales), the dominant alga in the Murray River, Australia[J]. Archiv für Hydrobiologie, 1996, **136**(2): 191-215.
- [49] Bennion H. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implications for reconstructing trophic status[J]. Diatom Research, 1995, **10**(1): 1-19.
- [50] 郭超, 蒙红卫, 马玉贞, 等. 藏南羊卓雍错沉积物元素地球化学记录的去 2000 年环境变化[J]. 地理学报, 2019, **74**(7): 1345-1362.
Guo C, Meng H W, Ma Y Z, *et al.* Environmental variations recorded by chemical element in the sediments of Lake Yamzhog Yumco on the southern Tibetan Plateau over the past 2000 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, **74**(7): 1345-1362.
- [51] 杜晨, 张兵, 张世涛, 等. 浅谈湖泊沉积环境演变中元素地球化学的应用及原理[J]. 地质与资源, 2012, **21**(5): 487-492.
Du C, Zhang B, Zhang S T, *et al.* Application and principle of element geochemistry in the evolution of lake sedimentary environment[J]. Geology and Resources, 2012, **21**(5): 487-492.
- [52] Woszczyk M. Precipitation of calcium carbonate in a shallow polymictic coastal lake: assessing the role of primary production, organic matter degradation and sediment mixing [J]. Oceanological and Hydrobiological Studies, 2016, **45**(1): 86-99.
- [53] Raven J A, Hurd C L. Ecophysiology of photosynthesis in macroalgae[J]. Photosynthesis Research, 2012, **113**(1-3): 105-125.
- [54] McConnaughey T. Calcification in *Chara corallina*: CO_2 hydroxylation generates protons for bicarbonate assimilation[J]. Limnology and Oceanography, 1991, **36**(4): 619-628.
- [55] McConnaughey T A, LaBargh J W, Rosenberry D O, *et al.* Carbon budget for a groundwater-fed lake: calcification supports summer photosynthesis [J]. Limnology and Oceanography, 1994, **39**(6): 1319-1332.
- [56] 范成新, 张路, 包先明, 等. 太湖沉积物-水界面生源要素迁移机制及量化-2. 磷释放的热力学机制及源-汇转换[J]. 湖泊科学, 2006, **18**(3): 207-217.
Fan C X, Zhang L, Bao X M, *et al.* Migration mechanism of biogenic elements and their quantification on the sediment-water interface of Lake Taihu: II. chemical thermodynamic mechanism of phosphorus release and its source-sink transition[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, **18**(3): 207-217.
- [57] Scheffer M, Hosper S H, Meijer M L, *et al.* Alternative equilibria in shallow lakes[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1993, **8**(8): 275-279.
- [58] James W F, Barko J W. Macrophyte influences on the zonation of sediment accretion and composition in a north-temperate reservoir [J]. Archiv für Hydrobiologie, 1990, **120**(2): 129-142.
- [59] Jeppesen E, Jensen J P, Søndergaard M, *et al.* Top-down control in freshwater lakes: The role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth[J]. Hydrobiologia, 1997, **342**: 151-164.
- [60] van Donk E, van de Bund W J. Impact of submerged macrophytes including charophytes on phyto-and zooplankton communities: allelopathy versus other mechanisms[J]. Aquatic Botany, 2002, **72**(3-4): 261-274.
- [61] Genkai-Kato M, Carpenter S R. Eutrophication due to phosphorus recycling in relation to lake morphometry, temperature, and macrophytes [J]. Ecology, 2005, **86**(1): 210-219.

