

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

基于高分影像的城市水体遥感综合分级方法

杨子谦, 刘怀庆, 吕恒, 李云梅, 朱利, 周亚明, 李玲玲, 毕顺



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年5月

第42卷 第5期
Vol.42 No.5

目次

北京冬季 PM _{2.5} 中有机气溶胶的化学特征和来源解析	徐楠, 王甜甜, 李晓, 唐荣志, 郭松, 胡敏 (2101)
北京地区 2019 年 2~3 月供暖结束后两次污染过程特征分析	尹晓梅, 蒲维维, 王继康, 刘湘雪, 乔林 (2110)
北京 2019 年冬季一次典型霾污染特征与成因分析	廉涵阳, 杨欣, 张普, 陈义珍, 杨小阳, 赵好希, 何友江, 赵丹婷 (2121)
青岛沿海地区夏季和冬季新粒子生成特征对比	孙悦, 朱玉姣, 孟赫, 刘兵, 刘玉虹, 董灿, 姚小红, 王文兴, 薛丽坤 (2133)
太原市城乡居民采暖季室内灰尘中重金属的污染特征及其生态风险评价	黄浩, 徐子琪, 严俊霞, 赵秀阁, 王丹璐 (2143)
西安市新装修公共场所空气污染物浓度分析及健康风险评价	范洁, 樊灏, 沈振兴, 党文鹏, 郑伟, 王志华, 付毅 (2153)
超低排放典型燃烧源颗粒物及水溶性离子排放水平与特征	胡月琪, 王铮, 郭建辉, 冯亚君, 丁萌萌, 颜旭 (2159)
合肥市夏季大气颗粒物中微生物群落的高通量测序分析	姜少毅, 孙博文, 代海涛, 王润芳, 马大卫, 朱仁斌 (2169)
郑州市细颗粒物时空差异及管控措施影响	董喆, 袁明浩, 苏方成, 张剑飞, 孙佳葆, 张瑞芹 (2179)
2016~2019 年江西省臭氧污染特征与气象因子影响分析	钱悦, 许彬, 夏玲君, 陈燕玲, 邓力琛, 王欢, 张根 (2190)
天山北坡城市群气溶胶光学特性时空分布特征	张喆, 王建丽, 王瑾杰, 陈香月, 刘兴涛, 阿提干·吾斯曼 (2202)
基于高分影像的城市水体遥感综合分级方法	杨子谦, 刘怀庆, 吕恒, 李云梅, 朱利, 周亚明, 李玲玲, 毕顺 (2213)
太湖水体 Chl-a 预测模型 ARIMA 的构建及应用优化	李娜, 李勇, 冯家成, 单雅洁, 钱佳宁 (2223)
松花湖水水质空间差异及富营养化空间自相关分析	丁洋, 赵进勇, 张晶, 付意成, 彭文启, 陈渠昌, 李艳艳 (2232)
会仙岩溶湿地丰平枯水期地表水污染及灌溉适用性评价	朱丹尼, 邹胜章, 李军, 樊连杰, 赵一, 谢浩, 朱天龙, 潘民强, 徐利 (2240)
京杭大运河中下游段天然水化学变化特征及驱动因素	程中华, 邓义祥, 卓小可, 代丹, 于涛 (2251)
次降雨过程中不同土地利用配置对径流中氮流失的影响	罗义峰, 陈方鑫, 周豪, 龙翼, 严冬春, 谭文浩, 李丹丹, 陈晓燕 (2260)
碳氮同位素解析典型岩溶流域地下水中硝酸盐来源与归趋	任坤, 潘晓东, 梁嘉鹏, 彭聪, 曾洁 (2268)
冰封状态下里湖冰-水中浮游细菌群落结构差异	李文宝, 杨旭, 田雅楠, 杜蕾 (2276)
城市再生水河道沉积物细菌群落空间变化分析: 以京津冀北运河为例	邱莹, 靳燕, 苏振华, 邱琰茗, 赵栋梁, 郭道宇 (2287)
太湖春夏两季反硝化与厌氧氨氧化速率的空间差异及其影响因素	赵锋, 许海, 詹旭, 朱广伟, 郭宇龙, 康丽娟, 朱梦圆 (2296)
三峡库区典型支流水库浮游动植物群落结构特征及其与环境因子的关系	陈莎, 谢青, 付梅, 江韬, 王永敏, 王定勇 (2303)
铁硫改性生物炭去除水中的磷	桑倩倩, 王芳君, 赵元添, 周强, 蔡雨麒, 邓颖, 田文清, 陈永志, 马娟 (2313)
钢渣对水体中磷的去除性能及机制解析	罗晓, 张峻搏, 何磊, 杨雪晶, 吕鹏翼 (2324)
BS-18 两性修饰膨润土对四环素和诺氟沙星复合污染的吸附	王新欣, 孟昭福, 刘欣, 王腾, 胡啸龙, 孙秀贤 (2334)
Ag ₃ PO ₄ /g-C ₃ N ₄ 复合光催化剂的制备及其可见光催化性能	高闯闯, 刘海成, 孟无霜, 郝双玲, 薛婷婷, 陈国栋, Joseph Acquah (2343)
可见光驱动下罗丹明 B 自活化过硫酸盐降解双酚 A	张怡晨, 白雪, 石娟, 金鹏康 (2353)
铁钛共掺杂氧化铝诱导表面双反应中心催化臭氧氧化去除水中污染物	张帆, 宋阳, 胡春, 吕来 (2360)
硫化铁铜双金属复合材料的制备及除铬机制	屈敏, 王源, 陈辉霞, 王兴润, 徐红彬 (2370)
电催化-生物电化学耦合系统处理青霉素废水的机制	曲有鹏, 吕江维, 董跃, 冯玉杰, 张杰 (2378)
缺氧/好氧交替连续流的生活污水好氧颗粒污泥运行及污染物去除机制	李冬, 杨敬畏, 李悦, 李帅, 张诗睿, 王文强, 张杰 (2385)
反硝化除磷污泥聚集体内原位除磷活性及有机物浓度的影响	吕永涛, 姜晓童, 徒彦, 王旭东, 潘永宝, 刘爽, 崔双科, 王磊 (2396)
基于臭氧旁路处理的污泥原位减量技术工艺	薛冰, 刘宾寒, 韦婷婷, 王先恺, 陈思思, 董滨 (2402)
活性炭对城市有机固废厌氧消化过程抗生素抗性基因行为特征的影响	马佳莹, 王盼亮, 汪冰寒, 苏应龙, 谢冰 (2413)
6 种农业废弃物初期碳源及溶解性有机物释放机制	凌宇, 闫国凯, 王海燕, 董伟羊, 王欢, 常洋, 李丛宇 (2422)
中国典型农田土壤有机碳密度的空间分异及影响因素	李成, 王让会, 李兆哲, 徐扬 (2432)
不同水分条件和微生物生物量水平下水稻土有机碳矿化及其影响因子特征	刘琪, 李宇虹, 李哲, 魏晓梦, 祝贞科, 吴金水, 葛体达 (2440)
青藏高原林地土壤的氮转化特征及其影响因素分析: 以祁连山和藏东南地区为例	何芳, 张丽梅, 申聪聪, 陈金全, 刘四义 (2449)
基于物元可拓模型的兰州市主城区公园表土重金属污染评价	胡梦琨, 李春艳, 李娜娜, 吉天琪, 郑登友 (2457)
长期施用化肥和有机肥对稻田土壤重金属及其有效性的影响	夏文建, 张丽芳, 刘增兵, 张文学, 蓝贤瑾, 刘秀梅, 刘佳, 刘光荣, 李祖章, 王萍 (2469)
川南山区土壤与农作物重金属特征及成因	韩伟, 王成文, 彭敏, 王乔林, 杨帆, 徐仁廷 (2480)
宁东能源化工基地核心区表层土壤中多环芳烃的空间分布特征、源解析及风险评价	杨帆, 罗红雪, 钟艳霞, 王幼奇, 白一茹 (2490)
重金属钝化剂阻控生菜 Cd 吸收的功能稳定性和适用性	庞发虎, 吴雪姣, 孔雪菲, 曾宪, 王晓宇, 陈兆进, 姚伦广, 韩辉 (2502)
典型污染稻田水分管理对水稻镉累积的影响	张雨婷, 田应兵, 黄道友, 张泉, 许超, 朱捍华, 朱奇宏 (2512)
油茶果壳改性生物炭吸附性能及其耦合淹水对土壤 Cd 形态影响	蔡彤, 杜辉辉, 刘孝利, 铁柏清, 杨宇 (2522)
土地利用变化对松花江下游湿地土壤真菌群落结构及功能的影响	徐飞, 张拓, 怀宝东, 隋文志, 杨雪 (2531)
渔业复垦塌陷地抗生素抗性基因与微生物群落	程森, 路平, 冯启言 (2541)
3 种常用除草剂对细菌抗生素耐药性的影响	李曦, 廖汉鹏, 崔鹏, 白玉丹, 刘晨, 文畅, 周顺桂 (2550)
污水再生利用微生物控制标准及其制定方法探讨	陈卓, 崔琦, 曹可凡, 陆韻, 巫寅虎, 胡洪营 (2558)
《环境科学》征订启事 (2439) 《环境科学》征稿简则 (2479) 信息 (2152, 2231, 2286)	

三峡库区典型支流水库浮游动植物群落结构特征及其与环境因子的关系

陈莎¹, 谢青¹, 付梅², 江韬¹, 王永敏^{1*}, 王定勇¹

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2. 西南大学水产学院, 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 为了探讨三峡库区典型支流水库(长寿湖)浮游动植物结构与环境因子间的关系,于不同季节对其水环境因子和浮游动植物进行调查,利用 Pearson 相关性分析法对调查结果进行分析. 对浮游动植物的鉴定结果表明:浮游植物共有 8 门 107 种,主要由相对丰度达 61% 的蓝藻门组成,优势种群包括纤细席藻、点状平裂藻和类颤藻鱼腥藻这 3 种浮游植物. 共鉴定出浮游动物 4 门 82 种,其中轮虫相对丰度达 88%,其优势种群包括螺形龟甲轮虫、前节晶囊轮虫和盖氏晶囊轮虫等 6 种浮游动物. 浮游动植物丰度、生物量和生物多样性指数的空间差异均不显著,除浮游动物生物多样性指数季节性差异不显著外,其余指标均有显著的季节性差异. 夏季浮游植物的丰度最高,春季次之,冬季最低,而浮游动物春季丰度最高,春季浮游动植物的生物量均显著高于冬季. 夏季浮游植物的种类数,Shannon-Wiener 指数(H')、Pielous 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(D)显著低于冬季和春季. 水质评价结果表明,冬、春季节长寿湖水水质处于清洁-寡污状态,夏季处于中度污染状态,长寿湖整体处于富营养化状态. 影响长寿湖浮游动植物群落结构的环境因子包括: Chla、DOC、TP、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、 NH_4^+ -N、DO、Eh 和 T . 冬春夏 3 个季节影响浮游动植物群落结构的环境因子存在差异.

