

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

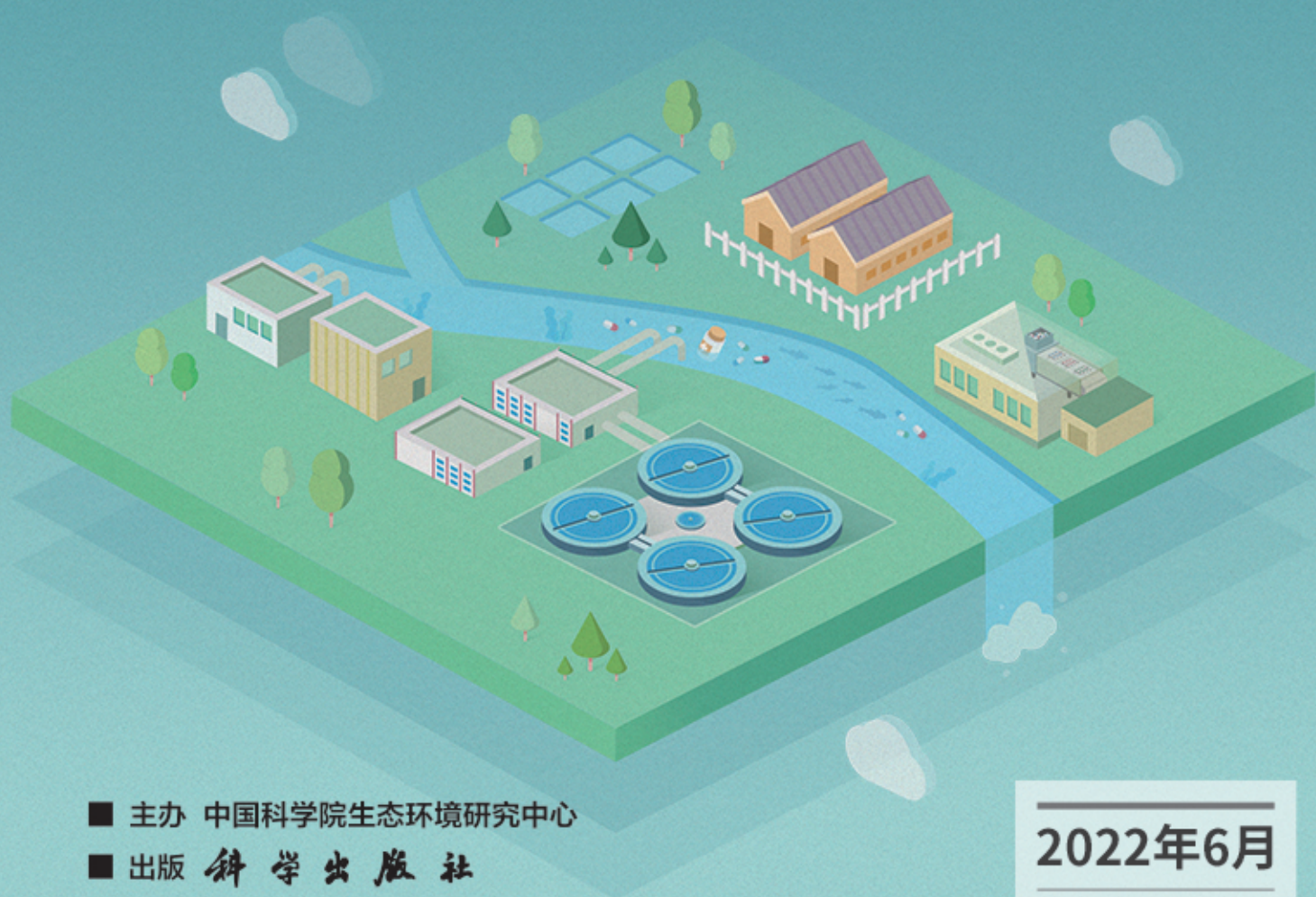
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价

武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年6月

第43卷 第6期
Vol.43 No.6

目次

COVID-19 管控期间气象条件变化对京津冀 PM _{2.5} 浓度影响	邱雨露, 陈磊, 朱佳, 马志强, 李梓铭, 郭恒, 唐颖潇 (2831)
新冠疫情管控措施对郑州市 PM _{2.5} 浓度、粒径分布、组分和来源的影响	黄兵役, 王申博, 和兵, 薛若雨, 高更宇, 张瑞芹 (2840)
COVID-19 管控期间苏州市 PM _{2.5} 中金属元素浓度变化及来源解析	缪青, 杨倩, 吴也正, 魏恒, 周民锋, 张晓华, 邹强 (2851)
2015 ~ 2019 年南京北郊碳质气溶胶组成变化	谢添, 曹芳, 章炎麟, 林煜祺, 范美益, 宋文怀, 鲍孟盈, 项妍琨, 赵祝钰, 杨笑影, 谢锋, 张煜炯, 俞浩然, 张子金, 邢佳莉 (2858)
基于受体和化学传输的综合模型解析重庆 PM _{2.5} 来源	彭超, 李振亮, 曹云攀, 蒲茜, 方维凯, 王晓宸, 汪凌韬 (2867)
保定市冬季 PM _{2.5} 的氧化潜势特征及其影响来源分析	吴继炎, 杨池, 张春燕, 范美益, 吴爱坪, 章炎麟 (2878)
南京江北新区 PM _{2.5} 中水溶性有机氮的污染特征及其来源	关璐, 丁铖, 张毓秀, 胡建林, 于兴娜 (2888)
广西十万大山背景点 PM _{2.5} 中非极性有机气溶胶组成及来源解析	邢佳莉, 曹芳, 王谦, 张煜炯, 章炎麟 (2895)
大气多环芳烃区域迁移转化模型比较与关键影响因素: 以京津冀地区为例	张馨露, 刘世杰, 韩美丽, 苏超, 张志鹏, 马琳琳, 李洋, 程苗苗 (2906)
基于过程分析的京津冀区域典型城市臭氧成因	唐颖潇, 姚青, 蔡子颖, 丁净, 樊文雁, 杨旭, 韩素芹 (2917)
天津市 PM _{2.5} -O ₃ 复合污染特征及气象影响分析	肖致美, 李源, 孔君, 李鹏, 蔡子颖, 高璟, 徐虹, 戴运峰, 邓小文 (2928)
2016 ~ 2020 年山东省空气质量时空分布特征及影响因素分析	周梦鸽, 杨依, 孙媛, 张凤英, 李永华 (2937)
河南省臭氧污染趋势特征及敏感性变化	晏洋洋, 尹沙沙, 何秦, 秦凯, 张瑞芹 (2947)
热带气旋对珠三角秋季臭氧污染的影响	赵伟, 吕梦瑶, 卢清, 高博, 梁小明, 刘明, 孙家仁, 陈来国, 范绍佳 (2957)
武汉市夏季大气挥发性有机物实时组成及来源	苏维峰, 孔少飞, 郑煌, 陈楠, 祝波, 全继宏, 祁士华 (2966)
运城市夏季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	温肖宇, 赵文婷, 罗淑贞, 张强, 王姝涛, 马俊杰, 刘新罡 (2979)
我国地表水新烟碱类杀虫剂对水生生物安全的威胁	范丹丹, 刘红玲, 杨柳燕 (2987)
长江中游典型饮用水水源中药物的时空分布及风险评价	武俊梅, 魏琳, 彭晶倩, 何鹏, 施鸿媛, 汤冬梅, 吴振斌 (2996)
内蒙古东北部地区地下-地表饮用水源多环芳烃污染特征与风险	张坤峰, 昌盛, 付青, 樊月婷, 王思瑞, 孙兴滨, 王山军 (3005)
不同尺度土地利用方式对地表水环境质量的影响及驱动机制	宋静雯, 张学霞, 姜东旸, 赵丞豪, 李鹏飞 (3016)
高原湖泊周边浅层地下水: 氮素时空分布及驱动因素	李桂芳, 杨恒, 叶远行, 陈清飞, 崔荣阳, 陈安强, 张丹 (3027)
青海湖沉积物重金属分布及其潜在生态风险分析	张雅然, 车霏霏, 付正辉, 许野, 李薇 (3037)
东江湖表层沉积物重金属污染特征与潜在生态风险评价	赵晓亮, 李响, 卢洪斌, 卢少勇, 王涛, 张森霖, 国晓春, 张静, 弥启欣, 刘晓贺, 宋书峰 (3048)
湖泊沉积物有机磷释放动力学特征及水质风险	刘哲哲, 倪兆奎, 刘思儒, 李晓秀, 王圣瑞 (3058)
长三角一体化示范区青浦区水体表层沉积物有机质分布特征、来源解析及污染评价	张智博, 段艳平, 涂耀仁, 罗鹏程, 高峻 (3066)
香溪河流域微塑料的分布特征及其迁移规律分析	陈圣盛, 李卫明, 张坤, 熊伟唯, 张续同, 刘子健 (3077)
城市水体微塑料垂向分布下附着细菌群落结构和功能响应	陈玉芳, 闫振华, 张燕, 赵海洲 (3088)
2015 ~ 2020 年洪泽湖浮游植物群落结构及其环境影响因子	屈宁, 邓建明, 张祯, 蔡永久, 龚志军, 李明 (3097)
嘉兴南湖不同湖区浮游植物群落结构特征与环境因子关系	王雅雯, 李迎鹤, 张博, 郭云艳, 陈俊伊, 韩松 (3106)
近 20 年来广东省农业面源污染负荷时空变化与来源分析	葛小君, 黄斌, 袁再健, 王栋栋, 王泉泉, 陈佳村, 谢真越 (3118)
长江上游平原丘陵区农业非点源污染输出特征和驱动机制	谭少军, 刘洋, 朱小婕, 刘荷, 邵景安, 邓华 (3128)
高分辨率数据驱动的流域非点源污染输出风险评估方法	顾晶晶, 冶涛涛, 董甲平, 蒋云钟, 曹引, 赵红莉 (3140)
不同面源强度影响下城市河流溶解性有机质光谱特征变化	陈旭东, 高良敏 (3149)
生态沟渠-生物滞留池组合控制农村径流污染	石雷, 杨小丽, 吴青宇, 王亦铭, 徐佳莹 (3160)
不同水力扰动强度对老化 PSMPs 在泥水两相间迁移的影响	吴香香, 艾萍, 李大鹏 (3168)
北京市中心城区屋面径流污染特征及来源分析	席玥, 郭婧, 陶蕾, 田颖, 陈吉吉, 吴悦, 徐藤, 荆红卫, 刘保献 (3177)
不同植被绿色屋顶径流水质年际变化特征	章孙逊, 张守红, 葛德, 闫婧, 杨航, 王任重远, 魏良怡, 张成玉 (3187)
可见光促有机物诱导铁还原的多相类芬顿体系强化效能与机制	曹丝雨, 许路, 付权超, 金鑫, 石炬, 金鹏康 (3195)
4 种典型抗生素在反硝化体系中的去除特性	唐佳, 陈茜, 覃牧川, 唐溪, 唐崇俭 (3204)
农业废弃物基生物炭对水溶液中镉的吸附效果与机制	龚沛云, 孙丽娟, 宋科, 孙雅菲, 秦秦, 周斌, 薛永 (3211)
腐殖酸-重金属对 ANAMMOX 菌脱氮性能的影响及其动力学分析	李芸, 崔楠, 熊星星, 黄志远, 李泽兵, 王东亮, 李朝明, 许丹, 李军 (3221)
2000 ~ 2020 年西南地区植被 NDVI 对气候变化和人类活动响应特征	徐勇, 黄雯婷, 窦世卿, 郭振东, 李欣怡, 郑志威, 靖娟利 (3230)
黄河三角洲湿地不同植被类型下土壤营养元素空间分布及其生态学计量特征	孙德斌, 栗云召, 于君宝, 杨继松, 杜朝红, 孙丹丹, 凌越, 马元庆, 周迪, 王雪宏, 赵佳怡 (3241)
青藏高原东北部地区表层土壤中全氟化合物的分布特征及来源解析	温祥洁, 陈朝辉, 徐维新, 吴小娟, 郝云庆, 刘伟, 印红玲, 方淑红 (3253)
西南典型“退耕还林”区土地利用/覆被变化对土壤中硒及重金属含量的影响	刘永林, 刘属灵, 吴梅, 田兴磊, 刘双燕 (3262)
贵州普定喀斯特关键带土壤重金属形态特征及风险评价	张倩, 韩贵琳 (3269)
南丹盆地东部山区土壤锆分布特征及其影响因素分析	董秋瑶, 赖书雅, 宋超, 温皓天, 严明疆, 杨振京 (3278)
神农架川金丝猴栖息地重金属污染特征及风险评价	严佳莉, 于紫玲, 余辉亮, 向明灯, 王传华 (3288)
石灰泡石钝化后两种轮作模式对重度镉污染农田土壤的利用及修复	许璐, 周春海, 刘梅, 孔辉, 李元, 黄志红 (3299)
水稻磷盈亏对镉吸收转运的影响	谭文韬, 霍洋, 周航, 仇银燕, 曾鹏, 辜娇峰, 廖柏寒 (3308)
改良剂调控下水稻镉累积和土壤溶解性有机质光谱特征的响应	罗会龙, 陈娟, 张云慧, 袁贝, 杨宾, 张昊, 杜平 (3315)
土壤真菌群落对五台山亚高山草甸退化的响应	罗正明, 赫磊, 刘晋仙, 胡砚秋, 周妍英, 郑庆荣, 柴宝峰 (3328)
小麦与不同作物多样化轮作对土壤真菌群落的影响	靳海洋, 岳俊芹, 闫雅倩, 张德奇, 杨程, 张素瑜, 李向东, 邵运辉, 方保停, 王汉芳, 秦峰 (3338)
重庆农田土壤有机碳稳定性同位素空间分布特征	廖宇琴, 龙娟, 木志坚, 文首鑫, 李翠莲, 杨志敏, 赵秀兰 (3348)
长江三角洲 2018 年土壤 NO 排放特征	廖加强, 薛金, 王文锦, 朱永慧, 朱安生, 黄凌, 王杨君, 李莉 (3357)
基于多源数据的城市扩张中热环境演变及响应	梁建设, 白永平, 杨雪蕊, 高祖桥, 李玲蔚, 张春悦, 王倩 (3365)
《环境科学》征订启事 (3004) 《环境科学》征稿简则 (3047) 信息 (3252, 3298, 3327)	