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Urban Area of Beijing	AN Xin-xin, CAO Yang, WANG Qin, <i>et al.</i> (2251)
Modeling of PM _{2.5} Concentrations in the Beijing-Tianjin-Hebei Region Using a Space-time Linear Mixed Effects Model	FAN Li-hang, YANG Xiao-hui, SONG Chun-jie, <i>et al.</i> (2262)
Spatio-temporal Evolution Patterns of PM _{2.5} and Relationship with Urban Expansion in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration from 2000 to 2018	ZHAO An-zhou, XIANG Kai-zheng, LIU Xian-feng, <i>et al.</i> (2274)
Characteristics and Source Analysis of PM _{2.5} in Qingdao in Winter Under the Action of Sea-Land-Atmosphere Convergence	TUO Xiong, YANG Ling-xiao, ZHANG Wan, <i>et al.</i> (2284)
Impacts of Heterogeneous Uptake Pathway on Sulfate Formation: A Case Study in Shanghai Based on WRF-Chem	ZHANG Ru-han, ZHANG Hao-ran, FENG Wei-hang, <i>et al.</i> (2294)
Source Apportionment and Seasonal Changes in PM _{2.5} Chemical Components from Different Functional Areas of a Provincial Capital City	SUN You-min, FAN Jing, XU Biao, <i>et al.</i> (2304)
Chemical Compositions, Light Extinction Effect, and Oxidative Potential of PM _{2.5} Under Different Pollution Levels During Winter in Taiyuan	REN Jiao, ZHAO Rong-rong, WANG Ming, <i>et al.</i> (2317)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of Metal Elements in Ambient PM _{2.5} in the Winter of Zhengzhou	YAO Sen, WANG Qian-heng, XUE Yan, <i>et al.</i> (2329)
Characteristics, Ecological Risk Assessment, and Sources of the Polluted Metallic Elements in PM _{2.5} During Winter in Zibo City	BAI Wen-yu, XU Bo, GUO Li-yao, <i>et al.</i> (2336)
Seasonal Distribution Characteristics, Source Analysis, and Health Risk Evaluation of PAHs in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, LI Yi-lin, <i>et al.</i> (2343)
Pollution Level and Regional Migration of PCDD/Fs in Ambient Air from Pearl River Delta, China	FU Jian-ping, XIE Dan-ping, HUANG Jin-qiong, <i>et al.</i> (2355)
Concentrations and Sources of Black Carbon Aerosols in Rural Areas of Southern North China Plain	ZHANG Ling, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2363)
Research on Causes of Severely Polluted Weather in Tianjin Based on Process Analytical Technology	HAO Jian, CAI Zi-ying, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (2373)
Classification Control of Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Pollution Sources Based on Emission Amounts and Atmospheric Reactivity	CHEN Peng, ZHANG Yue, XING Min, <i>et al.</i> (2383)
Complex Networks Reveal the Characteristics of Ozone in China	YING Na, CHEN Jian-hua, LI Dong, <i>et al.</i> (2395)
Ozone Simulation of Lanzhou City Based on Multi-scenario Emission Forecast of Ozone Precursors in the Summer of 2030	CHEN Tian-lei, WU Min, PAN Cheng-ke, <i>et al.</i> (2403)
Improvement of Environmental Model Prediction Based on Inversion and Aerosol Assimilation	CAI Zi-ying, TANG Miao, XIAO Zhi-mei, <i>et al.</i> (2415)
Method of Identifying Air Pollution from Iron and Steel Industry Based on Ambient Air Quality Monitoring Data Analysis	SHI Yao-peng, HU Jing-nan, CHU Yang-xi, <i>et al.</i> (2427)
Assessment of "Differentiated Response Requirement Based on Performance Grading" Policy During Heavy Air Pollution Alert	ZENG Jing-hai, WANG Can (2436)