关键词: 长寿湖; 浮游动植物; 群落结构; 环境因子; Pearson 相关性分析

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)05-2303-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202008263

Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Typical Tributary Reservoir in the Three Gorges Reservoir Region

CHEN Sha¹, XIE Qing¹, FU Mei², JIANG Tao¹, WANG Yong-min^{1*}, WANG Ding-yong¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproductive and Development, Ministry of Education, College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Based on the data of zooplankton, phytoplankton, and water environmental factors in different seasons in a typical tributary reservoir in the Three Gorges Reservoir Region (Changshou Lake), this study explored the relationships between the structures of the zooplankton and phytoplankton communities and environmental factors using Pearson correlation analysis. The results showed that there were a total of 107 species of 8 phyla of phytoplankton, and cyanobacteria was the most critical constituent with a relative abundance of 61%. The dominant populations included *Phormidium tenue*, *Merismopedia punctata*, and *Anabaena oscillarioides*. A total of 82 species of 4 phyla of zooplankton were identified, and rotifers was the most abundant with a relative abundance of 88%. The dominant populations included six species, such as *Keratella cochlearis*, *Asplanchna priodonta*, and *Asplanchna girodi*. The spatial differences in the abundances, biomass, and biodiversity indexes of zooplankton and phytoplankton were not significant, whereas the seasonal differences in all the other indexes were significant, except for the zooplankton biodiversity indexes. The abundance of phytoplankton was the highest in summer, followed by spring, and it was the lowest in winter. The maximum abundance of zooplankton occurred in spring, and the biomass of zooplankton and phytoplankton in spring was significantly higher than that in winter. The number of phytoplankton species and the Shannon-Wiener index, Pielou's uniformity index, and Margalef richness index in summer were significantly lower than those in winter and spring. The water quality evaluation showed that Changshou Lake was in a clean to oligo-pollution state in winter and spring and a moderate-pollution state in summer, thereby suggesting that Changshou Lake was in an overall eutrophic state. The environmental factors, including Chla, DOC, nutrients (TP, NO_2^- -N, NO_3^- -N, and NH_4^+ -N), DO, Eh, and T , influenced the structures of the zooplankton and phytoplankton communities in Changshou Lake, and there were seasonal differences in the environmental factors.

Key words: Changshou Lake; zooplankton and phytoplankton; community structure; environmental factors; Pearson correlation analysis

收稿日期: 2020-08-26; 修订日期: 2020-11-02

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项基金项目(XDJK2017B035); 国家自然科学基金项目(41603103)

作者简介: 陈莎(1996~),女,硕士研究生,主要研究方向为环境分析化学,E-mail:cs1574405153@email.swu.edu.cn

* 通信作者,E-mail:wangym540@swu.edu.cn

浮游生物是水环境中主要的生物类群之一,主要包括浮游植物和浮游动物,在水生生态系统中的物质循环和能量流动中起着决定性的作用^[1].浮游植物是水环境中的初级生产者,其群落结构直接或间接地受到物理、化学和生物等环境因子的影响^[2],同时其种类组成和分布等又能客观反映水环境的变化规律,具有重要的指示作用^[3],因此,众多研究中往往将浮游植物作为重要指标来评价水体质量^[4].浮游动物作为水生生态系统的初级消费者,在食物链中扮演着重要的角色,其可能是滤食性鱼类捕食压力的有用指标^[5],影响水体环境质量.浮游动物的适应能力和对环境变化的敏感性与种类有关^[6],如低营养级浮游动植物生态动力过程对环境变化的响应非常敏感^[7].目前已有学者通过典范对应分析^[8,9](CCA)、冗余分析^[10~12](RDA)、聚类分析^[13~15]、Pearson 相关性分析^[16]、逐步回归分析^[17]、相似性分析^[18](ANOSIM)和非度量多维尺度分析^[15,19](NMDS)等方法对不同水域浮游动植物群落结构与环境因子的复杂关系进行了研究.

三峡水库蓄水以来,受长江干流的顶托作用,次级河流的流速减缓,水体环境发生改变,导致入库支流及回水区水体富营养化进而影响浮游动植物群落结构等,这一系列问题引起了科研人员的密切关注^[20].龙溪河是三峡库区一级次级河流,属于三峡水库的典型支流.长寿湖水库(狮子滩水库)位于龙溪河下游,是三峡水库上游最大且最重要的典型内陆水库型湖泊,具有饮用、养殖、发电、旅游和防洪等多功能,其水质的状况直接影响着三峡库区的水环

境与生态安全.近年来,由经济发展带来的外源污染物以及历史遗留的内源污染物共同导致了长寿湖水质的恶化,已有研究表明,长寿湖出现了水体富营养化^[21]和水体重金属污染^[22]等环境问题,这会对水体浮游动植物的群落结构产生影响.雷波等^[18]曾分析了该湖泊浮游藻类群落变化特征及主要环境影响因子,但浮游动物的分布特征及影响因子,以及利用浮游动植物进行的水质评价鲜见报道.因此,本研究于不同季节在长寿湖采集水样和浮游动植物样品,通过研究长寿湖浮游植物和浮游动物的群落结构以及生态学特征及其与环境因子的关系,评价长寿湖目前的水质状况,以期为了解长寿湖生态系统结构与功能以及对该区域生态环境保护等提供科学依据,同时长寿湖作为三峡库区上游最重要的大型湖泊系统,本研究对于了解库区其他湖泊系统而言,具有重要的科学价值.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长寿湖水库(29°54'~30°04'N, 107°14'~107°27'E,图1)是我国西南地区最大的人工淡水湖泊,其位于重庆市长寿区境内,于20世纪50年代建成.长寿湖属于中亚热带湿润季风气候区,其气候特征为:四季分明、气候温和且雨水充沛.其年平均气温17.7℃,年平均降水量超过1000 mm.长寿湖水域面积为65.5 km²,总库容积为10亿 m³,其最大水深和平均水深分别为40 m和15 m,多年平均流量为47.5 m³·s⁻¹,径流深496.4 mm.

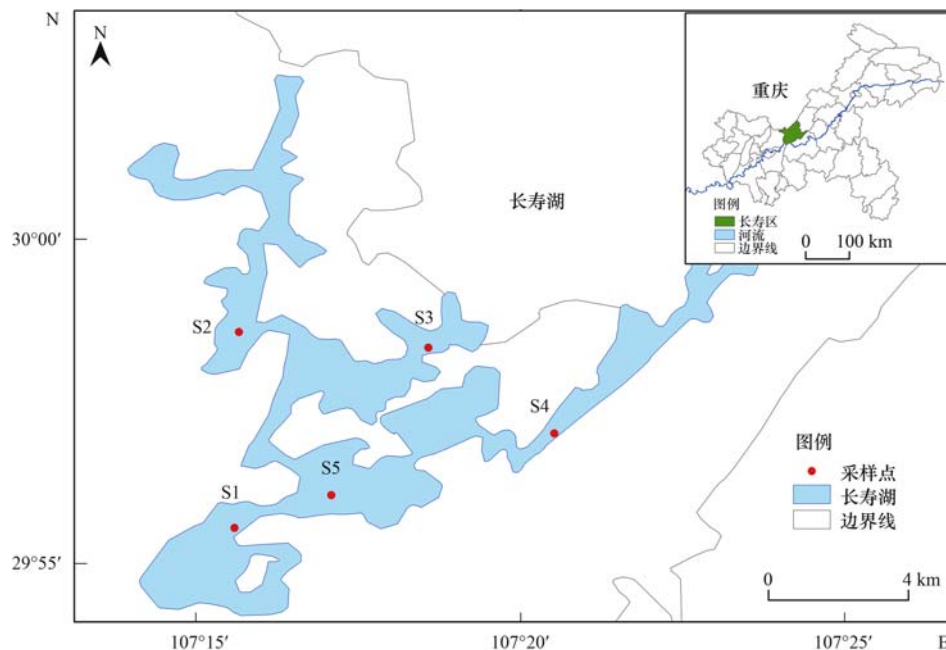


图1 研究区域示意

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 样品采集与处理

本研究于不同季节:冬季(2016 年 12 月)、春季(2017 年 4 月)和夏季(2017 年 7 月)在长寿湖选取 5 个采样点(S1~S5)采集水样和浮游动植物样品(图 1)。采样点的设置根据水库的地形地貌设在大坝出水口(S1)、西北区(S2)、滞水区(S3)、东北区(S4)和湖心区(S5)。