嘉兴南湖不同湖区浮游动植物群落结构特征与环境因子关系

王雅雯^{1,2}, 李迎鹤¹, 张博², 郭云艳², 陈俊伊², 韩松^{1*}

(1. 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150000; 2. 中国环境科学研究院湖泊水污染治理与生态修复技术国家工程实验室, 北京 100012)

摘要: 为了解不同区域生态修复后环境因子对浮游动植物群落分布的影响, 于 2021 年 1 月 (竣工后) 对南湖 A、B、C、D 和 S 区的环境因子及浮游动植物开展调查。结果表明, 生态修复区较未修复区水体总氮 (TN)、溶解性总氮 (DTN)、氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、硝氮 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、总磷 (TP) 和溶解性总磷 (DTP) 浓度显著降低, 溶解氧 (DO) 显著增高 ($P < 0.05$)。研究区浮游植物种类以绿藻和硅藻为主, 浮游动物种类以原生动物和轮虫为主。修复区浮游植物生物量较未修复区低, 浮游植物与浮游动物物种数升高。聚类与主坐标分析显示修复区浮游动植物群落差异显著 ($P < 0.05$), 其中 A 区和 B 区浮游动植物结构较为相似。冗余分析 (RDA) 结果显示, DO、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、pH 和水温 (WT) 是影响浮游植物群落分布的主要环境因子; DO、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 是驱动浮游动物群落分布的主要环境因子。研究结果明确了南湖不同湖区浮游动植物群落特征及环境相关性, 可为水生态修复提供数据支撑和参考。

关键词: 嘉兴南湖; 浮游动植物; 冗余分析 (RDA); 环境因子; 沉水植物; 生物多样性指数; 主坐标分析 (PCoA)

中图分类号: X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2022)06-3106-12 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.202108011

Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in Different Regions of Nanhu Lake in Jiaxing City

WANG Ya-wen^{1,2}, LI Ying-he¹, ZHANG Bo², GUO Yun-yan², CHEN Jun-yi², HAN Song^{1*}

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150000, China; 2. National Engineering Laboratory for Lake Pollution Control and Ecological Restoration, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Nanhu Lake is a red tourist attraction in Jiaxing city and the birthplace of the "Red Boat Spirit." To identify the influence of environmental factors on the distribution of plankton communities after ecological restoration in different regions, the environmental factors and plankton community in areas A, B, C, D, and S of Nanhu Lake were investigated in January 2021 after the completion of the ecological restoration projects. The concentrations of total nitrogen (TN), dissolved total nitrogen (DTN), ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), total phosphorus (TP), and dissolved total phosphorus (DTP) in the ecological restoration areas were significantly lower, and the content of dissolved oxygen (DO) was significantly higher ($P < 0.05$) than those in the non-restoration area. The main phytoplankton species in the study area belonged to Cyanophyta and Bacillariophyta, and the main zooplankton species were protozoans and rotifers. The phytoplankton biomass in the restored area was lower than that in the unrestored area, and the number of phytoplankton and zooplankton species increased. Clustering and principal coordinate analysis results showed significant differences in plankton communities among the restoration areas ($P < 0.05$), and plankton structures in regions A and B were similar. Redundancy analysis (RDA) showed that the main environmental factors affecting the distribution of phytoplankton communities were DO, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, pH, and water temperature (WT). The main driving factors of zooplankton community distribution were DO, $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, and TP. The results clarified the phytoplankton community characteristics and environmental correlation in different regions of Nanhu Lake, which can provide data support and reference for water ecological restoration of the lake.

Key words: Jiaxing Nanhu Lake; zooplankton and phytoplankton; redundancy analysis (RDA); environmental factors; submerged plant; biodiversity index; principal coordinate analysis (PCoA)

浮游生物是在自然水体中自由浮游生活的一类水生生物, 包括浮游植物和浮游动物^[1]。浮游植物是水生态系统的初级生产者和食物链的基础环节, 能够利用光合作用合成有机物^[2]; 浮游动物作为食物链的中间环节, 以浮游植物和水体中有机碎屑为食, 同时也作为水体中鱼类等高级生物的饵料^[3]。浮游生物作为湖泊水生态系统中重要的基础环节, 具有个体微小、细胞结构简单和生命周期短的特点, 因此对水体环境变化较为敏感, 能够对环境变化迅速作出响应^[4], 其群落结构与环境因子的响应关

系可作为水质状况评价指标^[5]。

不同的水文条件和水体理化因子, 造成浮游生物的物种组成、优势种、物种丰度和生物量等群落分布特征存在差异^[6]。同一湖泊不同湖区由于驳岸类型、地形、水深和水生植物覆盖度等因素的不同而造成生境异质性, 从而引起浮游生物群落结构的

收稿日期: 2021-08-02; 修订日期: 2021-10-23

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07206)

作者简介: 王雅雯 (1997 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境水生态治理, E-mail: yawen9797@163.com

* 通信作者, E-mail: songh77@126.com

差异性,且影响不同湖区浮游生物分布的主导因子也不同^[7]. 沉水植物对环境因子和浮游生物群落具有一定影响:①通过吸收水体 DTN 和 DTP 用于自身生长繁殖,同时分泌助凝物对不可利用的氮磷进行吸附沉降从而降低水体氮磷浓度^[8,9]. ②为浮游动物提供栖息地和食物来源^[10],与浮游植物竞争光照和营养同时分泌化感物质,抑制藻类生长避免水华蓝藻暴发^[11,12].

嘉兴南湖是中共一大会议址,红船精神的发源地,是浙江省嘉兴市著名的红色旅游景点. 南湖处于长江水系太湖流域^[13],周围河网密集,受流域性水环境、旅游业和河岸绿化带施肥等因素影响,导致南湖水体氮、磷营养盐浓度居高不下,部分水域蓝藻频频暴发^[14]. 2020 年 7 月在南湖水生态问题严重的湖区分不同密度种植沉水植物,工程实施后水体透明度大幅度提升,氮磷营养盐浓度下降. 但是,有关修复湖区水生态方面研究较少,导致对工程实施后南湖不同修复湖区水生态状况尚不清楚,缺少工程参数. 鉴于此,本研究于 2021 年 1 月(竣工后)对南湖 4 个修复湖区水体理化指标和浮游生物进行了调查,采用冗余分析(redundancy analysis, RDA)研究了不同湖区浮游植物与浮游动物群落分布的环境驱动因子,通过聚类热图分析和主坐标分析(principal coordinate analysis, PCoA)研究不同湖区浮游生物群落差异的原因,通过了解不同湖区生态系统特征,选出最优工程参数,以期南湖水生态修复工程实施和环境保护提供数据支撑和参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南湖地处太湖平原河网,位于嘉兴市中心城区,常年湖面面积约为 0.58 km²,是海盐塘、平湖塘和嘉善塘等多条河流干道的交汇处,起到重要的枢纽作用,四周地势低平河港纵横. 嘉兴市地处北亚热带南缘,属东亚季风区,日照充足,雨水丰沛,气温适中,年平均气温 15.9℃. 南湖景区的南部以及西部的湖区是游客经常休闲游览的区域,水生态问题严重. 2020 年 7 月在这些区域设置沉水植被修复示范区,种植以苦草为主的沉水植物,根据工程实施时沉水植物种植密度和方式的不同,分为 4 个修复湖区进行研究. A 区:沉水植物覆盖 30%,全湖区均匀种植;B 区:沉水植物覆盖 30%,岸边高密度种植;C 区:沉水植物覆盖 10%;D 区:沉水植物覆盖 60%.

1.2 样品采集与处理

1.2.1 采样点布设

本研究共布设 24 个采样点(图 1),在 A 区与 B

区岸边及湖中心区域分别均匀布设 7 个点(A1 ~ A7)和 4 个点(B1 ~ B4);在 C 区东西侧进出水口及中心区布设 4 个采样点(C1 ~ C4);在 D 区出入口及沉水植物种植区布设 7 个点(D1 ~ D7);在未种植沉水植物区设置两个参照点 S 区(S1 ~ S2). 采样点布设原则为:充分覆盖 4 个湖区水体和采样点采集的样品要对整个调查区域有较好的代表性和覆盖了地方常规检测点位.