Risk Zoning of Water Pollution in the Yellow River Basin	ZHOU Xia-fei, CAO Guo-zhi, YU Fang, <i>et al.</i> (2448)
Emission Characteristics of Industrial Water Pollutants in Gansu Section of the Yellow River Basin	LI Xue-ying, YANG Xi, QIAO Qi, <i>et al.</i> (2459)
Spatial-temporal Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Sediments of the Yellow River	WANG Tao-yi, PAN Bao-zhu, HAN Xu, <i>et al.</i> (2467)
APCS-MLR Combined with PMF Model to Analyze the Source of Metals in Sediment of Xinglin Bay Suburban Watershed, Xiamen	SHEN Chen-yu, YAN Yu, YU Rui-lian, <i>et al.</i> (2476)
Spatial Differentiation Characteristics and Response Relationship of DOM, Nutrients, and Heavy Metals in River Sediments	XIAO Yan-chun, YU Hui-bin, SONG Yong-hui (2489)
Distribution Characteristics, Evaluation, and Source Analysis of Heavy Metals in Soils of Fenhe Riparian Zone in Taiyuan City	HU Jie, ZHAO Xin-yu, WANG Ting-ting, <i>et al.</i> (2500)
Binding Affinity Between Heavy Metal Hg and Dissolved Organic Matter in Hongze Lake	HU Bin, WANG Pei-fang, ZHANG Nan-nan, <i>et al.</i> (2510)
Ecosystem Evolutionary Trajectory of Lake Xiliang over the Past Century Driven by Eutrophication	ZHENG Jia-nan, XU Min, ZHENG Wen-xiu, <i>et al.</i> (2518)
Sediment Release and Pollution Source Analysis of Typical Reservoirs in the Upper Reaches of the Yellow River Based on DGT Technology	MA Yu-shen, ZHU Xiang, PANG Qing-qing, <i>et al.</i> (2527)
Differential Characteristics and Source Identification of Water Quality of the Rivers in Northern Henan Before and After Rainstorm	ZHANG Yan, ZOU Lei, LIANG Zhi-jie, <i>et al.</i> (2537)
Adsorption and Interception Effects of <i>Eichhornia crassipes</i> on Microplastics in Water of the Poyang Lake Basin	LI Wen-gang, WU Xi-en, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2548)
Spatiotemporal Distribution and Ecological Risk Assessment of Plastic Additives in Taihu Lake	LIU Shu-jiao, DING Jian-nan, SHI Jun-zhe, <i>et al.</i> (2557)
Distribution Characteristics, Sources, and Storage of Microplastics in Surface Sediments of Luoma Lake	YAO Ming-xuan, BAI Xue, XU Zhen-jia, <i>et al.</i> (2566)
Pollution Characteristics of Phosphorus in Different Media in Taihu Lake and Its Treatment Enlightenment	CAI Mei, LU Zhi-hua, WANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (2575)
Analysis on Diversity and Structure of Microbial Community in River Sediment of Siping Section of Liaohe River	LI Peng-yang, AN Qi-rui, WANG Xin-hao, <i>et al.</i> (2586)
Non-point Source Pollution (NPSP) Induces Structural and Functional Variation in Bacterial Communities in Sediments of Jialing River	XUE Yu-qin, XU Fei, LIU Kun-he, <i>et al.</i> (2595)
Effects of Microplastics on Bacterial Community Composition and Diversity in Sediments	LI Wen-lu, WANG Zhi-chao, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (2606)
Vertical Distribution Characteristics and Community Construction of Aerobic Denitrification Bacteria from the Sediments of Baiyangdian Lake During the Winter Freezing Period	ZHANG Tian-na, CHEN Zhao-ying, ZHANG Zi-wei, <i>et al.</i> (2614)
Effect of Induced Mixing on Bacterial Community Structure and Metabolic Activity in Reservoir	GAO Yue, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (2624)
Distribution Characteristics of Microplastics in <i>Bellamyia aeruginosa</i> in Typical Area of Poyang Lake	JIANG Wei-qun, HU Qi-wu, JIAN Min-fei, <i>et al.</i> (2633)