将 25[#](64 μm)浮游植物网置于水体表层 0.5 m,同时在水体表层 1 m 处放置 13[#](112 μm)浮游动物网^[1],以 1 m·s⁻¹的船速缓慢在湖中拖网收集浮游植物与浮游动物定性样品,拖网时间根据浮游动植物的多少而定。同时,浮游植物定量分析样品在各站点于水体表层 0.5 m 处用有机玻璃采水器采集 1 L 水样,浮游动物定量分析样品于水体表层 0.5 m 和 1.0 m 均匀混合采集 20 L 水样,并用 25[#](64 μm)浮游生物网过滤浓缩后收集。用于浮游植物与浮游动物定性和定量分析的样品,分别按照体积比 1.5% 加入鲁哥氏液(Lugol's solution)和 5% 福尔马林溶液固定,并尽快运送至实验室,沉淀浓缩后在显微镜下进行鉴定和计数,方法参考文献[23]。

水体理化指标测定方法如下:水体总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素 a(Chla)、硝态氮(NO₃⁻-N)、亚硝态氮(NO₂⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)的测定方法见文献[24];使用 Sievers InnovOx Laboratory TOC Analyzer(GE, USA)测定溶解性有机碳(DOC);采用多参数水质分析仪现场测定水体 pH、氧化还原电位(Eh)、水温(T)和溶解氧(DO)等指标。

1.3 数据处理与分析

本文中,用优势度(Y)来表示优势种,将 Y 大于 0.02 的物种定为优势种^[6],优势度^[25]计算见公式(1)。采用生物多样性指数包括 Shannon-Wiener 指数(H')、Pielous 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(D)对水质进行评价,具体计算公式如下^[18]:

$$Y = f_i P_i \quad (P_i = N_i / N) \quad (1)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \log_2 P_i \quad (2)$$

$$J = H' / \log_2 S \quad (3)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (4)$$

式中,第 i 物种的出现频率用 f_i 表示,第 i 物种个体数量与总个体数量的比值用 P_i 表示,N 表示同一样品中浮游动植物的总个体数,N_i 为第 i 种浮游动植物的个体数,S 是样品中浮游动植物的总种类数。

Pearson 相关性分析:选取 10 个生物指标包括浮游动植物丰度(ZA、PA)、浮游动植物生物量(ZB、PB)、浮游动植物 Shannon-Wiener 指数(ZH、PH)、浮游动植物 Pielous 均匀度指数(ZJ、PJ)和浮游动植物

Margalef 丰富度指数(ZD、PD),以及 TN、TP、Chla、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、DOC、pH、Eh、T 和 DO 共 11 个理化指标,进行标准差标准化处理后采用 SPSS21.0 软件对长寿湖浮游动植物与环境因子做 Pearson 相关性分析,其中 R 值表示相关性大小,P 值表示两个变量间的显著性,一般要求 P<0.05 有统计学意义^[4]。

运用软件 SPSS 21.0 进行数据处理和方差分析,用 Origin 9.0 软件作图。

2 结果与讨论

2.1 长寿湖水体理化特性

长寿湖不同季节的水体理化特性如表 1 所示,除 NH₄⁺-N 和 TP 之外,其他环境因子均呈现出显著的季节性差异(P<0.05)。如,冬季 pH、Eh 和 NO₂⁻-N 质量浓度显著低于春季和夏季(P<0.05),TN 质量浓度为(2.24±0.34)mg·L⁻¹,显著高于春季(P<0.05);春季 NO₃⁻-N 质量浓度为(0.13±0.07)mg·L⁻¹,显著低于冬季和夏季(P<0.05),DOC、DO 和 Chla 质量浓度显著高于夏季(P<0.05);夏季 T 值为(28.98±0.43)℃,显著高于冬春两季(P<0.05)。但从空间分布上来看,整个研究期间各采样点的水体环境因子无显著性差异(P>0.05)。

表 1 长寿湖不同季节水体理化特性¹⁾
Table 1 Physical and chemical indexes of water body of Changshou Lake in different seasons

水体理化特性	2016 年 12 月 (冬季)	2017 年 4 月 (春季)	2017 年 7 月 (夏季)
NO ₃ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	2.10±0.29	0.13±0.07	1.99±0.61
NH ₄ ⁺ -N/mg·L ⁻¹	0.13±0.06	0.14±0.16	0.04±0.02
pH	7.84±0.07	8.72±0.22	8.51±0.17
Chla/μg·L ⁻¹	3.82±0.83	96.17±46.46	44.52±7.59
NO ₂ ⁻ -N/mg·L ⁻¹	0.03±0.01	0.15±0.09	0.11±0.01
Eh 值/mV	165.20±14.27	260.20±33.79	231.40±16.47
DO/mg·L ⁻¹	7.01±0.35	15.70±0.87	8.14±1.92
T/℃	16.58±0.94	15.10±0.42	28.98±0.43
TN/mg·L ⁻¹	2.24±0.34	0.88±0.22	—
TP/mg·L ⁻¹	0.17±0.02	0.10±0.10	—
DOC/mg·L ⁻¹	—	20.98±2.31	17.40±2.21

1) “—”表示本研究中没有相关数据

2.2 长寿湖浮游动植物群落结构

2.2.1 物种组成

长寿湖浮游动、植物的鉴定结果表明,浮游植物共鉴定出 8 门 107 种,其最主要组成群落为蓝藻门,相对丰度达 61.03%;其次是隐藻门,相对丰度为 19.04%。长寿湖共鉴定出纤细席藻、点状平裂藻和类颤藻鱼腥藻 3 种优势浮游植物种群。浮游动物共鉴定出 4 门 82 种,主要由轮虫组成,相对丰度达

88.11%；其次为原生动物,相对丰度为6.08%。统计分析发现,长寿湖浮游动物的优势种为无节幼体、长肢多肢轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、前节晶囊轮虫和盖氏晶囊轮虫。

另外,不同季节的浮游动植物相对丰度和优势种群存在较大差异(图2和表2)。冬季浮游植物为绿藻-蓝藻-硅藻群落,相对丰度分别为34.03%、27.85%和22.58%,其中优势种群包括点状平裂藻、颗粒直链藻和纤细席藻等6种浮游植物(表2)。到了春季转变为隐藻-硅藻-绿藻群落,其相对丰度分别为26.24%、22.69%和17.90%,优势种群也发生了较大变化,主要包括卵形隐藻、啮蚀隐藻和短圆柱单胞藻等7种浮游植物。而到了夏季蓝藻相对丰度上升至71.57%,成为主要的优势群落[图2(a)],优势种群主要包括纤细席藻、钝顶螺旋藻和卷曲鱼腥藻等7种浮游植物(表2),这是因为蓝藻在较高的温度、强光和静水环境中更具有生长优势^[23]。本研究中长寿湖冬、春季节硅藻群落有一定的优势,这与冬、春季节水温较低有利于硅藻生长

有关^[23]。春季水体 NH_4^+-N 、DOC和 NO_2^--N 的浓度较高,因此,喜生于有机物和氮丰富水体的隐藻更具有生长优势。有研究结果表明,绿藻在富营养化湖泊中占优势^[26],与本研究冬、春季绿藻为优势群落的结果一致。

对于浮游动物而言,不同季节其丰度和优势群落变化不大,从图2(b)可以看出,冬春夏3个季节轮虫均为主要组成群落,这与童子湖水库浮游动物的研究结果一致^[27],其相对丰度均最高,分别为61.66%、85.76%和89.62%。这是由于轮虫个体小,发育时间快,生命周期短,鱼类对其影响较小,对水体营养水平的变化敏感,轮虫的种类和数量随湖泊营养水平的上升逐渐增加^[28],而长寿湖目前处于富营养化状态^[18],轮虫因此成为其优势群落。浮游动物优势种群在不同季节有差异,冬季主要包括无节幼体和长额象鼻溞等5种浮游动物,春季包括螺形龟甲轮虫和前节晶囊轮虫等8种浮游动物,夏季包括剪形臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫等7种浮游动物(表2)。

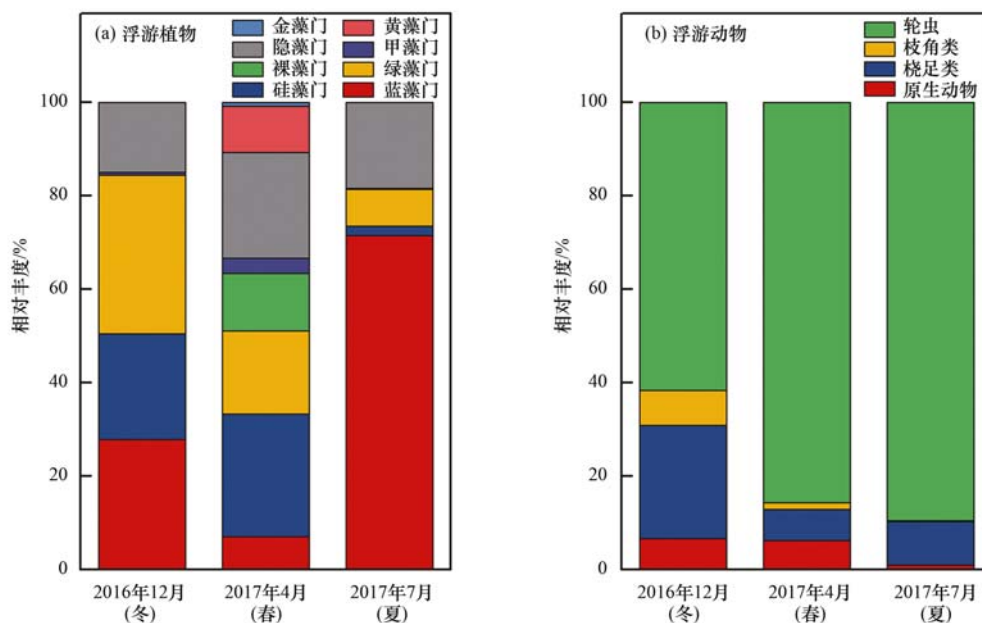


图2 长寿湖不同季节各门类浮游植物和浮游动物相对丰度

Fig. 2 Relative abundances of phytoplankton and zooplankton in different seasons in Changshou Lake