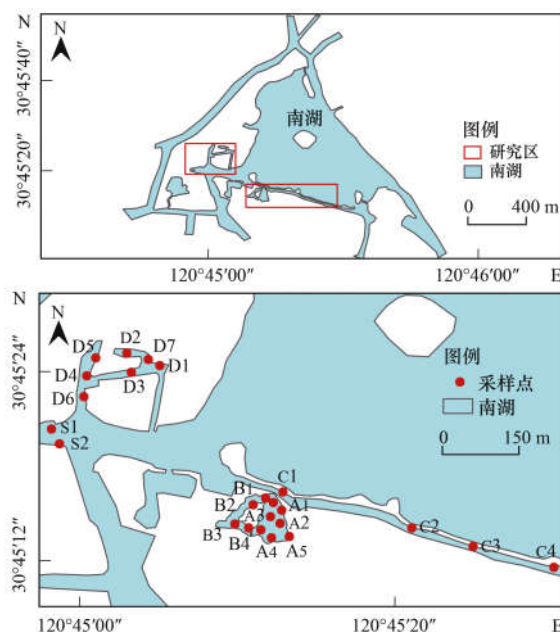


图 1 南湖不同湖区采样点分布示意

Fig. 1 Distributions of sampling sites in different regions of Nanhu Lake

1.2.2 水质理化指标

水温(WT)、酸碱度(pH)和溶解氧(DO)使用多参数水质测定仪(YSI professional plus, 美国)测定. 透明度(SD)使用塞氏盘法测定. 采用有机玻璃采水器采集上覆水样品,水样置于干净的样品瓶中,于保温箱中 4℃ 保存并尽快带回实验室. 总氮(TN)、溶解性总氮(DTN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、溶解性总磷(DTP)、无机磷(IP)和总有机碳(TOC)参照文献[15]的方法进行测定.

1.2.3 浮游动物与浮游植物

浮游植物:定性采集使用 25 号(孔径 0.064 mm)浮游生物网在水下呈“∞”形拖拽 5 min 后将滤出液收集于小瓶内加入 4% 的甲醛溶液保存;定量采集使用 2 L 有机玻璃采水器在水面下 0.5 m 和 1 m 处分层采水混合后收集 1 L 于聚乙烯瓶中,带回实验室加入 15 mL 鲁哥试剂避光静置 48 h,虹吸上清液浓缩至 30 mL 用于镜检. 浮游动物:定性采集使用 13 号(孔径 0.112 mm)浮游生物网,处理方法同浮游植物;定

量采集使用 2.5 L 有机玻璃采水器在水下分层采集共 10 L 水过 25 号浮游生物网,将滤出液收集于聚乙烯小瓶中加入 4% 甲醛溶液保存. 浮游植物与浮游动物采集样液沉淀浓缩后分别使用 0.1 mL 和 1 mL 计数框进行镜检、计数和鉴定^[16,17].

1.3 数据处理与分析

1.3.1 多样性计算

优势度和生物多样性计算采用 Mcnaughton 优势度(Y)、Shannon 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)对水体生物多样性进行计算分析,计算公式如下^[18, 19]:

Mcnaughton 优势度(Y):

$$Y = (n_i/N) \times f_i \tag{1}$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = - \sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2(n_i/N) \tag{2}$$

Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H'/\log_2 S \tag{3}$$

式中, f_i 为物种 i 出现的频率, n_i 为物种 i 的个体数; N 为全部样品的总个体数; S 为样品中浮游生物物种总数. 取优势度 $Y \geq 0.02$ 的物种作为优势种. $H' > 3$ 为清洁, $2 \sim 3$ 为 β -中污染, $1 \sim 2$ 为 α -中污染, < 1 为重污染. $J > 0.8$ 为清洁, $0.5 \sim 0.8$ 为轻污染, $0.3 \sim 0.5$ 为 β -中污染, $0.1 \sim 0.3$ 为 α -中污染, < 0.1 为重污染.

1.3.2 数据处理

4 个湖区环境因子、浮游生物数据相关性分析在 SPSS 26.0 软件中采用独立样本 t 检验和单因素方差分析. 浮游生物群落分布与环境因子相关性分析使用 R 语言 vegan 包与 ggplot2 包进行排序分析并作图. 除 pH 以外,所有环境数据和浮游生物优势种丰度数据进行 $\lg(x + 1)$ 标准化处理,去趋势分析(DCA)得出浮游植物与浮游动物第一轴长分别为 3.35 与 1.92; 长度梯度均小于 4,因此都选用 RDA 分析^[20,21]. 聚类热图和主坐标分析(PCoA)分别采用 R 语言 heatmap (图) 与 pcoa (图)包完成; 浮游生物数据绘图使用软件 Origin 2021; 采样点的绘制结合使用 ArcGIS 10.8 和 BigMap 完成.

2 结果与分析

2.1 南湖修复区水体理化特征

4 个湖区及参照点水体理化指标及相关性分析详见表 1, A 区和 B 区各项理化指标较为相近,但 DO、TP、TN、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 浓度与 C、D 和 S 区差异显著($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$). 所有采样点水体 pH 均值为 8.49, 水体整体呈弱碱性; A 区和 B 区的 DO 依次高于 C、D 和 S 区; S 区 $\rho(\text{TP})$ ($0.052 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 显著高于 A、B、C 和 D 区的($P < 0.05$); C、D 和 S 区的 TN 和 NH_4^+ -N 浓度显著高于 A 区和 B

表 1 不同湖区水体理化因子均值

Table 1 Mean values of water physicochemical parameters in different regions

不同湖区	WT	pH	DO	TP	TN	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	DTP	DTN	IP
A	8.786 ± 0.112	8.511 ± 0.052	10.808 ± 0.355	0.014 ± 0.002	0.438 ± 0.081	0.217 ± 0.081	0.05 3 ± 0.010	0.008 ± 0.001	0.478 ± 0.080	0.002 ± 0.000
B	8.775 ± 0.043	8.543 ± 0.022	10.123 ± 0.479	0.012 ± 0.002	0.437 ± 0.123	0.212 ± 0.106	0.067 ± 0.006	0.009 ± 0.001	0.467 ± 0.125	0.002 ± 0.000
C	8.650 ± 0.050	8.390 ± 0.070	8.598 ± 0.288	0.018 ± 0.001	1.389 ± 0.672	1.064 ± 0.553	0.194 ± 0.174	0.013 ± 0.002	1.436 ± 0.694	0.004 ± 0.001
D	8.629 ± 0.088	8.481 ± 0.035	8.300 ± 0.111	0.032 ± 0.012	2.114 ± 0.367	1.43 0 ± 0.473	0.158 ± 0.115	0.023 ± 0.010	2.122 ± 0.359	0.006 ± 0.000
S	8.769 ± 0.035	8.377 ± 0.021	7.890 ± 0.031	0.052 ± 0.003	2.125 ± 0.114	1.551 ± 0.003	0.207 ± 0.004	0.037 ± 0.002	2.125 ± 0.074	0.007 ± 0.001
A $\times$ B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A $\times$ C	—	—	**	*	*	**	**	**	*	—
A $\times$ D	—	—	**	*	*	**	**	**	**	—
B $\times$ C	—	—	*	*	*	*	*	*	*	—
B $\times$ D	—	—	**	*	**	**	*	*	**	—
C $\times$ D	—	—	—	*	*	—	—	—	—	—
S $\times$ A	—	—	**	**	**	**	**	**	**	—
S $\times$ B	—	—	**	**	**	**	**	**	**	—
S $\times$ C	—	—	**	**	**	**	**	**	**	—
S $\times$ D	—	—	**	**	*	**	**	**	**	—

1) A 表示大湖区, B 表示小湖区, C 表示成功堤区, D 表示壕股塔区, S 表示对照区; * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$, “—”表示 $P > 0.05$; WT 单位为 $^{\circ}\text{C}$, pH 无量纲, 其余单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

区. 根据文献[22], A区、B区和C区水质达Ⅱ类水平; D区为Ⅲ类水; S区为Ⅳ类水(图2). 未种植沉水植物的S区与4个修复区环境因子差异显著($P < 0.05$). S区的TN、TP、DTN和DTP浓度显著高于种植沉水植物的4个湖区($P < 0.05$ 或 $P <$

0.01), 说明沉水植物的种植能在一定程度上降低水体中氮磷营养盐的浓度, 即使在嘉兴温度最低的月份(8℃左右)沉水植物生长代谢速度变慢的情况下也能将水体氮磷浓度维持在一定的水平, 使修复区水体达Ⅲ类水标准.

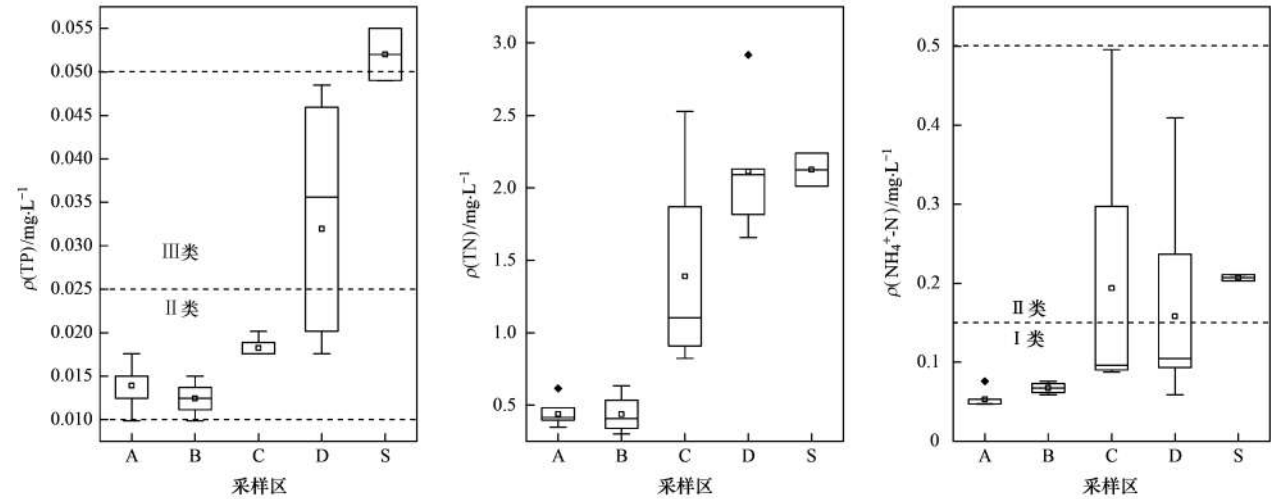


图2 不同采样区水体理化值
Fig. 2 Physical indexes of water body in different areas

2.2 浮游生物群落结构

2.2.1 浮游生物种类组成

所有采样点共检测出浮游植物6门63属, 其中绿藻门28种, 占种类总种数的44.44%; 硅藻门15种, 占总种数的23.81%; 蓝藻门、隐藻门和裸藻门

均为6种, 各占总种数的9.52%; 甲藻门2种为D区特有. 4个湖区与对照区门类占比与总体相似, 均以绿藻门与硅藻门为主(图3). A区共5门35种, 绿藻门占比最多, 特有物种1种; B区共5门33种, 特有物种2种; C区共5门35种, 特有物种7种; D