Electrocatalytic Oxidation of Bisphenol A by Porous Ti/SnO ₂ -Sb-Ni Electrode Loaded with Multi-wall Carbon Nanotubes	FU Yuan-hang, LIU An-di, HUANG Wei-bin, <i>et al.</i> (2640)
Efficiency and Mechanism of Degradation of Methylene Blue with H ₂ O ₂ Catalyzed by Magnetic Mn _{0.4} Zn _{0.4} Fe ₂ O ₄ @SiO ₂	XU Dong-ying, YU Jing, HAO Qi, <i>et al.</i> (2650)
Effect of Two Types of Nanoparticles on the Adsorption of Ciprofloxacin on Zeolite	JIANG Lan-cui, MENG Zhao-fu, LIU Xian, <i>et al.</i> (2662)
Adsorption Mechanisms and Effect Factors of As(V) by AMD Sludge Composite Material	ZHANG Ya-hui, ZHANG Rui-xue, WU Pan, <i>et al.</i> (2673)
Shifts in Microbial Community and Variation in Functional Genes for Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Affected by Triclosan and Its Transformed Intermediates	LU Ying-yuan, DONG Xiao-qi, PENG Xing-xing, <i>et al.</i> (2685)
Construction of Sustainability Evaluation Index System for Contaminated Site Risk Management and Analysis on Key Influential Factors	LI Xiao-nuo, YI Shi-yi, CHEN Wei-ping (2699)
Construction and Empirical Analysis of a Comprehensive Evaluation Method of Coastal Wetland Soil Quality Based on Ecological Functions	ZHANG Xue, KONG Fan-long, JIANG Zhi-xiang (2709)
Source Analysis and Pollution Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil Around Tongshan Mining Area	CHEN Hang, WANG Ying, WANG Shu (2719)
Effects of Typical Iron and Manganese Minerals on Arsenic Speciation and Enzyme Activities in Paddy Soil	ZHOU Yi-min, HUANG Ya-yuan, LIU Kai, <i>et al.</i> (2732)
Phytoremediation Efficiency of Two Cultivars of <i>Brassica napus</i> L. Under Water-soluble Chitosan Treatment in Typical Pb-contaminated Farmland Soils	MENG Xiao-fei, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, <i>et al.</i> (2741)
Risk Prediction of Cadmium and Lead in Wheat Grains Based on Bayes Theorem	WANG Tian-qi, LI Yan-ling, YANG Yang, <i>et al.</i> (2751)
Interannual Variation Characteristics of Nitrogen Loss Under Rapeseed/Maize Rotation in Purple Soil Sloping Field	XU Man, GAO Ming, YU Luo, <i>et al.</i> (2758)
Physicochemical Properties of Biochars Prepared from Different Feedstocks and Evaluation of Its Potential as A Slow-release Carriers for Biochar-based Fertilizers	XING Li-bin, CHENG Jie, GENG Zeng-chao, <i>et al.</i> (2770)
Effects of Combined Application of Wood Vinegar-Acidified Biochar and Nitrogen on Active Nitrogen and Ammonia Volatilization in Saline Soil	SHEN Shu-wei, ZHANG Dan-dan, WANG Min-ge, <i>et al.</i> (2779)
Effects of Biodegradable Plastic Film Mulching on Greenhouse Gas Emissions Under Wheat-Maize Rotation System in the Guanzhong Plain	GUO Yi-ting, LUO Xiao-qi, WANG Rui, <i>et al.</i> (2788)
Forest Soil Microbial Community Structure Characteristics and Its Influencing Factors at Different Elevations on the Southern Slope of Daiyun Mountain	HE Zhong-sheng, WANG Zi-wei, ZHU Jing, <i>et al.</i> (2802)
Effects of Simulated Warming and Increased Precipitation on Soil Extracellular Enzyme Activity and Enzymatic Stoichiometry of Abandoned Grassland	WANG Xing, ZHONG Ze-kun, JIAN Jun-nan, <i>et al.</i> (2812)
Contribution of Urbanization to Local Warming in Major Cities of China	LI Yu, ZHOU De-cheng, YAN Zhang-mei, <i>et al.</i> (2822)