2.2.2 浮游动植物丰度、生物量和多样性指数

长寿湖浮游动植物的丰度、生物量的统计结果(图3)和时空分布差异性分析表明,浮游动植物丰度和生物量呈现了显著的季节性差异($P < 0.05$),这与其他研究结果一致^[10,29-31],但整个研究期间,空间差异均不显著($P > 0.05$)。如图3(a)所示,夏季的浮游植物丰度最高,春季次之,冬季最低,而浮游动物春季丰度最高,和冬、夏季有显著的差异性。由图3(b)可知,春季浮游动、植物生物量均显著高

于冬季。由图3可知,浮游动植物的丰度和生物量随季节变化的趋势大致相同,这与浮游动物常滤食浮游植物有关。按照国内湖泊富营养化评价标准^[32],即浮游植物丰度小于 $3 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 为贫营养,介于 $(3 \sim 10) \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 为中营养,大于 $10 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 为富营养,可知长寿湖在冬季为中营养状态,春、夏季为富营养状态。同时选取长寿湖的TN、TP和Chla为评价指标,根据OECD富营养化单因子(Chla)评价标准^[33,34],即 $\text{Chla} < 3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 为贫

营养; Chla 介于 $3 \sim 11 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 为中营养; Chla 介于 $11 \sim 78 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 为富营养; $\text{Chla} > 78 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 为严重富营养化, 得到长寿湖在冬季为中营养状态, 春季为严重富营养化状态, 夏季为富营养状态, 与利用浮游植物丰度评价水质富营养化的结果相一致. 并根据水体富营养化的临界浓度 (TN 为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 为 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[33] 可得, 长寿湖冬、春季均远远超过对应的 TN 和 TP 的临界浓度值, 水体基本处于富营养化状态. 而本研究中浮游动植物优势种为富营养型湖泊水库中常见的种类, 如颗粒直链藻、卷曲鱼腥藻、嗜蚀隐藻、螺形龟甲轮虫、前节晶囊轮虫和剪形臂尾轮虫等, 符合水体营养状态的评价结果.

表 2 长寿湖不同季节浮游动植物优势种及优势度

Table 2 Dominant species and the degrees of zooplankton and phytoplankton in different seasons in Changshou Lake					
优势种及拉丁名		物种门	2016 年 12 月 (冬季)	2017 年 4 月 (春季)	2017 年 7 月 (夏季)
浮游植物	点状平裂藻(<i>Merismopedia punctata</i>)	蓝藻门	0.03	0.00	0.07
	颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)	硅藻门	0.10	0.03	0.00
	卵形隐藻(<i>Cryptomonas ovata</i>)	隐藻门	0.03	0.08	0.01
	四尾栅藻(<i>Scenedesmus quadricauda</i>)	绿藻门	0.05	0.00	0.00
	纤细席藻(<i>Phormidium tenue</i>)	蓝藻门	0.08	0.00	0.21
	肘状针杆藻(<i>Synedra ulna</i>)	硅藻门	0.02	0.03	0.00
	短圆柱单肠藻(<i>Monallantus brevicylindrus</i>)	黄藻门	0.00	0.03	0.00
	尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)	硅藻门	0.00	0.05	0.01
	嗜蚀隐藻(<i>Cryptomonas erosa</i>)	隐藻门	0.01	0.10	0.01
	四孢藻(<i>Tetraspora</i> sp.)	绿藻门	0.00	0.02	0.00
	钝顶螺旋藻(<i>Spirulina platensis</i>)	蓝藻门	0.00	0.00	0.03
	卷曲鱼腥藻(<i>Anabaena circinalis</i>)	蓝藻门	0.00	0.00	0.02
	类颤藻鱼腥藻(<i>Anabaena oscillarioides</i>)	蓝藻门	0.00	0.00	0.04
	球衣藻(<i>Chlamydomonas globosa</i>)	绿藻门	0.00	0.00	0.02
	优美平裂藻(<i>Merismopedia elegans</i>)	蓝藻门	0.00	0.00	0.02
浮游动物	螺形龟甲轮虫(<i>Keratella cochlearis</i>)	轮虫	0.30	0.04	0.00
	桡足幼体(<i>Copepodid</i>)	桡足类	0.04	0.01	0.02
	无节幼体(<i>Nauplii</i>)	桡足类	0.14	0.03	0.00
	长额象鼻溞(<i>Bosmina longirostris</i>)	枝角类	0.05	0.00	0.00
	长肢多肢轮虫(<i>Polyarthra dolichoptera</i>)	轮虫	0.02	0.05	0.11
	萼花臂尾轮虫(<i>Brachionus calyciflorus</i>)	轮虫	0.01	0.05	0.38
	盖氏晶囊轮虫(<i>Asplanchna girodi</i>)	轮虫	0.00	0.09	0.00
	矩形龟甲轮虫(<i>Keratella quadrata</i>)	轮虫	0.01	0.02	0.00
	罗氏异尾轮虫(<i>Trichocerca rousseleti</i>)	轮虫	0.00	0.06	0.00
	前节晶囊轮虫(<i>Asplanchna priodonta</i>)	轮虫	0.00	0.09	0.09
	剪形臂尾轮虫(<i>Brachionus forficula</i>)	轮虫	0.00	0.00	0.02
	曲腿龟甲轮虫(<i>Keratella valga</i>)	轮虫	0.00	0.02	0.02
	小多肢轮虫(<i>Polyarthra minor</i>)	轮虫	0.00	0.04	0.02

浮游动植物的种类数以及生物多样性指数的时空差异性分析表明, 整个研究期间, 其空间差异均不显著 ($P > 0.05$), 浮游动物多样性指数季节性差异不显著 ($P > 0.05$), 这与张冬融等^[17] 对浮游动物的研究结果一致, 但浮游植物存在显著的季节性差异 ($P < 0.05$). 由表 3 可得, 冬春两季浮游植物生物多样性指数均显著高于夏季 ($P < 0.05$), 这可能是由于夏季丰水期的到来破坏了长寿湖水体稳定性^[18], 干扰漂浮性浮游植物的生长, 以及夏季较高的温度和光照条件有利于蓝藻类优势种群大量生长, 从而抑制其他种类的生长, 导致生物多样性减少, 如蓝藻的大量生长抑制硅藻的生长^[35]. 浮游动物的种类数

表 3 长寿湖不同季节浮游动植物的生物多样性指数¹⁾

Table 3 Biodiversity indexes of zooplankton and phytoplankton in different seasons in Changshou Lake					
项目	日期(年-月)	总种类数 S	H'	J	D
浮游植物	2016-12	24.40 ± 5.68a	3.60 ± 0.21a	0.79 ± 0.03a	1.80 ± 0.38a
	2017-04	24.75 ± 0.96a	3.37 ± 0.61a	0.73 ± 0.13a	1.54 ± 0.05a
	2017-07	14.60 ± 4.16b	2.14 ± 0.40b	0.56 ± 0.07b	0.79 ± 0.21b
浮游动物	2016-12	12.00 ± 3.87b	2.77 ± 0.62a	0.78 ± 0.09a	3.41 ± 1.26a
	2017-04	22.50 ± 4.80a	3.15 ± 0.38a	0.71 ± 0.05a	4.01 ± 0.87a
	2017-07	9.60 ± 4.39b	2.40 ± 0.52a	0.77 ± 0.09a	4.69 ± 3.62a