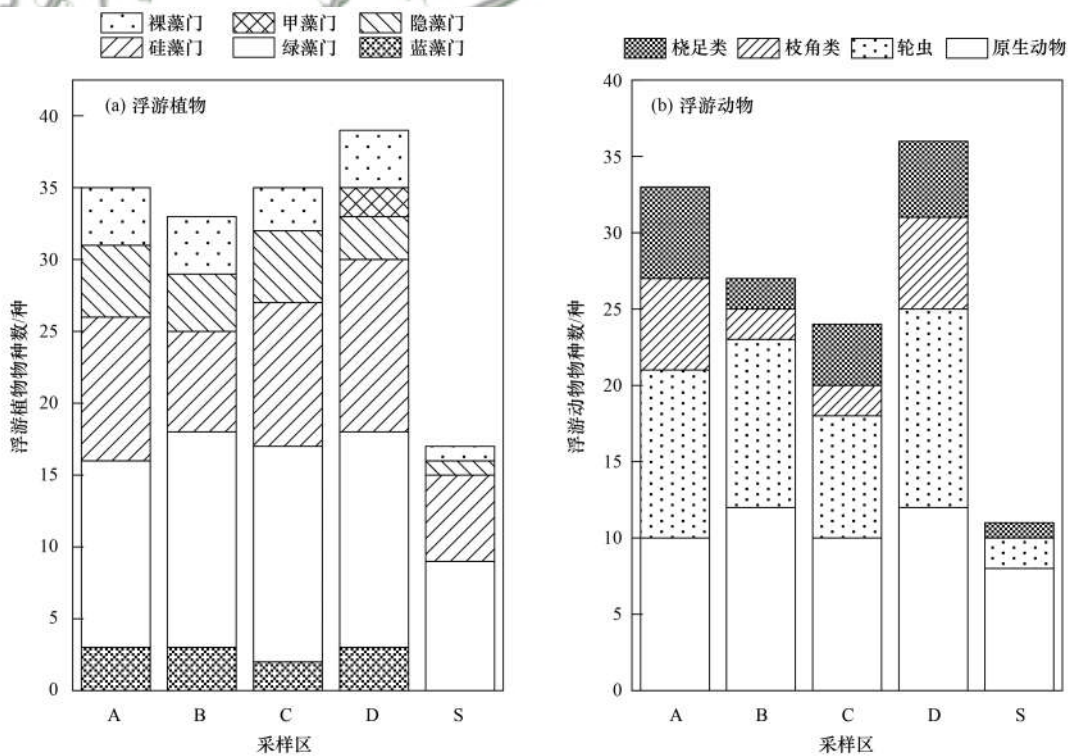


图3 不同湖区浮游动植物各门类物种数
Fig. 3 Composition of zooplankton and phytoplankton species in different areas

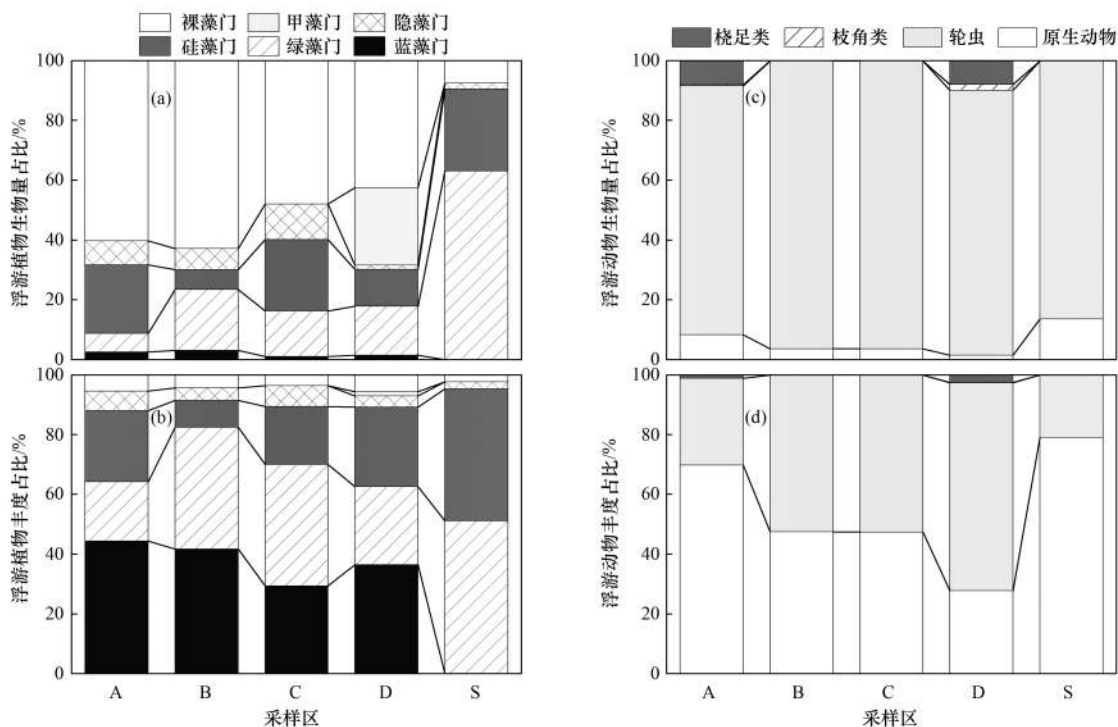
区共 6 门 39 种,特有物种 5 种; S 对照区共鉴定出 4 门 17 种,特有种 2 种, 4 个湖区浮游植物物种数均高于对照区。

浮游动物共检出 4 门 56 属,其中原生动物 23 种,占总种数的 41.07%; 轮虫 17 种,占总种数的 30.36%; 桡足类 9 种,占总种数的 16.07%; 枝角类 7 种,占总种数的 12.50%。各采样区物种占比与总体相似均以小型浮游动物类型的轮虫与原生动物为主(图 3), A 区共 4 门 33 种,特有种 5 种; B 区共 4 门 27 种,特有种 3 种; C 区共 4 门 24 种,特有种 1 种; D 区共 4 门 36 种,特有种 9 种; S 区共 3 门 11 种,特有种 4 种,修复区浮游动物物种数均高于对照区,大型浮

游动物枝角类和桡足类物种数明显增多。

2.2.2 生物量与丰度

A、B、C 和 D 区浮游植物生物量与丰度占比较为相似(图 4),裸藻门生物量占比最大,蓝藻门、绿藻门、硅藻门在丰度上占有优势; S 区浮游植物多样性较为单一,丰度占比主要以绿藻门和硅藻门为主,绿藻门生物量占比最大。所有采样区浮游动物,轮虫生物量占据绝对优势; A 区原生动物丰度占比大于轮虫, B 区和 C 区原生动物与轮虫丰度占比基本持平, D 区原生动物丰度占比小于轮虫, S 区原生动物丰度占比最高, A 区和 D 区枝角类生物量占比较其它湖区高(图 4)。



(a) 浮游植物相对生物量, (b) 浮游植物相对丰度, (c) 浮游动物相对生物量, (d) 浮游动物相对丰度

图 4 不同采样区浮游生物相对生物量与相对丰度

Fig. 4 Relative biomass and abundance of plankton in different areas

2.2.3 浮游生物优势种

4 个湖区浮游植物优势种主要为硅藻门、绿藻门和蓝藻门(表 2)。不同湖区优势种略有差异, A 区共 5 种优势种,其中假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)优势度最大; B 区共 6 种优势种,优势度最高的是假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)和空星藻(*Coelastrum* sp.),特有优势种为浮丝藻(*Planktothrix* sp.)、空星藻(*Coelastrum* sp.)和螺旋纤维藻(*Ankistrodesmus spiralis*); C 区共 9 种优势种主要以绿藻门为主,优势度最高的是细鞘丝藻(*Leptolyngbya* sp.),特有优势种为:细鞘丝藻(*Leptolyngbya* sp.)、纤维藻(*Ankistrodesmus* sp.)、肾形藻(*Nephrocytium agardhianum*)、三角四角藻

(*Tetraedronoidrae*)、平滑四星藻(*Tetrastrum* sp.)和啮齿隐藻(*Cryptomonas erosa*); D 区共 7 种优势种,针杆藻(*Synedra* sp.)优势度最大,特有优势种有长胞藻(*Dolichospermum* sp.)、隐球藻(*Aphanocapsa* sp.)和弓形藻(*Schroederia* sp.)。此外,硅藻门的小环藻(*Cyclotella* sp.)和针杆藻(*Synedra* sp.)是 4 个湖区共有的优势种。

浮游动物优势种主要为原生动物与轮虫(表 2)。A 区共 6 种,狭盗虫属(*Strobilidium* sp.)优势度最高; B 区共 8 种,小巨头轮虫(*Cephalodella exigna*)优势度最高; C 区共 6 种,原生动物纤毛虫未定种优势度最高; D 区共 7 种,小巨头轮虫(*Cephalodella exigna*)优势度最高。毛板壳虫(*Coleps*

hirtus) 和尖头异尾轮虫 [*Trichocerca* (*Diurella*) *tigris*] 为 B 区特有优势种; 尖趾单趾轮虫 (*Monostyla closteroerca*) 为 C 区特有优势种; 鳞状叶轮虫 (*Notholca squamula*)、尖尾鞍甲轮虫 (*Lepadella acuminata*) 和桡足类无节幼体为 D 区特有优势种. 4 个采样区共同优势种有狭盗虫属 (*Strobilidium* sp.)、纤毛虫未定种、疣毛轮属 (*Synchaeta* sp.) 和小巨头轮虫 (*Cephalodella exigna*).

表 2 不同湖区浮游生物优势种及优势度

Table 2 Dominant species and dominance index of plankton in different lake regions							
项目	门类	代码	优势种及拉丁名	A	B	C	D
浮游植物	蓝藻门	P1	假鱼腥藻(<i>Pseudanabaena</i> sp.)	0.25	0.16	—	0.02
		P2	浮丝藻(<i>Planktothrix</i> sp.)	—	0.10	—	—
		P3	长胞藻(<i>Dolichospermum</i> sp.)	—	—	—	0.06
		P4	细鞘丝藻(<i>Leptolyngbya</i> sp.)	—	—	0.17	—
		P5	隐球藻(<i>Aphanocapsa</i> sp.)	—	—	—	0.04
	绿藻门	P6	纤维藻(<i>Ankistrodesmus</i> sp.)	—	—	0.05	—
		P7	弓形藻(<i>Schroederia</i> sp.)	—	—	—	0.03
		P8	空星藻(<i>Coelastrum</i> sp.)	—	0.16	—	—
		P9	栅藻(<i>Scenedesmus</i> sp.)	0.05	—	0.04	—
		P10	肾形藻(<i>Nephrocytium agardhianum</i>)	—	—	0.03	—
		P11	三角四角藻(<i>Tetraedronoidrae</i>)	—	—	0.02	—
		P12	螺旋纤维藻(<i>Ankistrodesmus spiralis</i>)	—	0.03	—	—
		P13	平滑四星藻(<i>Tetrastrum</i> sp.)	—	—	0.02	—
	硅藻门	P14	舟形藻(<i>Navicula</i> sp.)	0.03	—	—	0.04
		P15	小环藻(<i>Cyclotella</i> sp.)	0.06	0.02	0.05	0.04
		P16	针杆藻(<i>Synedra</i> sp.)	0.07	0.02	0.03	0.08
	隐藻门	P17	啮齿隐藻(<i>Cryptomonas erosa</i>)	—	—	0.03	—
浮游动物	原生动物	Z1	狭盗虫属(<i>Strobilidium</i> sp.)	0.31	0.18	0.05	0.13
		Z2	钟虫(<i>Vorticella</i> sp.)	0.03	0.02	0.06	—
		Z3	毛板壳虫(<i>Coleps hirtus</i>)	—	0.04	—	—
		Z4	纤毛虫未定种(<i>unspecified ciliates</i>)	0.26	0.14	0.27	0.06
	轮虫	Z5	广布多肢轮虫(<i>Polyarthra vulgaris</i>)	0.07	0.02	—	—
		Z6	疣毛轮属(<i>Synchaeta</i> sp.)	0.03	0.05	0.07	0.17
		Z7	小巨头轮虫(<i>Cephalodella exigna</i>)	0.05	0.21	0.06	0.30
		Z8	尖趾单趾轮虫(<i>Monostyla closteroerca</i>)	—	—	0.07	—
		Z9	鳞状叶轮虫(<i>Notholca squamula</i>)	—	—	—	0.02
		Z10	尖尾鞍甲轮虫(<i>Lepadella acuminata</i>)	—	—	—	0.02
		Z11	尖头异尾轮虫(<i>Trichocerca</i> (<i>Diurella</i>) <i>tigris</i>)	—	0.07	—	—
		桡足类	Z12	无节幼体(<i>copepod nauplius</i>)	—	—	—

2.2.4 生物多样性指数

4 个沉水植物种植区浮游生物多样性指数无显著性差异 ($P > 0.05$), 浮游植物 Shannon 指数与 Pielou 指数评价结果为清洁, 显著高于浮游动物轻污染和 β -中污染 (图 5). Shannon 指数主要通过计算不同物种丰度反映各物种间分布的丰富度, Pielou 指数反映各物种分布的均匀程度^[18,23], 而浮游植物各门类物种丰度占比相较于浮游动物各门类丰度占比分布得更加均匀 (图 4), 浮游动物丰度占比主要以轮虫和原生动物为主, 物种丰富度较为单一, 且各湖区浮游植物的丰度数值高于浮游动物, 因此浮游植物水质评价结果优于浮游动物, 说明浮游植物物种分布均匀度和物种丰富度要高于浮游动物, 而浮游动物群落结构较为简单.