1) 同一列上标不同字母代表差异显著

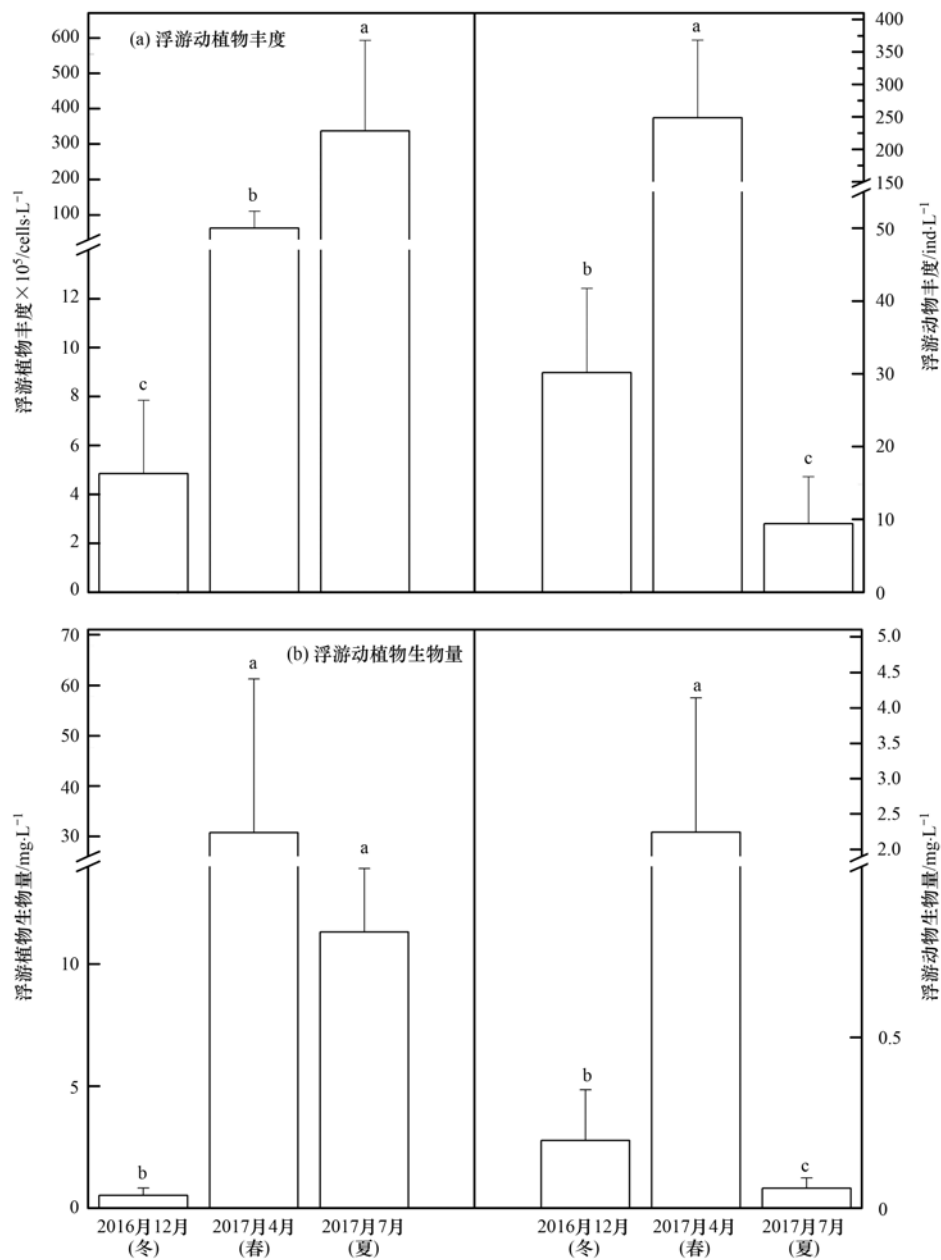


图3 长寿湖不同季节浮游动植物的丰度和生物量

Fig. 3 Abundances and biomass of zooplankton and phytoplankton in Changshou Lake in different seasons

春季最大,与冬夏两季差异显著($P < 0.05$),这主要由于冬季温度较低,不利于浮游动物的生长,以及夏季轮虫优势种群的大量生长抑制了其他浮游动物的生长,导致其种类数降低。

生物多样性指数是评价水体质量状况的指标之一,已有学者基于此进行水质评价的研究^[36].本研究利用浮游植物群落的生物多样性指数对长寿湖进

行水质评价(表4),3项指数的值越大,表明多样性越高^[37],水质越好.由Shannon-Wiener指数结果可得,长寿湖冬、春季处于清洁-寡污状态,夏季水质类型为 β -中污型水质;Pielous均匀度指数结果表明,冬春夏3个季节水质属于清洁-寡污型;根据Margalef丰富度指数发现,长寿湖水水质冬、春季处于中度污染,夏季处于重污染,但有向中度污染过渡的

表4 基于Shannon-Wiener指数、Pielous指数和Margalef指数的水质评价标准^[36]

Shannon-Wiener 指数		Pielous 指数		Margalef 指数	
水质类型		水质类型		水质类型	
>3	清洁-寡污型	0.8~1.0	清洁型	0~1	重污染型
1~3	β -中污型	0.5~0.8	清洁-寡污型	1~2	中度污染
0~1	α -中污型	0.3~0.5	β -中污型	2~3	轻度污染
		0~0.3	α -中污型	>3	清洁型

趋势. 总体而言,长寿湖冬、春季生物多样性指数差异不显著,二者均显著大于夏季($P < 0.05$),冬、春季节长寿湖水质处于清洁-寡污状态,夏季处于中度污染状态. 由周边地区工农业的快速发展带来的大量营养盐、有机物等外源污染物可能是导致长寿湖水质变差的主要原因.

2.3 长寿湖浮游动植物群落结构与环境因子的响应关系

湖泊多个环境因子在时间和空间上影响浮游动植物的群落结构. 有研究表明,浮游动植物群落结构受水温、营养盐、盐度、pH、水深、溶解氧、总氮、叶绿素 a、透明度和总磷等^[31, 38, 39]的影响,如适当的温

度可促进浮游动植物群落发展^[40],溶解的微量元素供应可改变浮游植物的群落结构,增加人为来源的营养负荷,降低生态多样性和加剧群落结构的演替^[41].

本研究中 Pearson 相关性分析结果表明(表 5),冬季 ZB 与 PB 显著正相关,PH、ZH 与 Eh 均具有显著的相关性,PA 与 DO、 T 有相关关系,PJ 与 DO、TP 具有显著的负相关关系,ZB 与 Chla 呈现显著的正相关,ZH 与 NO_2^- -N 表现为显著的负相关关系. 春季浮游动物生物指标均与浮游植物丰度和生物量没有显著相关的关系,PA 和 ZH 与 NO_3^- -N 显著正相关,PA、PB 与 Chla 显著正相关,ZH 与 DO 显著负相关.

表 5 浮游动植物的生物指标与环境因子的相关性¹⁾
Table 5 Correlations between the biological indexes of zooplankton and phytoplankton and environmental factors

		PA	PB	PH	PJ	PD	ZA	ZB	ZH	ZJ	ZD
冬季	PA	1.00	-0.06	0.21	-0.82	0.63	-0.17	0.05	0.46	-0.33	-0.12
	PB	-0.06	1.00	0.41	0.22	0.25	0.09	0.96 [*]	0.46	-0.25	0.32
	NO ₃ ⁻ -N	-0.75	0.43	-0.68	0.33	-0.61	-0.69	-0.54	0.43	0.77	0.27
	NH ₄ ⁺ -N	-0.13	-0.63	0.10	-0.35	0.26	-0.81	-0.82	-0.34	0.23	-0.46
	pH	-0.21	-0.11	0.52	-0.18	0.53	-0.60	-0.38	-0.58	-0.09	-0.56
	Chla	0.26	0.79	0.37	0.22	0.17	0.86	0.91 [*]	-0.08	-0.60	0.10
	NO ₂ ⁻ -N	0.19	-0.22	0.69	-0.34	0.71	-0.25	-0.38	-0.88 [*]	-0.51	-0.87
	Eh	-0.23	-0.25	-0.91 [*]	0.18	-0.79	-0.13	-0.12	0.90 [*]	0.77	0.78
	DO	-0.92 [*]	0.19	-0.60	0.93 [*]	-0.80	0.10	0.19	0.35	0.28	0.32
	T	-0.90 [*]	0.30	-0.27	0.57	-0.39	-0.40	0.13	0.34	0.50	0.36
	TN	0.21	0.18	-0.09	-0.52	0.10	-0.51	0.13	0.76	0.74	0.80
	TP	0.87	-0.38	0.29	-0.97 ^{**}	0.57	-0.27	-0.35	-0.03	0.06	-0.06
	DOC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
春季	PA	1.00	0.95 [*]	0.62	0.60	-0.30	0.54	-0.25	0.93	0.84	0.40
	PB	0.95 [*]	1.00	0.35	0.33	-0.29	0.63	0.06	0.78	0.81	0.10
	NO ₃ ⁻ -N	0.97 [*]	0.86	0.75	0.72	-0.11	0.58	-0.43	0.95 [*]	0.70	0.56
	NH ₄ ⁺ -N	0.95	0.91	0.56	0.53	0.03	0.76	-0.22	0.84	0.62	0.35
	pH	-0.90	-0.80	-0.70	-0.67	-0.13	-0.72	0.42	-0.86	-0.52	-0.52
	Chla	0.98 [*]	0.96 [*]	0.54	0.51	-0.11	0.70	-0.17	0.87	0.72	0.31
	NO ₂ ⁻ -N	0.92	0.82	0.71	0.68	0.07	0.69	-0.42	0.89	0.57	0.53
	Eh	0.61	0.44	0.74	0.71	0.45	0.63	-0.64	0.67	0.14	0.67
	DO	-0.94	-0.81	-0.80	-0.78	0.08	-0.54	0.52	-0.96 [*]	-0.67	-0.63
	T	-0.82	-0.85	-0.32	-0.28	-0.25	-0.92	0.00	-0.64	-0.41	-0.11
	TN	0.83	0.64	0.90	0.88	0.02	0.46	-0.69	0.93	0.53	0.78
	TP	0.17	0.47	-0.66	-0.68	-0.12	0.44	0.91	-0.18	0.21	-0.83
	DOC	0.09	-0.12	0.59	0.57	0.69	0.34	-0.72	0.26	-0.35	0.66
夏季	PA	1.00	0.55	0.57	0.08	0.89 [*]	-0.23	-0.35	0.97 ^{**}	0.01	0.98 ^{**}
	PB	0.55	1.00	0.42	0.37	0.40	-0.93 [*]	-0.80	0.56	0.74	0.70
	NO ₃ ⁻ -N	0.78	0.92 [*]	0.36	0.12	0.53	-0.74	-0.59	0.79	0.53	0.86
	NH ₄ ⁺ -N	0.98 ^{**}	0.53	0.50	0.00	0.86	-0.22	-0.28	0.99 ^{**}	0.09	0.97 ^{**}
	pH	0.16	-0.24	0.54	0.48	0.39	0.42	-0.16	-0.09	-0.75	0.06
	Chla	-0.39	-0.65	0.28	0.39	0.03	0.58	0.11	-0.46	-0.49	-0.45
	NO ₂ ⁻ -N	-0.52	-0.25	0.33	0.70	-0.17	0.13	-0.32	-0.71	-0.28	-0.51
	Eh	0.37	0.67	-0.12	-0.26	0.10	-0.69	-0.22	0.56	0.83	0.49
	DO	-0.27	0.26	-0.56	-0.41	-0.50	-0.48	0.10	-0.03	0.80	-0.15
	T	0.56	0.18	0.43	0.20	0.52	0.09	-0.21	0.36	-0.49	0.47
	TN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	TP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	DOC	-0.94 [*]	-0.45	-0.78	-0.33	-0.99 ^{**}	0.13	0.45	-0.86	0.12	-0.92 [*]

1) * 与 ** 分别表示在 0.05 水平(双侧)、0.01 水平(双侧)上具有显著相关性; “—”表示因环境数据缺失未进行相关性分析

夏季 ZA 与 PB 显著负相关,ZH、ZD 均与 PA 具有显著正相关关系,PA、ZH 和 ZD 与 NH_4^+-N ,以及 PB 与 NO_3^--N 之间均具有显著的正相关关系,PA、PD 和 ZD 均与 DOC 呈现显著的负相关关系。

浮游动植物之间的关系密切而复杂,是水体中所有环境因子共同作用的结果,浮游动物对浮游植物的下行控制效应,对浮游动植物的群落结构有重要的影响. 本研究中,冬季浮游动物生物量与浮游植物生物量具有显著的正相关关系,春季浮游动植物生物指标之间无显著的相关关系,夏季浮游动物丰度与浮游植物生物量显著负相关,浮游动物生物多样性指数与浮游植物丰度显著正相关,说明长寿湖浮游动物对浮游植物的下行控制效应存在季节性差异,夏季该效应尤为突出,夏季浮游动植物的生物多样性与浮游植物密切相关,可能是夏季有利于浮游动植物的生长,浮游动物对浮游植物的摄食压力增大导致的. DO 是衡量水体自净能力的指标之一,浮游动植物的生长均需要消耗氧气进行呼吸作用,本研究中冬季浮游植物 Pielous 均匀度指数与 DO 正相关,张丹^[42]的研究结果也得到了相同的结论. 本研究发现,环境因子 NO_2^--N 不利于浮游动物的生长,冬、春季浮游动植物指标与 TP、DO 存在显著的负相关关系,这表明 NO_2^--N 、TP 和 DO 在特定环境下对浮游动植物的生长也存在抑制作用. 窦勇等^[1]的研究中也提出了氮盐对浮游动物的生长可能存在一定的毒害作用. 本研究中,夏季 DOC 对浮游动植物的生长有影响,DOC 代表水体中溶解性有机质 (DOM) 的含量,DOM 通过吸收紫外光从而对浮游植物的光合作用产生影响,同时 DOM 和水体的物质发生反应,以及含有的弱酸弱碱官能团影响水体的 pH^[43],导致水环境中物质的生物有效性发生改变,从而直接或间接地影响浮游植物的群落结构. 夏季浮游动植物指标与铵态氮、硝态氮有关,氮盐作为调节浮游植物生长的营养元素之一,对浮游植物的生长有一定的促进作用;冬季浮游动植物的生物指标与 Eh 有关,因为 Eh 可能通过影响氨氮转化速率与效率^[44]等控制浮游植物的生长,李德亮等^[45]对大通湖的研究结果也表明,Eh 是影响浮游植物群落结构的主要因子. 冬、春季浮游动植物生物量与 Chla 正相关,已有研究表明水体中浮游植物现存量的变化可通过 Chla 的浓度来反映^[46]. 且浮游动物滤食浮游植物,因此,可推断 DOC、氮盐、Eh 和 Chla 通过改变浮游植物群落结构,从而间接影响浮游动物的群落结构。

3 结论

(1) 本次对浮游动植物的鉴定结果表明,浮游

植物共有 8 门 107 种,其群落结构呈现季节性的变化规律,体现为绿藻-蓝藻-硅藻群落 (冬季) 转变为隐藻-硅藻-绿藻群落 (春季),而夏季以蓝藻群落为主. 浮游动物共鉴定出 4 门 82 种,轮虫为其最主要组成群落。

(2) 通过浮游动植物的指示作用以及利用生物多样性指数进行水质评价,可得冬、春季长寿命湖水水质处于清洁-寡污状态,夏季处于中度污染状态,长寿湖整体处于富营养化状态。

(3) 影响长寿湖浮游动植物群落结构的环境因子包括 Chla、DOC、TP、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、 NH_4^+-N 、DO、Eh 和 T. 不同季节影响浮游动植物群落结构的环境因子存在差异,因此不同时期需综合考虑浮游动植物与环境因子相互影响的关系,采取有效措施防治长寿湖的环境污染。

参考文献:

- [1] 窦勇, 霍达, 姜智飞, 等. 海河入海口表层水体浮游生物群落特征及与环境因子的相关性研究[J]. 生态环境学报, 2016, **25**(4): 647-655.
Dou Y, Huo D, Jiang Z F, et al. Study of the community characteristics of plankton and their correlation with the environmental factors in surface water in Haihe estuary [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, **25**(4): 647-655.
- [2] 薄芳芳, 杨虹, 左倬, 等. 上海公园水体夏季浮游植物群落与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(7): 1259-1265.
Bo F F, Yang H, Zuo Z, et al. Relationship between phytoplankton community in summer and environmental factors in Shanghai park lakes[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, **28**(7): 1259-1265.
- [3] Lepistö L, Holopainen A L, Vuoristo H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of Finnish boreal lakes[J]. Limnologia, 2004, **34**(3): 236-248.
- [4] 李娜, 周绪申, 孙博闻, 等. 白洋淀浮游植物群落的时空变化及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(3): 772-783.
Li N, Zhou X S, Sun B W, et al. Spatiotemporal variation of phytoplankton community and its relationship with environmental factors in the Lake Baiyangdian [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(3): 772-783.
- [5] Li Y, Chen F Z. Are zooplankton useful indicators of water quality in subtropical lakes with high human impacts? [J]. Ecological Indicators, 2020, **113**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106167.
- [6] 夏品华, 马健荣, 李存雄, 等. 红枫湖水库冬春季浮游生物群落与环境因子的典范对应分析[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(4): 378-386.
Xia P H, Ma J R, Li C X, et al. Canonical correspondence analysis between the plankton community and environmental factors in Hongfeng Lake reservoir in winter and spring [J]. Research of Environmental Sciences, 2011, **24**(4): 378-386.
- [7] 魏皓, 赵伟, 罗晓凡, 等. 北冰洋浮游生物空间分布及其季节变化的模拟[J]. 海洋学报, 2019, **41**(9): 65-79.
Wei H, Zhao W, Luo X F, et al. Simulation of spatial distribution and seasonal variation of plankton in the Arctic Ocean

- [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2019, **41**(9): 65-79.
- [8] 杨丽, 张玮, 尚光霞, 等. 淀山湖浮游植物功能群演替特征及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2018, **39**(7): 3158-3167.
- Yang L, Zhang W, Shang G X, *et al.* Succession characteristics of phytoplankton functional groups and their relationships with environmental factors in Dianshan Lake, Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(7): 3158-3167.
- [9] 王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 等. 北京市河流秋季浮游动物群落特征分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(8): 3568-3576.
- Wang H L, Liu Y F, Ren Y F, *et al.* Analysis of river zooplankton community characteristics in autumn in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(8): 3568-3576.
- [10] 杨杰青, 欧阳珑玲, 唐峰华, 等. 海南西北部近岸海域浮游动物群落结构与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2020, **27**(2): 236-249.
- Yang J Q, Ouyang L L, Tang F H, *et al.* Relationship between the zooplankton community structure and environmental factors offshore of northwest Hainan Island, China [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, **27**(2): 236-249.
- [11] 许志, 陈小华, 沈根祥, 等. 上海河道浮游植物群落结构时空变化特征及影响因素分析[J]. *环境科学*, 2020, **41**(8): 3621-3628.
- Xu Z, Chen X H, Shen G X, *et al.* Spatial and temporal variation of phytoplankton community structure and its influencing factors in Shanghai river channels [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(8): 3621-3628.
- [12] 王振方, 张玮, 杨丽, 等. 异龙湖不同湖区浮游植物群落特征及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2019, **40**(5): 2249-2257.
- Wang Z F, Zhang W, Yang L, *et al.* Characteristics of phytoplankton community and its relationship with environmental factors in different regions of Yilong Lake, Yunnan Province, China [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(5): 2249-2257.
- [13] 柳丽华, 左涛, 陈瑞盛, 等. 2004 年秋季长江口海域浮游植物的群落结构和多样性[J]. *海洋水产研究*, 2007, **28**(3): 112-119.
- Liu L H, Zuo T, Chen R S, *et al.* Community structure and diversity of phytoplankton in the estuary of Yangtze River in autumn [J]. *Marine Fisheries Research*, 2007, **28**(3): 112-119.
- [14] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 I. 种类组成与群落结构[J]. *生态学报*, 2000, **20**(5): 715-721.
- Bi H S, Sun S, Gao S W, *et al.* The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai sea I. Species composition and community structure [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5): 715-721.
- [15] Sidik M J, Rashed-Un-Nabi M, Hoque A. Distribution of phytoplankton community in relation to environmental parameters in cage culture area of Sepanggar Bay, Sabah, Malaysia [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008, **80**(2): 251-260.
- [16] Lv X M, Zhang J, Liang P, *et al.* Phytoplankton in an urban river replenished by reclaimed water: features, influential factors and simulation [J]. *Ecological Indicators*, 2020, **112**, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106090.
- [17] 张冬融, 徐佳奕, 徐兆礼, 等. 杭州湾南岸海域春秋季节浮游动物分布特征与主要环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2014, **33**(8): 2115-2123.
- Zhang D R, Xu J Y, Xu Z L, *et al.* Distribution pattern of zooplankton in the south part of Hangzhou Bay during spring and autumn in relation to main environmental factors [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(8): 2115-2123.
- [18] 雷波, 刘翔, 张方辉, 等. 三峡水库上游长寿湖浮游藻类的季节变化特征及关键环境影响因子[J]. *湖泊科学*, 2017, **29**(2): 369-377.
- Lei B, Liu S R, Zhang F H, *et al.* Seasonal phytoplankton dynamics and its relationship with key environmental factors in Lake Changshou, upper reaches of the Three Gorges Reservoir [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, **29**(2): 369-377.
- [19] 张庆吉, 王业宇, 王金东, 等. 骆马湖浮游植物演替规律及驱动因子[J]. *环境科学*, 2020, **41**(4): 1648-1656.
- Zhang Q J, Wang Y Y, Wang J D, *et al.* Succession pattern of phytoplankton and its drivers in Lake Luoma, Jiangsu Province [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(4): 1648-1656.
- [20] 潘晓洁, 刘诚, 万成炎, 等. 三峡水库典型支流河口浮游植物群落与水环境相关性分析[J]. *水生生态学杂志*, 2016, **37**(6): 7-13.
- Pan X J, Liu C, Wan C Y, *et al.* Phytoplankton community structure in typical tributary coves of Three Gorges Reservoir and its relationship to the water environment [J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, **37**(6): 7-13.
- [21] 杨志敏, 熊海灵, 张晟, 等. 重庆长寿湖富营养化评价及氮磷平衡研究[J]. *水土保持学报*, 2005, **19**(2): 73-75, 109.
- Yang Z M, Xiong H L, Zhang S, *et al.* Assessment of eutrophication and balance of N and P in Changshou Reservoir [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, **19**(2): 73-75, 109.
- [22] 周莉萍, 金相灿, 卢少勇, 等. 重庆市长寿湖重金属污染评价[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(7): 1355-1361.
- Zhou L P, Jin X C, Lu S Y, *et al.* Access of heavy metals pollution of Changshouhu in Chongqing, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, **29**(7): 1355-1361.
- [23] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [24] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [25] 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2003, **23**(5): 892-900.
- Guo P Y, Shen H T, Liu A C, *et al.* The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(5): 892-900.
- [26] 张洁, 杨娟. 三峡库区汛期浮游藻类与水质特征研究[J]. *生态科学*, 2017, **36**(1): 55-63.
- Zhang J, Yang J. A study on phytoplankton and water quality characteristics in the Three Gorges Reservoir at flood season [J]. *Ecological Science*, 2017, **36**(1): 55-63.
- [27] 胡莲, 彭建华, 邹曦, 等. 童子湖水库生态监测与湿地恢复的生态效应研究[A]. 见: 2018 中国环境科学学会科学技术年会议论文集(第一卷)[C]. 合肥: 中国环境科学学会, 2018. 9.
- [28] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 等. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应[J]. *生态学报*, 2003, **23**(6): 1101-1108.
- Lin Q Q, Hu R, Duan S S, *et al.* Reservoir trophic states and the response of plankton in Guangdong Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(6): 1101-1108.
- [29] 林青, 由文辉, 徐凤洁, 等. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2014, **34**(23): 6918-6929.
- Lin Q, You W H, Xu F J, *et al.* Zooplankton community