2.3 浮游动植物与环境因子冗余分析

浮游植物优势种 (P1 ~ P17) 与环境因子 RDA

分析显示, 排序轴 1 和轴 2 对浮游植物优势种的解释量分别为 54.45% 和 23.56% [图 6(a)]. 蒙特卡罗检验显著性分析结果显示, NO_3^- -N 和 DO 与浮游植物分布呈极显著相关 ($P < 0.01$), WT 和 pH 与浮游植物分布呈显著相关 ($P < 0.05$). A 区和 B 区浮游植物群落排序特征更为接近, 与 pH、WT 和 DO 呈现正相关, 与 TP 和 NO_3^- -N 呈负相关; C 区浮游植物群落与 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 呈现正相关, 与 pH、WT、DO、TP 和 IP 呈负相关; D 区浮游植物群落与 TP、 NO_3^- -N 和 IP 呈正相关, 与 DO 呈负相关. 长胞藻、隐球藻和弓形藻等数量随着 TP、 NO_3^- -N、IP、pH 和 WT 的增加而升高, 同时受 NH_4^+ -N 和 DO 升高的抑制; 假鱼腥藻等数量随着 pH、WT 和 DO 的增加而升高, 同时受 TP、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 的抑制.

浮游动物优势种 (Z1 ~ Z12) 与环境因子 RDA 分析显示, 排序轴 1 和轴 2 对浮游动物优势种的解

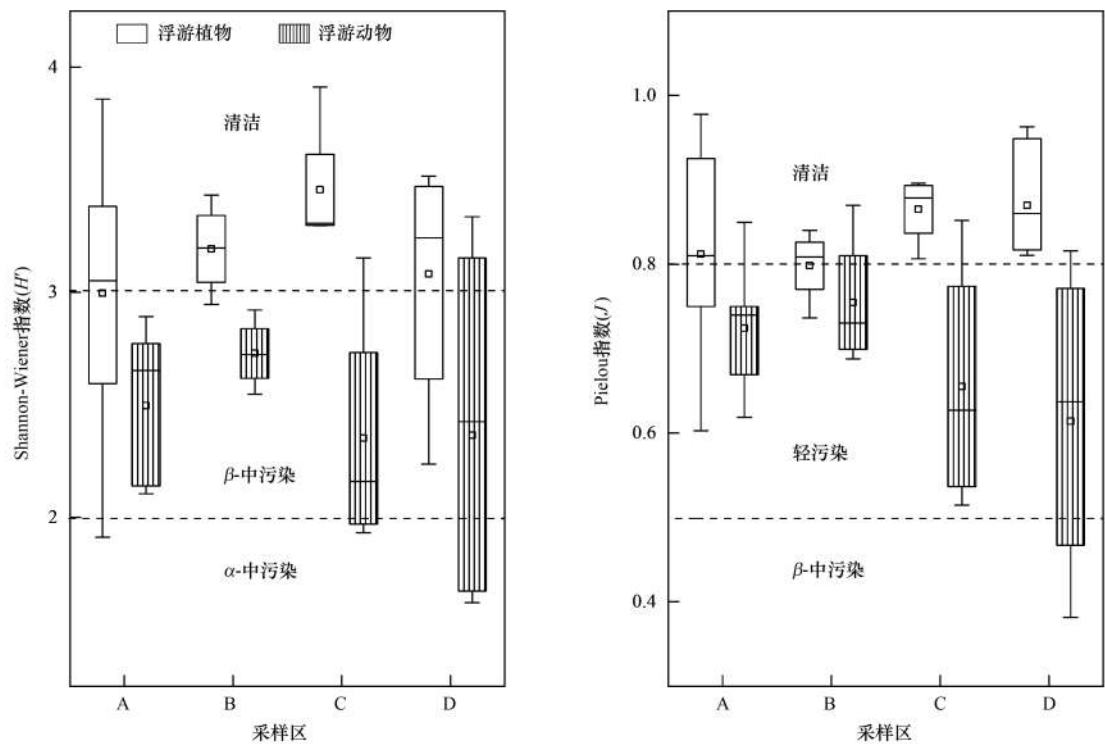
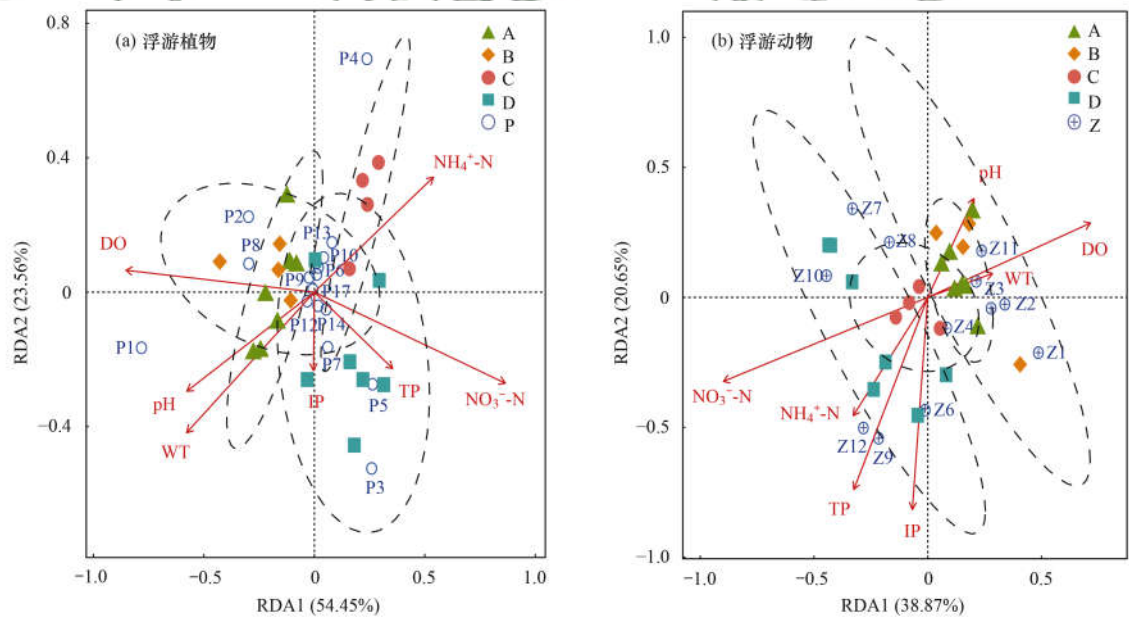


图 5 不同采样区浮游动植物生物多样性指数

Fig. 5 Biodiversity index of zooplankton and phytoplankton in different areas



A、B、C 和 D 表示不同湖区；P 表示浮游植物优势种；Z 表示浮游动物优势种

图 6 浮游生物群落与环境因子的 RDA 分析

Fig. 6 RDA plot of plankton community and environmental factors

释量分别为 38.87% 和 20.65% [图 6(b)]。DO 和浮游动物分布呈极显著相关 ($P < 0.01$)，TP、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 与浮游植物分布呈显著相关 ($P < 0.05$)。A 区和 B 区浮游动物群落排序特征更为接近，与 pH、WT 和 DO 呈现正相关，与 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TP 和 IP 呈负相关；C 区浮游动物群落在原点附近分布较为集中，和各环境因子相关性不是

很强；D 区浮游动物群与 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TP 和 IP 呈正相关，与 pH、WT 和 DO 呈负相关。疣毛轮虫、鳞状叶轮虫、尖尾鞍甲轮虫和桡足类无节幼体等数量随着 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TP 和 IP 的增加而升高，同时受 pH、WT 和 DO 升高的抑制；侠盗虫属、钟虫、毛板壳虫和尖头异尾轮虫等数量随着 pH、WT 和 DO 的增加而升高，同时受 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N、TP 和

IP 的抑制。

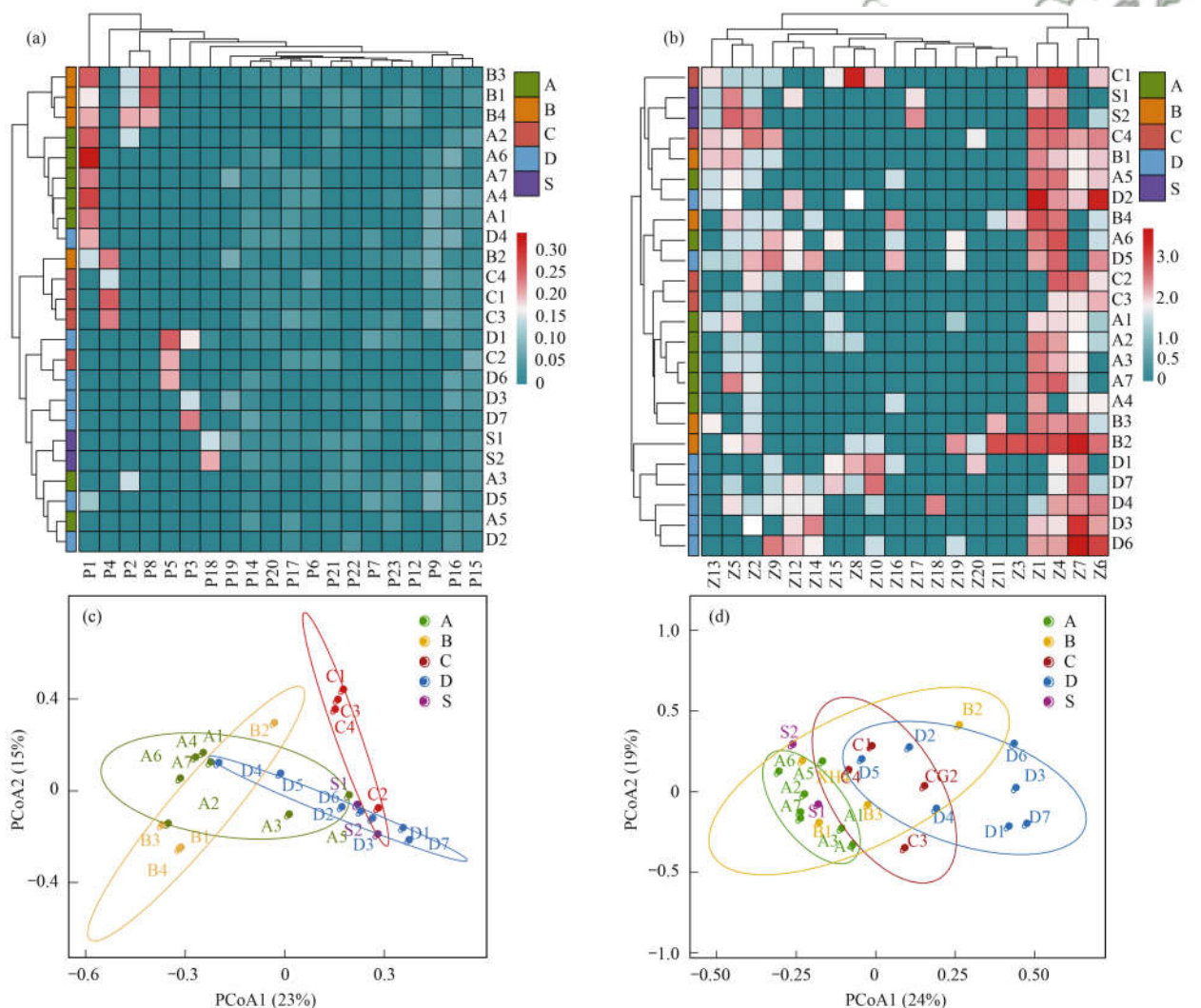
3 讨论

3.1 不同湖区浮游植物与浮游动物群落结构特征

各湖区浮游植物种类组成均以绿藻门和硅藻门为主,浮游动物均以原生动物和轮虫为主,这与多位学者对嘉兴河网和南湖水系浮游生物调查结果相类似^[13, 24~26]。修复区较未修复区浮游生物物种数明显增多且各门类物种数占比发生变化,未修复区绿藻生物量占优而修复区裸藻门生物量占优,修复区桡足类和枝角类浮游动物物种数明显增多(图3和图4),说明沉水植物的种植能抑制绿藻的繁殖,同时有利于大型浮游动物桡足类和枝角类的生长。研究区浮游植物优势种以硅藻门的小环藻与针杆藻占比最多,硅藻门主要为狭冷性物种。狭冷性物种能够在低温条件下通过调节生理代谢适应外部环境,具有