- structure and its relationship with environmental factors in Dishui Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34** (23): 6918-6929.
- [30] 刘晓曦, 陈丽, 蒋伊能, 等. 抚仙湖浮游植物群落时空变化特征及其与环境因子的关系[J]. *湖泊科学*, 2020, **32**(3): 793-803.
- Liu X X, Chen L, Jiang Y N, *et al.* Spatiotemporal variation of phytoplankton communities and their relationship with environmental factors in Lake Fuxian [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(3): 793-803.
- [31] 吴利, 唐会元, 龚云, 等. 三峡水库正常运行下库区干流浮游动物群落特征研究[J]. *水生态学杂志*, 2021, **42**(1): 58-65.
- Wu L, Tang H Y, Gong Y, *et al.* Temporal-spatial distribution of zooplankton community in the main stem of Three Gorges Reservoir under normal operation [J]. *Journal of Hydroecology*, 2021, **42**(1): 58-65.
- [32] 原居林, 尹文林, 沈锦玉, 等. 南太湖浮游植物特征及其富营养化评价[J]. *生态学杂志*, 2009, **28**(11): 2197-2201.
- Yuan J L, Yin W L, Shen J Y, *et al.* Phytoplankton and its relations with eutrophication of southern Taihu Lake [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(11): 2197-2201.
- [33] 李如忠, 刘科峰, 钱靖, 等. 合肥市区典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价[J]. *环境科学*, 2014, **35**(5): 1718-1726.
- Li R Z, Liu K F, Qian J, *et al.* Nitrogen and phosphate pollution characteristics and eutrophication evaluation for typical urban landscape waters in Hefei City [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(5): 1718-1726.
- [34] 陈豪, 左其亭, 张永勇, 等. 淮河中上游浮游植物群落结构特征及营养状况评价[J]. *中国农村水利水电*, 2019, (2): 1-6, 10.
- Chen H, Zuo Q T, Zhang Y Y, *et al.* Phytoplankton community structure and nutrition status evaluation in the upper and middle reaches of the Huaihe River [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2019, (2): 1-6, 10.
- [35] 刘静, 杜桂森, 刘晓端, 等. 密云水库的浮游生物群落[J]. *西北植物学报*, 2004, **24**(8): 1485-1488.
- Liu J, Du G S, Liu X D, *et al.* Study on plankton community in Miyun reservoir [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, **24**(8): 1485-1488.
- [36] 董芳, 周贤君, 张辉, 等. 贵阳市小车河浮游生物群落结构与水环境因子的关系[EB/OL]. *基因组学与应用生物学*. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.q.20200213.1346.002.html>, 2020-10-30.
- Dong F, Zhou X J, Zhang H, *et al.* Plankton community structure and its relation to the environmental factors of Xiaochu River in Guiyang City, Guizhou [EB/OL]. *Genomics and Applied Biology*. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1369.q.20200213.1346.002.html>, 2020-10-30.
- [37] 王珊, 于明, 刘全儒, 等. 东江干流浮游植物的物种组成及多样性分析[J]. *资源科学*, 2013, **35**(3): 473-480.
- Wang S, Yu M, Liu Q R, *et al.* Phytoplankton species composition and biodiversity in Dongjiang River [J]. *Resources Science*, 2013, **35**(3): 473-480.
- [38] 石晓丹, 阮晓红, 邢雅因, 等. 苏州平原河网区浅水湖泊冬夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析[J]. *环境科学*, 2008, **29**(11): 2999-3008.
- Shi X D, Ruan X H, Xing Y N, *et al.* Canonical correspondence analysis between phytoplankton community and environmental factors in winter and summer in Shallow Lakes of plain river network areas, Suzhou [J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(11): 2999-3008.
- [39] 刘存歧, 孔祥玲, 张治荣, 等. 基于 RDA 的白洋淀浮游植物群落动态特征分析[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2016, **36**(3): 278-285.
- Liu C Q, Kong X L, Zhang Z R, *et al.* Dynamics of phytoplankton community in Baiyangdian Lake based on the redundancy analysis (RDA) [J]. *Journal of Hebei University (Natural Science Edition)*, 2016, **36**(3): 278-285.
- [40] 王硕, 杨涛, 李小平, 等. 渭河流域浮游动物群落结构及其水质评价[J]. *水生生物学报*, 2019, **43**(6): 1333-1345.
- Wang S, Yang T, Li X P, *et al.* Zooplankton community structure and the water quality in the Wei River Basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(6): 1333-1345.
- [41] Nwankwegu A S, Li Y P, Huang Y N, *et al.* Nutrient addition bioassay and phytoplankton community structure monitored during autumn in Xiangxi Bay of Three Gorges Reservoir, China [J]. *Chemosphere*, 2020, **247**, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.125960.
- [42] 张丹. 不同水质类别城市河道浮游生物群落结构分析及其多样性的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.
- Zhang D. Study on community structure and diversity of plankton in urban rivers of different water quality category [D]. Shanghai: East China Normal University, 2011.
- [43] 白英臣. 天然溶解有机质和环境污染物的相互作用——以铜、汞离子和卡马西平为例[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2007.
- Bai Y C. Interaction between natural dissolved organic matter and environmental contaminants: copper, mercury ion and carbamazepine [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [44] 赵秀侠, 卢文轩, 李静, 等. 青龙湖冬季浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *水生态学杂志*, 2020, **41**(2): 83-90.
- Zhao X X, Lu W X, Li J, *et al.* Winter phytoplankton community structure and its relationships with environmental factors in Qinglong Lake, Anhui Province [J]. *Journal of Hydroecology*, 2020, **41**(2): 83-90.
- [45] 李德亮, 张婷, 肖调义, 等. 大通湖浮游植物群落结构及其与环境因子关系[J]. *应用生态学报*, 2012, **23**(8): 2107-2113.
- Li D L, Zhang T, Xiao D Y, *et al.* Phytoplankton's community structure and its relationships with environmental factors in an aquaculture lake, Datong Lake of China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, **23**(8): 2107-2113.
- [46] 刘朋超, 王卫军, 骆启豪, 等. 山东半岛南北两侧海域真核浮游生物群落特征及与环境因子的相关性分析[J]. *海洋与湖沼*, 2019, **50**(4): 876-885.
- Liu P C, Wang W J, Luo Q H, *et al.* Characteristics of eukaryotic plankton community and its correlation with environmental factors in the northern and southern seas of Shandong Peninsula [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, **50**(4): 876-885.