较高的生态宽位,从而在低温度且光照强度较弱的条件下取得竞争优势^[27]。浮游动物优势种以原生动物门类的狭盗虫属、纤毛虫未定种以及轮虫门类的疣毛轮属、小巨头轮虫为主。浮游动物作为水体中杂食性鱼类的食物来源,枝角类与桡足属于大型浮游动物更容易被捕食,而轮虫与原生动物属于小型浮游动物具有一定生存优势^[28]。裸藻作为轮虫喜食的饵料^[29],在浮游植物生物量占比最大[图4(a)],因此有利于轮虫的生物量积累从而大量繁殖形成优势种。

4个修复区与南湖中心区水体对流程度不同,南湖中心区由于游船的扰动、上游高浓度水体流入和沉积物氮磷释放等作用的影响,与修复区相比,其水体透明度较低且氮磷浓度较高,因此修复区与南湖的对流程度越大,对流区域氮磷值越大、透明度越低。A区和B区相邻,与南湖中心区相对独立,对



(a) 浮游植物丰度聚类; (b) 浮游动物丰度聚类; (c) 浮游植物 PCoA; (d) 浮游动物 PCoA; P18 表示直链藻; P19 表示华美十字藻; P20 表示囊裸藻; P21 表示四角藻; P22 表示蹄形藻; P23 表示裸藻; Z13 表示急游虫; Z14 表示鼠异尾轮虫; Z15 表示方块鬼轮虫; Z16 表示轮虫未定种; Z17 表示江苏似铃壳虫; Z18 表示螳螂独缩虫; Z19 表示瓷甲异尾轮虫; Z20 表示斜管虫

图7 不同湖区浮游生物聚类热图与 PCoA 分析

Fig. 7 Hierarchical clustering tree heat map and PCoA of plankton in different lake regions

流程度最低,受南湖中心区水体影响最小;C区呈长条状,东侧开口与南湖中心区对流程度相对较大;D区南侧开口靠近南湖渡船码头,游船的扰动作用使其与南湖中心区对流程度最大,这些生境的差异也会对不同修复区浮游生物群落分布造成影响。

对4个沉水植物种植区浮游生物群落相似性及差异性进行聚类分析与PCoA分析(图7)。浮游植物群落相似性分析显示[图7(a)和7(c)],A区与B区群落特征较为相似($P > 0.05$);C区浮游植物分布与其它湖区差异显著($P < 0.05$),这可能与C区进行生态补水有关,外源水源的输入造成水流波动对浮游植物群落结构产生一定影响;D区各采样点分类不明显,浮游植物分布组内差异较大组间差异不显著,D区靠近码头,游船对水体的扰动作用使D区靠近码头的水域和远离码头的水域产生生境异质从而使其浮游植物结构产生差异。浮游动物群落相似性分析显示[图7(b)和7(d)],A区与D区浮游动物群落结构差异显著($P < 0.05$),其它湖区浮游动物分布较为相似($P > 0.05$)。A区湖面较小、水深较浅且受南湖中心水体对流影响小,理化因子与D区差异显著(表1),生境差异性导致浮游动物群落差异显著。

对各湖区浮游动植物丰度、生物量均值和物种数进行分析显示(图8),与未种植沉水植物的S区

相比,沉水植物种植区浮游植物生物量显著下降($P < 0.05$),浮游植物与浮游动物物种数显著增加($P < 0.05$)。S区氮磷浓度显著高于4个修复区(表1),氮磷营养水平的初始增加会导致浮游植物种类的增加,但当营养水平超过某一临界值时,浮游植物种类减少^[30]。有研究表明在沉水植物成功修复的富营养化湖泊中浮游植物生物量减少、浮游生物多样性增加^[31,32],浮游生物各门类物种分布更均匀,从而有利于提高浮游生物物种丰富度和生态系统稳定性。在4个修复湖区中,B区浮游植物丰度最高;D区浮游植物生物量、浮游动物丰度、浮游动物生物量、浮游动植物物种数是最高。A、B和C区浮游植物物种数较为相近,A区浮游动物物种数仅次于D区,C区浮游动物物种数最低。此外,A区和D区桡足类浮游动物的生物量占比较其它湖区要高(图4)。同样是30%的沉水植物覆盖率,A区整个湖区均匀种植比B区在岸边高密度种植修复时间更快。综合来看,四个沉水植物修复区中D区修复效果最好,其次为A区。D区沉水植物种植覆盖率为60%,A区沉水植物种植覆盖率为30%,A区能用相对较少的沉水植物覆盖率得到较好的修复效果。考虑到经济成本,沉水植物覆盖率30%,全湖区均匀种植的方式更适合在实际工程实施中运用。

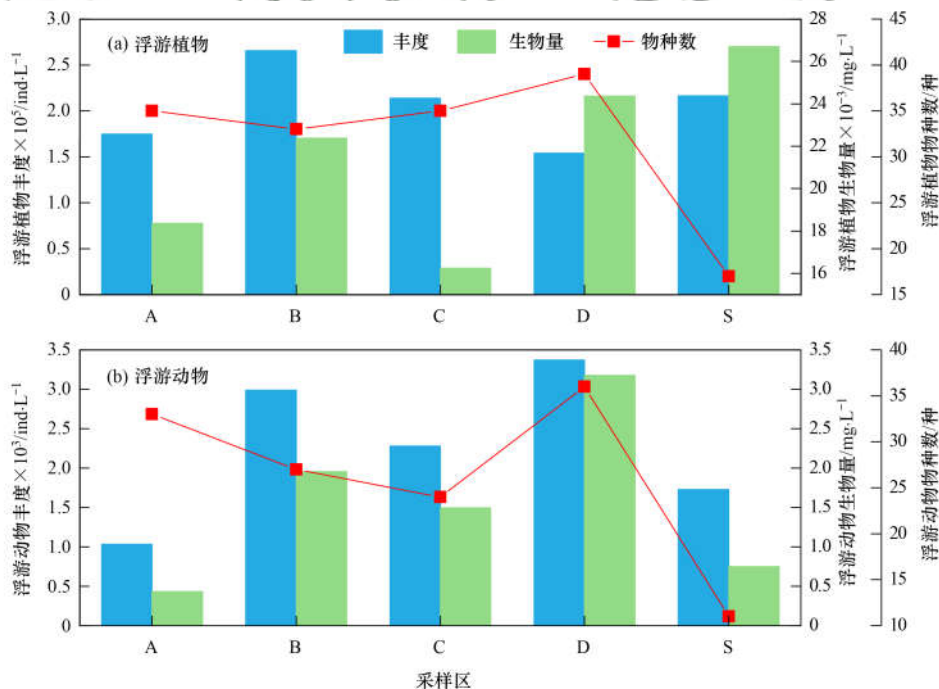


图8 各采样区浮游动植物丰度、生物量和物种数

Fig. 8 Abundance, biomass, and number of species of plankton in different lake regions

3.2 环境因子对浮游生物群落分布的影响

水生生物群落分布特征因水体水文条件和水体理化因子的不同而存在差异,不同湖区影响浮游生

物群落分布的主导环境因子也不同^[33,34]。RNA分析显示,A区与B区浮游动植物分布主要与DO、WT和pH物理因素有关,这两个湖区氮磷等营养盐水

平较低、溶解氧充足(表 1), 硅藻门优势种较多. 浮游生物的生长繁殖均需要消耗 DO, 高溶解氧有利于浮游生物生长并形成稳定的生态系统^[35]. 水温影响着浮游生物群落的大小结构和功能, 水温升高有利于小型物种的增殖从而改变浮游生物群落结构, 并增加初级生产力和群落更新速度^[36]. Gogoi 等^[37]的研究表明温度升高会导致蓝藻比例的增加, 绿藻和硅藻更适合在较低温度下生存. 水体 pH 在一定范围内增大有利于浮游植物进行光合作用吸收溶解性无机碳^[38,39], 但 pH 值过大又会抑制浮游植物的光合作用^[40], 同时沉水植物的生长也会反过来影响水体酸碱度^[41]. C 区浮游植物分布与 NH_4^+-N 显著正相关, 浮游动物分布受环境因子影响较弱. 该区绿藻门优势种占比最多, 这与适宜温度范围内氨氮浓度增高有利于绿藻生长研究相符^[42]. 与其它 3 个湖区相比 C 区的氮磷比最高, Zhang 等^[6]的研究表明高氮磷比环境下更适合绿藻的繁殖. D 区浮游动植物群落分布与氮磷营养盐呈明显的正相关关系, 该区氮磷营养盐浓度显著高于其它修复区(表 1). 随着氮磷营养盐含量的改变, 水体中的养分极大地影响浮游植物的演替, 刺激浮游植物生物量的增加^[37]. 氮磷营养盐通过对浮游植物的直接影响而对浮游动物群落分布产生间接影响^[43]. Li 等^[44]对太湖浮游生物的研究也表明, 硝氮和氨氮是影响浮游动物分布的重要指标. D 区与南湖中心水体对流和游船扰动沉积物氮磷释放等造成的营养盐输入也是影响浮游生物群落分布的重要因素^[45].

4 结论

(1) 调查期间, 南湖共鉴定出浮游植物 6 门 63 属, 以绿藻和硅藻型为主; 共检测出浮游动物 4 门 56 属, 主要以原生动物和轮虫这两种小型浮游动物为主, 每个湖区代表优势种不同.

(2) 与未种植沉水植物的区域相比, 4 个沉水植物修复区浮游植物生物量显著减少 ($P < 0.05$), 浮游植物与浮游动物的物种数显著增加 ($P < 0.05$), 氮磷营养盐浓度显著下降.

(3) RDA 分析表明, 影响浮游植物群落分布的环境因子为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、DO、WT 和 pH; 影响浮游动物群落分布的环境因子为 DO、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP. 环境因子主要是通过影响浮游植物而对浮游动物产生间接影响.

(4) D 区修复效果最好, 其次为 A 区. 考虑到经济成本, 在实际工程实施中更适合采用 A 区 30% 的沉水植物覆盖率, 均匀种植的方式对水体进行修复.

致谢: 朱天顺、陈亮、车霏霏、王书航、赵丽、

王鹏飞和王雯雯等在写作上提供指导, 段繁曦、刘虹、王晨、张华涛和邢健宇等在采样和实验方面提供帮助, 在此一并致谢!

参考文献:

- [1] Zhao K, Wang L Z, You Q M, *et al.* Influence of cyanobacterial blooms and environmental variation on zooplankton and eukaryotic phytoplankton in a large, shallow, eutrophic lake in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **773**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145421.
- [2] 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.
- [3] 杜彩丽, 杨丽, 赵诣, 等. 淀山湖浮游动物群落时空分布特征及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2019, **40**(10): 4513-4522.
Du C L, Yang L, Zhao Y, *et al.* Temporal and spatial variation of zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in Dianshan Lake, Shanghai [J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(10): 4513-4522.
- [4] Zhang X J, Wang G Q, Tan Z X, *et al.* Effects of ecological protection and restoration on phytoplankton diversity in impounded lakes along the eastern route of China's South-to-North water diversion project[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **795**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148870.
- [5] Valentin J L, Leles S G, Tenenbaum D R, *et al.* Frequent upwelling intrusions and rainfall events drive shifts in plankton community in a highly eutrophic estuary[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, **257**, doi: 10.1016/j.ecss.2021.107387.
- [6] Zhang H H, Zong R R, He H Y, *et al.* Biogeographic distribution patterns of algal community in different urban lakes in China: insights into the dynamics and co-existence[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, **100**: 216-227.
- [7] 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.
- [8] Xia T, Zhu L, Liu Z N, *et al.* Construction of symbiotic system of filamentous algae and submerged plants and its application in wastewater purification [J]. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, **43**, doi: 10.1016/j.jwpe.2021.102240.
- [9] Chao C X, Wang L G, Li Y, *et al.* Response of sediment and water microbial communities to submerged vegetations restoration in a shallow eutrophic lake [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **801**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149701.
- [10] Fu H, Özkan K, Yuan G X, *et al.* Abiotic and biotic drivers of temporal dynamics in the spatial heterogeneity of zooplankton communities across lakes in recovery from eutrophication [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **778**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146368.
- [11] Zhang X B, Guo K D, Lu C, *et al.* Effects of origin and water depth on morphology and reproductive modes of the submerged

- plant *Vallisneria natans* [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, **24**, doi: 10.1016/j.gecco.2020.e01330.
- [12] Barrow J L, Beisner B E, Giles R, *et al.* Macrophytes moderate the taxonomic and functional composition of phytoplankton assemblages during a nutrient loading experiment [J]. *Freshwater Biology*, 2019, **64**(8): 1369-1381.
- [13] 姜登岭, 赵昊, 邹喜红, 等. 嘉兴城市河网区高、低水位期浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析[J]. *环境化学*, 2020, **39**(9): 2540-2550.
- Jiang D L, Zhao H, Wu X H, *et al.* Model correspondence analysis of phytoplankton community and its environmental factors at high and low water levels in urban river network area of Jiaxing City [J]. *Environmental Chemistry*, 2020, **39**(9): 2540-2550.
- [14] 王书航, 郑朔方, 尚晓, 等. 平原河网景观湖泊水质提升关键问题分析与对策研究——以嘉兴南湖为例[J]. *环境工程技术学报*, 2020, **10**(6): 891-896.
- Wang S H, Zheng S F, Shang X, *et al.* Key issues of water quality improvement in the landscape lake of plain river network and corresponding countermeasures: a case study of Nanhu Lake in Jiaxing City [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2020, **10**(6): 891-896.
- [15] 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.
- [16] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [17] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [18] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. *海洋学报*, 2004, **26**(1): 62-75.
- Sun J, Liu D Y. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004, **26**(1): 62-75.
- [19] Huang Z Q, Shi X N. Correlation between ecotourism and the evolution law of zooplankton communities in Dongting Lake tourist area of China's Hunan [J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2020, **18**(2): 2959-2974.
- [20] Lv H, Yang J, Liu L M, *et al.* Temperature and nutrients are significant drivers of seasonal shift in phytoplankton community from a drinking water reservoir, subtropical China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, **21**(9): 5917-5928.
- [21] Liu X, Lu X H, Chen Y W. The effects of temperature and nutrient ratios on *Microcystis* blooms in Lake Taihu, China: an 11-year investigation [J]. *Harmful Algae*, 2011, **10**(3): 337-343.
- [22] GB 3838-2002, 地表水环境质量标准[S].
- [23] 杨潇, 马吉顺, 张欢, 等. 鄱阳湖不同水文期浮游生物群落结构特征和影响因素及水质评价[J]. *水生生物学报*, 2021, **45**(5): 1093-1103.
- Yang X, Ma J S, Zhang H, *et al.* Community structure and the water quality during different hydrological periods in Poyang Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(5): 1093-1103.
- [24] 马迎群, 迟明慧, 赵艳民, 等. 嘉兴南湖浮游动物群落结构及影响因素研究[J]. *环境科学与技术*, 2019, **42**(12): 180-186.
- Ma Y Q, Chi M H, Zhao Y M, *et al.* Characteristics of zooplankton groups in Nanhu Lake catchment and its influencing factors in Jiaxing city [J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, **42**(12): 180-186.
- [25] 马迎群, 赵艳民, 迟明慧, 等. 嘉兴南湖水系浮游植物群落结构及其环境影响因子[J]. *水生态学杂志*, 2021, **42**(2): 42-48.
- Ma Y Q, Zhao Y M, Chi M H, *et al.* Phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in the Nanhu Lake catchment, Jiaxing city [J]. *Journal of Hydroecology*, 2021, **42**(2): 42-48.
- [26] 季宏康, 范帆, 王宝印, 等. 嘉兴南湖水系水污染特征分析及治理策略[J]. *环境污染与防治*, 2018, **40**(5): 581-587.
- Ji H K, Fan F, Wang B Y, *et al.* Analysis and countermeasures of water pollution characteristics in South Lake water system of Jiaxing [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2018, **40**(5): 581-587.
- [27] 王司阳, 张笑欣, 田世民, 等. 黄河流域干旱区湖泊冰封期浮游植物群落结构特征及影响因子研究[J]. *水利学报*, 2020, **51**(9): 1070-1079.
- Wang S Y, Zhang X X, Tian S M, *et al.* Study on phytoplankton community structure characteristics and its influencing factors of lakes in arid regions of the Yellow River basin during ice-sealing period [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2020, **51**(9): 1070-1079.
- [28] Ersoy Z, Brucet S, Bartrons M, *et al.* Short-term fish predation destroys resilience of zooplankton communities and prevents recovery of phytoplankton control by zooplankton grazing [J]. *PLoS One*, 2019, **14**(2), doi: 10.1371/journal.pone.0212351.
- [29] 周绪申, 李娜, 孙博闻, 等. 白洋淀浮游生物群落结构的季节变化及其与环境因子的关系[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2021, **52**(8): 110-119.
- Zhou X S, Li N, Sun B W, *et al.* Seasonal variation of plankton community structure in the Lake Baiyangdian and the relationship with environmental factors [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2021, **52**(8): 110-119.
- [30] Dembowska E A, Napiórkowski P, Mieszczyński T, *et al.* Planktonic indices in the evaluation of the ecological status and the trophic state of the longest lake in Poland [J]. *Ecological Indicators*, 2015, **56**: 15-22.
- [31] Peng X, Yi K L, Lin Q W, *et al.* Annual changes in periphyton communities and their diatom indicator species, in the littoral zone of a subtropical urban lake restored by submerged plants [J]. *Ecological Engineering*, 2020, **155**, doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105958.
- [32] 苏小妹, 薛庆举, 万翔, 等. 小型湖泊修复区与未修复区对生态修复的响应与评价[J/OL]. *中国环境科学*, 1-12. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210803.001>, 2021-10-22.
- Su X M, Xue Q J, Wan X, *et al.* Responses and assessment of water ecological status in restored and unrestored areas of a small urban lake after ecological restoration [J/OL]. *China Environmental Science*, 1-12. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20210803.001>, 2021-10-22.
- [33] Zhao C S, Pan X, Yang S T, *et al.* Principal hydrology and water quality factors driving the development of plankton communities in a pilot city of China [J]. *Ecohydrology*, 2020, **13**(4), doi: 10.1002/eco.2207.
- [34] Rao K, Zhang X, Wang M, *et al.* The relative importance of environmental factors in predicting phytoplankton shifting and cyanobacteria abundance in regulated shallow lakes [J]. *Environmental Pollution*, 2021, **286**, doi: 10.1016/j.envpol.2021.117555.
- [35] 陈莎, 谢青, 付梅, 等. 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[J]. *环境科学*, 2021, **42**(5): 2303-2312.
- Chen S, Xie Q, Fu M, *et al.* Structural characteristics of

- zooplankton and phytoplankton communities and its relationship with environmental factors in a typical tributary reservoir in the Three Gorges Reservoir Region [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(5): 2303-2312.
- [36] Rasconi S, Gall A, Winter K, *et al.* Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton [J]. *PLoS One*, 2015, **10** (10), doi: 10.1371/journal.pone.0140449.
- [37] Gogoi P, Das S K, Das Sarkar S, *et al.* Environmental factors driving phytoplankton assemblage pattern and diversity: insights from Sundarban eco-region, India [J]. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 2021, **21**(2): 354-367.
- [38] 马煜, 陆欣鑫, 范亚文. 松花江哈尔滨段浮游植物群落格局及其与环境因子的相关性 [J]. *生态学报*, 2021, **41**(1): 224-234.
Ma Y, Lu X X, Fan Y W. Correlation between phytoplankton community patterns and environmental factors in Harbin section of the Songhua River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(1): 224-234.
- [39] 马宝珊, 徐滨, 魏开金, 等. 安宁河中游浮游植物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *生态学杂志*, 2020, **39**(10): 3332-3341.
Ma B S, Xu B, Wei K J, *et al.* Phytoplankton community structure and its relation to environmental conditions in the middle Anning River, China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, **39**(10): 3332-3341.
- [40] 路枫, 李磊, 齐青松, 等. 哈尔滨市城市河网丰水期浮游植物群落分布特征及驱动因子 [J]. *环境科学*, 2021, **42**(7): 3253-3262.
Lu F, Li L, Qi Q S, *et al.* Distribution characteristics and influencing factors of phytoplankton community in Harbin Urban River Network during wet season [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3253-3262.
- [41] Peng X, Lin Q W, Liu B Y, *et al.* Effect of submerged plant coverage on phytoplankton community dynamics and photosynthetic activity *in situ* [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, **301**, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113822.
- [42] 蒋雪蕾, 周晓见, 林佳宁, 等. 黄海浒苔绿潮生态效应研究进展 [J]. *海洋环境科学*, 2021, **40**(4): 647-652.
Jiang X L, Zhou X J, Lin J N, *et al.* Research progress in the ecological consequences of *Ulva prolifera* green tides in the Yellow Sea [J]. *Marine Environmental Science*, 2021, **40**(4): 647-652.
- [43] 陈佳琪, 赵坤, 曹玥, 等. 鄱阳湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2020, **40**(18): 6644-6658.
Chen J Q, Zhao K, Cao Y, *et al.* Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in Poyang Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(18): 6644-6658.
- [44] Li C C, Feng W Y, Chen H Y, *et al.* Temporal variation in zooplankton and phytoplankton community species composition and the affecting factors in Lake Taihu-a large freshwater lake in China [J]. *Environmental Pollution*, 2019, **245**: 1050-1057.
- [45] 张晶晶, 王玉珏, 李凡, 等. 小清河专项治理对莱州湾环境和浮游植物的影响 [J]. *环境科学*, 2022, **43**(4): 1997-2006.
Zhang J J, Wang Y J, Li F, *et al.* Effects of pollution control of Xiaqing River on environment factors and phytoplankton community in the Laizhou Bay [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(4): 1997-2006.