CONTENTS

Chemical Characteristics and Source Apportionment of Organic Aerosols in Atmospheric PM _{2.5} in Winter in Beijing	XU Nan, WANG Tian-tian, LI Xiao, <i>et al.</i> (2101)
Characteristics of Two Pollution Episodes Before and After City Heating in Beijing from February to March of 2019	YIN Xiao-mei, PU Wei-wei, WANG Ji-kang, <i>et al.</i> (2110)
Analysis of Characteristics and Causes of a Typical Haze Pollution in Beijing in the Winter of 2019	LIAN Han-yang, YANG Xin, ZHANG Pu, <i>et al.</i> (2121)
New Particle Formation Events in Summer and Winter in the Coastal Atmosphere in Qingdao, China	SUN Yue, ZHU Yu-jiao, MENG He, <i>et al.</i> (2133)
Characteristics of Heavy Metal Pollution and Ecological Risk Evaluation of Indoor Dust from Urban and Rural Areas in Taiyuan City During the Heating Season	HUANG Hao, XU Zi-qi, YAN Jun-xia, <i>et al.</i> (2143)
Concentration Analysis and Health Risk Assessment of Air Pollutants in Newly Decorated Public Places in Xi'an	FAN Jie, FAN Hao, SHEN Zhen-xing, <i>et al.</i> (2153)
Emission Concentration and Characteristics of Particulate Matter and Water-Soluble Ions in Exhaust Gas of Typical Combustion Sources with Ultra-Low Emission	HU Yue-qi, WANG Zheng, GUO Jian-hui, <i>et al.</i> (2159)
High-Throughput Sequencing Analysis of Microbial Communities in Summertime Atmospheric Particulate Matter in Hefei City	JIANG Shao-yi, SUN Bo-wen, DAI Hai-tao, <i>et al.</i> (2169)
Spatiotemporal Variations in Fine Particulate Matter and the Impact of Air Quality Control in Zhengzhou	DONG Zhe, YUAN Ming-hao, SU Fang-cheng, <i>et al.</i> (2179)
Characteristics of Ozone Pollution and Relationships with Meteorological Factors in Jiangxi Province	QIAN Yue, XU Bin, XIA Ling-jun, <i>et al.</i> (2190)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Aerosol Optical Properties in Urban Agglomerations on the North Slope of the Tianshan Mountains	ZHANG Zhe, DING Jian-li, WANG Jin-jie, <i>et al.</i> (2202)
Comprehensive Classification Method of Urban Water by Remote Sensing Based on High-Resolution Images	YANG Zi-qian, LIU Huai-qing, LÜ Heng, <i>et al.</i> (2213)
Construction and Application Optimization of the Chl-a Forecast Model ARIMA for Lake Taihu	LI Na, LI Yong, FENG Jia-cheng, <i>et al.</i> (2223)
Spatial Differences in Water Quality and Spatial Autocorrelation Analysis of Eutrophication in Songhua Lake	DING Yang, ZHAO Jin-yong, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2232)
Pollution and Irrigation Applicability of Surface Water from Wet, Normal, and Dry Periods in the Huixian Karst Wetland, China	ZHU Dan-ni, ZOU Sheng-zhang, LI Jun, <i>et al.</i> (2240)
Changes in Water Chemistry and Driving Factors in the Middle and Lower Reaches of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	CHENG Zhong-hua, DENG Yi-xiang, ZHUO Xiao-ke, <i>et al.</i> (2251)
Effects of Different Land Use Practices on Nitrogen Loss from Runoff During Rainfall Events	LUO Yi-feng, CHEN Fang-xin, ZHOU Hao, <i>et al.</i> (2260)
Sources and Fate of Nitrate in Groundwater in a Typical Karst Basin: Insights from Carbon, Nitrogen, and Oxygen Isotopes	REN Kun, PAN Xiao-dong, LIANG Jia-peng, <i>et al.</i> (2268)
Changes in the Bacterioplankton Community Between "Ice" and "Water" in the Frozen Dali Lake	LI Wen-bao, YANG Xu, TIAN Ya-nan, <i>et al.</i> (2276)
Analysis of the Spatial Changes in Bacterial Communities in Urban Reclaimed Water Channel Sediments; A Case Study of the North Canal River	QIU Ying, JIN Yan, SU Zhen-hua, <i>et al.</i> (2287)
Spatial Differences and Influencing Factors of Denitrification and ANAMMOX Rates in Spring and Summer in Lake Taihu	ZHAO Feng, XU Hai, ZHAN Xu, <i>et al.</i> (2296)
Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in a Typical Tributary Reservoir in the Three Gorges Reservoir Region	CHEN Sha, XIE Qing, FU Mei, <i>et al.</i> (2303)
Application of Iron and Sulfate-Modified Biochar in Phosphorus Removal from Water	SANG Qian-qian, WANG Fang-jun, ZHAO Yuan-tian, <i>et al.</i> (2313)
Analysis of the Performance and Mechanism of Phosphorus Removal in Water by Steel Slag	LUO Xiao, ZHANG Jun-bo, HE Lei, <i>et al.</i> (2324)
Adsorption of BS-18 Amphoterically Modified Bentonite to Tetracycline and Norfloxacin Combined Pollutants	WANG Xin-xin, MENG Zhao-fu, LIU Xin, <i>et al.</i> (2334)
Preparation of Ag ₃ PO ₄ /g-C ₃ N ₄ Composite Photocatalysts and Their Visible Light Photocatalytic Performance	GAO Chuang-chuang, LIU Hai-cheng, MENG Wu-shuang, <i>et al.</i> (2343)
Activation of Permonosulfate by Rhodamine B for BPA Degradation Under Visible Light Irradiation	ZHANG Yi-chen, BAI Xue, SHI Juan, <i>et al.</i> (2353)
Fe-Ti Co-Doped Alumina-Induced Surface Dual Reaction Center for Catalytic Ozonation to Remove Pollutants from Water	ZHANG Fan, SONG Yang, HU Chun, <i>et al.</i> (2360)
Preparation of Sulfidated Copper-Iron Bimetallic Compositing Material and Its Mechanism for Chromium Removal	QU Min, WANG Yuan, CHEN Hui-xia, <i>et al.</i> (2370)
Mechanisms of Penicillin Wastewater Treatment by Coupled Electrocatalytic and Bioelectrochemical Systems	QU You-peng, LÜ Jiang-wei, DONG Yue, <i>et al.</i> (2378)
Aerobic Granular Sludge Operation and Nutrient Removal Mechanism from Domestic Sewage in an Anaerobic/Aerobic Alternating Continuous Flow System	LI Dong, YANG Jing-wei, LI Yue, <i>et al.</i> (2385)
In-situ Phosphorus Removal Activity and Impact of the Organic Matter Concentration on Denitrifying Phosphorus Removal in Sludge Aggregates	LÜ Yong-tao, JIANG Xiao-tong, TU Yan, <i>et al.</i> (2396)
In-situ Sludge Reduction Technology Based on Ozonation	XUE Bing, LIU Bin-han, WEI Ting-ting, <i>et al.</i> (2402)
Effects of Activated Carbon on the Fate of Antibiotic Resistance Genes During Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste	MA Jia-ying, WANG Pan-liang, WANG Bing-han, <i>et al.</i> (2413)
Release Mechanisms of Carbon Source and Dissolved Organic Matter of Six Agricultural Wastes in the Initial Stage	LING Yu, YAN Guo-kai, WANG Hai-yan, <i>et al.</i> (2422)
Spatial Differentiation of Soil Organic Carbon Density and Influencing Factors in Typical Croplands of China	LI Cheng, WANG Rang-hui, LI Zhao-zhe, <i>et al.</i> (2432)
Characteristics of Paddy Soil Organic Carbon Mineralization and Influencing Factors Under Different Water Conditions and Microbial Biomass Levels	LIU Qi, LI Yu-hong, LI Zhe, <i>et al.</i> (2440)
Analysis of Nitrogen Transformation Characteristics and Influencing Factors of Forestland Soil in the Qinghai-Tibet Plateau; A Case Study of the Qilian Mountains and Southeast Tibet	HE Fang, ZHANG Li-mei, SHEN Cong-cong, <i>et al.</i> (2449)
Using the Matter-Element Extension Model to Assess Heavy Metal Pollution in Topsoil in Parks in the Main District Park of Lanzhou City	HU Meng-jun, LI Chun-yan, LI Na-na, <i>et al.</i> (2457)
Effects of Long-Term Application of Chemical Fertilizers and Organic Fertilizers on Heavy Metals and Their Availability in Reddish Paddy Soil	XIA Wen-jian, ZHANG Li-fang, LIU Zeng-bing, <i>et al.</i> (2469)
Characteristics and Origins of Heavy Metals in Soil and Crops in Mountain Area of Southern Sichuan	HAN Wei, WANG Cheng-wen, PENG Min, <i>et al.</i> (2480)
Spatial Distribution Characteristics, Source Apportionment, and Risk Assessment of Topsoil PAHs in the Core Area of the Ningdong Energy and Chemical Industry Base	YANG Fan, LUO Hong-xue, ZHONG Yan-xia, <i>et al.</i> (2490)
Functional Stability and Applicability of Heavy Metal Passivators in Reducing Cd Uptake by Lettuce	PANG Fa-hu, WU Xue-jiao, KONG Xue-fei, <i>et al.</i> (2502)
Effects of Water Management on Cadmium Accumulation by Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Growing in Typical Paddy Soil	ZHANG Yu-ting, TIAN Ying-bing, HUANG Dao-you, <i>et al.</i> (2512)
Adsorption Properties of Oiltea Camellia Shell-Modified Biochar and Effects of Coupled Waterlogging on Soil Cd Morphology	CAI Tong, DU Hui-hui, LIU Xiao-li, <i>et al.</i> (2522)
Effects of Land Use Changes on Soil Fungal Community Structure and Function in the Riparian Wetland Along the Downstream of the Songhua River	XU Fei, ZHANG Tuo, HUAI Bao-dong, <i>et al.</i> (2531)
Distribution of Antibiotic Resistance Genes and Microbial Communities in a Fishery Reclamation Mining Subsidence Area	CHENG Sen, LU Ping, FENG Qi-yan (2541)
Effects of Three Commonly Used Herbicides on Bacterial Antibiotic Resistance	LI Xi, LIAO Han-peng, CUI Peng, <i>et al.</i> (2550)
Discussion of Microbial Control Standards of Water Reclamation and Formulation Methods	CHEN Zhuo, CUI Qi, CAO Ke-fan, <i>et al.</i> (2558)