CONTENTS

Impacts of Changes in Meteorological Conditions During COVID-19 Lockdown on PM _{2.5} Concentrations over the Jing-Jin-Ji Region	QIU Yu-lu, CHEN Lei, ZHU Jia, <i>et al.</i> (2831)
Influence of COVID-19 Prevention and Control Measures on PM _{2.5} Concentration, Particle Size Distribution, Chemical Composition, and Source in Zhengzhou, China	 HUANG Bing-yi, WANG Shen-bo, HE Bing, <i>et al.</i> (2840)
Concentration Variation and Source Analysis of Metal Elements in PM _{2.5} During COVID-19 Control in Suzhou	MIAO Qing, YANG Qian, WU Ye-zheng, <i>et al.</i> (2851)
Changes in Carbonaceous Aerosol in the Northern Suburbs of Nanjing from 2015 to 2019	XIE Tian, CAO Fang, ZHANG Yan-lin, <i>et al.</i> (2858)
Source Apportionment of PM _{2.5} Based on Hybrid Chemical Transport and Receptor Model in Chongqing	PENG Chao, LI Zhen-liang, CAO Yun-qing, <i>et al.</i> (2867)
Analysis on the Characteristics of Oxidation Potential and Influence Sources of PM _{2.5} in Baoding City in Winter	WU Ji-yan, YANG Chi, ZAHNG Chun-yan, <i>et al.</i> (2878)
Pollution Characteristics and Sources of Water-soluble Organic Nitrogen in PM _{2.5} in Jiangbei New Area, Nanjing	GUAN Lu, DING Cheng, ZHANG Yu-xiu, <i>et al.</i> (2888)
Organic Aerosols and Source Analysis of Fine Particles in the Background of Shiwanda Mountain, Guangxi	XING Jia-li, CAO Fang, WANG Qian, <i>et al.</i> (2895)
Comparison of Regional Transportation and Transformation Models of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Research on Key Influencing Factors: Take the Beijing-Tianjin-Hebei Region as Example	ZHANG Xin-lu, LIU Shi-jie, HAN Mei-li, <i>et al.</i> (2906)
Exploring Formation of Ozone in Typical Cities in Beijing-Tianjin-Hebei Region Using Process Analysis	TANG Ying-xiao, YAO Qing, CAI Zi-ying, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics and Meteorological Factors of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Tianjin	XIAO Zhi-mei, LI Yuan, KONG Jun, <i>et al.</i> (2928)
Spatio-temporal Characteristics of Air Quality and Influencing Factors in Shandong Province from 2016 to 2020	ZHOU Meng-ge, YANG Yi, SUN Yuan, <i>et al.</i> (2937)
Trend Changes in Ozone Pollution and Sensitivity Analysis of Ozone in Henan Province	YAN Yang-yang, YIN Sha-sha, HE Qin, <i>et al.</i> (2947)
Effects of Tropical Cyclones on Ozone Pollution in the Pearl River Delta in Autumn	ZHAO Wei, LÜ Meng-yao, LU Qing, <i>et al.</i> (2957)
Real-time Composition and Sources of VOCs in Summer in Wuhan	SU Wei-feng, KONG Shao-fei, ZHENG Huang, <i>et al.</i> (2966)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Summer in Yuncheng City	WEN Xiao-yu, ZHAO Wen-ting, LUO Shu-zhen, <i>et al.</i> (2979)
Neonicotinoid Insecticides Threaten Surface Waters at the National Scale in China	FAN Dan-dan, LIU Hong-ling, YANG Liu-yan (2987)
Spatiotemporal Distribution and Risk Assessment of Pharmaceuticals in Typical Drinking Water Sources in the Middle Reaches of the Yangtze River	 WU Jun-mei, WEI Lin, PENG Jing-qian, <i>et al.</i> (2996)
Pollution Characteristics and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Underground and Surface Drinking Water Sources in Northeast Inner Mongolia	 ZHANG Kun-feng, CHANG Sheng, FU Qing, <i>et al.</i> (3005)
Impact of Land Use Types at Different Scales on Surface Water Environment Quality and Its Driving Mechanism	SONG Jing-wen, ZHANG Xue-xia, JIANG Dong-yang, <i>et al.</i> (3016)
Shallow Groundwater Around Plateau Lakes: Spatiotemporal Distribution of Nitrogen and Its Driving Factors	LI Gui-fang, YANG Heng, YE Yuan-hang, <i>et al.</i> (3027)
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments of Lake Qinghai	ZHANG Ya-ran, CHE Fei-fei, FU Zheng-hui, <i>et al.</i> (3037)
Analysis of Heavy Metal Pollution Characteristics and Potential Ecological Risks of Surface Sediments in Dongjiang Lake	ZHAO Xiao-liang, LI Xiang, LU Hong-bin, <i>et al.</i> (3048)
Kinetic Release Characteristics of Organic Phosphorus of Sediment-water and Water Quality Risks	LIU Zhe-zhe, NI Zhao-kui, LIU Si-ru, <i>et al.</i> (3058)
Distribution Characteristics, Source Analysis, and Pollution Evaluation of Organic Matter in Surface Sediments of Qingpu District, Yangtze River Delta Integration Demonstration Area	 ZHANG Zhi-bo, DUAN Yan-ping, TU Yao-jen, <i>et al.</i> (3066)
Distribution Characteristics of Microplastics and Their Migration Patterns in Xiangxi River Basin	CHEN Sheng-sheng, LI Wei-ming, ZHANG Kun, <i>et al.</i> (3077)
Community Structure and Microbial Function Responses of Biofilms Colonizing on Microplastics with Vertical Distribution in Urban Water	 CHEN Yu-fang, YAN Zhen-hua, ZHANG Yan, <i>et al.</i> (3088)
Community Structure of Phytoplankton and Environmental Impact Factors in Lake Hongze from 2015 to 2020	QU Ning, DENG Jian-ming, ZHANG Zhen, <i>et al.</i> (3097)
Structural Characteristics of Zooplankton and Phytoplankton Communities and Its Relationship with Environmental Factors in Different Regions of Nanhu Lake in Jiaxing City	 WANG Ya-wen, LI Ying-he, ZHANG Bo, <i>et al.</i> (3106)
Temporal and Spatial Variation Characteristics and Source Analysis of Agricultural Non-point Source Pollution Load in Guangdong During the Past 20 Years	 GE Xiao-jun, HUANG Bin, YUAN Zai-jian, <i>et al.</i> (3118)
Output Characteristics and Driving Mechanism of Agricultural Non-point Source (AGNPS) Pollutant in Plain and Valley Region of Upper Yangtze River, China	 TAN Shao-jun, LIU Yang, ZHU Xiao-jie, <i>et al.</i> (3128)
Risk Assessment Method of Non-point Source Pollution Output for Watershed Using High Resolution Data	GU Jing-jing, YE Yun-tao, DONG Jia-ping, <i>et al.</i> (3140)
Spectral Characteristics Change in Dissolved Organic Matter in Urban River Under the Influences of Different Intensities of Non-point Source Pollution	CHEN Xu-dong, GAO Liang-min (3149)
Combination of Ecological Ditch and Bioretention Pond to Control Rural Runoff Pollution	SHI Lei, YANG Xiao-li, WU Qing-yu, <i>et al.</i> (3160)
Influence of Different Hydraulic Disturbance Intensities on the Migration of Aged PSMPs Between Sediment and Water	WU Xiang-xiang, AI Ping, LI Da-peng (3168)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of Rainfall Runoff from Roofs in the Central District of Beijing	XI Yue, GUO Jing, TAO Lei, TIAN Ying, <i>et al.</i> (3177)
Inter-annual Changes in Runoff Quality from Green Roofs with Different Vegetation	ZHANG Sun-xun, ZHANG Shou-hong, GE De, <i>et al.</i> (3187)
Effectivity of Multiphase Fenton-like System of Iron Reduction Induced by Bisphenol A Authigenic Photoelectron	CAO Si-yu, XU Lu, FU Quan-chao, <i>et al.</i> (3195)
Removal Characteristics of Four Typical Antibiotics in Denitrification System	TANG Jia, CHEN Xi, QIN Mu-chuan, <i>et al.</i> (3204)
Adsorption Capacity and Mechanism of Biochar Derived from Typical Agricultural Wastes for Cadmium in Aqueous Solutions	GONG Pei-yun, SUN Li-juan, SONG Ke, <i>et al.</i> (3211)
Effect of Humic Acid-Heavy Metals on the Nitrogen Removal Performance of ANAMMOX Bacteria and Its Kinetic Analysis	LI Yun, CUI Nan, XIONG Xing-xing, <i>et al.</i> (3221)
Responding Mechanism of Vegetation Cover to Climate Change and Human Activities in Southwest China from 2000 to 2020	XU Yong, HUANG Wen-ting, DOU Shi-qing, <i>et al.</i> (3230)
Spatial Distribution and Eco-stoichiometric Characteristics of Soil Nutrient Elements Under Different Vegetation Types in the Yellow River Delta Wetland	 SUN De-bin, LI Yun-zhao, YU Jun-bao, <i>et al.</i> (3241)
Distribution Characteristics and Source Apportionment of Perfluoroalkyl Substances in Surface Soils of the Northeast Tibetan Plateau	 WEN Xiang-jie, CHEN Zhao-hui, XU Wei-xin, <i>et al.</i> (3253)
Effect of Land Use/Land Cover Change on the Concentration of Se and Heavy Metals in Soils from a "Return Cropland to Forest" Area, Southwest China	 LIU Yong-lin, LIU Shu-ling, WU Mei, <i>et al.</i> (3262)
Speciation Characteristics and Risk Assessment of Soil Heavy Metals from Puding Karst Critical Zone, Guizhou Province	 ZHANG Qian, HAH Gui-lin (3269)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Germanium in Soil in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	DONG Qiu-yao, LAI Shu-ya, SONG Chao, <i>et al.</i> (3278)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Risk Assessment of Golden Snub-nosed Monkey (<i>Rhinopithecus roxellana</i>) Habitat in Shennongjia Mountains	 YAN Jia-li, YU Zi-ling, YU Hui-liang, <i>et al.</i> (3288)
Utilization and Remediation of Heavily Cadmium-Contaminated Agricultural Soils by Two Crop Rotation Patterns After Lime and Sepiolite Passivation	 XU Lu, ZHOU Chun-hai, LIU Mei, <i>et al.</i> (3299)
Effects of Phosphorus Sufficiency and Deficiency on Cadmium Uptake and Transportation by Rice	TAN Wen-tao, HUO Yang, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (3308)
Responses of Cd Accumulation in Rice and Spectral Characteristics of Soil Dissolved Organic Matter Regulated by Soil Amendments	LUO Hui-long, CHEN Juan, ZHANG Yun-hui, <i>et al.</i> (3315)
Responses of Soil Fungal Communities to Subalpine Meadow Degradation in Mount Wutai	LUO Zheng-ming, HE Lei, LIU Jin-xian, <i>et al.</i> (3328)
Response of Soil Fungal Communities in Diversified Rotations of Wheat and Different Crops	JIN Hai-yang, YUE Jun-qin, YAN Ya-qian, <i>et al.</i> (3338)
Spatial Characterization of Stable Isotope Composition of Organic Carbon from Farmland Soils in Chongqing	LIAO Yu-qin, LONG Juan, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (3348)
Characteristics of Soil NO Emissions in the Yangtze River Delta Region for Year 2018	LIAO Jia-qiang, XUE Jin, WANG Wen-jin, <i>et al.</i> (3357)
Thermal Environment Evolution and Response Mechanism of Urban Sprawl Based on Multi-source Data	LIANG Jian-she, BAI Yong-ping, YANG Xue-di, <i>et al.</i> (3365)