

目次

气候变化对中国夏季臭氧影响	胡安琪, 谢晓栋, 龚康佳, 侯宇晖, 胡建林 (1801)
基于 EOF 分解和 KZ 滤波的 2019~2021 年中国臭氧时空变化及驱动因素分析	王浩琪, 张裕芬, 罗忠伟, 王艳阳, 戴启立, 毕晓辉, 吴建会, 冯银厂 (1811)
华北工业城市夏季大气臭氧生成机制及减排策略	郑镇森, 窦建平, 张国涛, 李丽明, 徐勃, 杨文, 白志鹏 (1821)
2015~2020 年中国城市 PM _{2.5} -O ₃ 复合污染时空演变特征	牛笑笑, 钟艳梅, 杨璐, 易嘉慧, 慕航, 吴倩, 洪松, 何超 (1830)
2015~2021 年京津冀及周边地区 PM _{2.5} 和臭氧复合污染时空特征分析	宋小涵, 燕丽, 刘伟, 贺晋瑜, 王亚晨, 黄同林, 李园园, 陈敏, 孟静静, 侯战方 (1841)
2000~2020 年中国典型经济区 PM _{2.5} 时空变化及其与植被景观格局的关系	徐勇, 李欣怡, 黄雯婷, 郭振东, 盘钰春, 郑志威, 戴强玉 (1852)
北京市核心区冬春季大气离子沉降量特征及来源解析	赵宇, 李贝贝, 黄玉虎, 梁静, 杨洪玲, 秦建平, 朱玲 (1865)
南京近郊农田大气颗粒物及金属干沉降输入特征	刘翠英, 靳浩, 樊建凌 (1873)
西安冬季 PM _{2.5} 中不同极性水溶性有机物的污染特征及氧化潜势	罗玉, 黄沙沙, 张甜, 孙健, 沈振兴 (1882)
机动车源和民用燃料源颗粒物中有机碳和元素碳的排放特征	王红磊, 刘思略, 孙杰娟, 刘煥武, 赵天良, 裴宇僊, 可玥, 武自豪, 刘诗云 (1890)
伊犁河谷核心区春季 PM _{2.5} 组分特征及来源解析	谷超, 徐涛, 马超, 伊布提哈尔·加帕尔, 郭丽瑶, 李新琪, 杨文 (1899)
基于高分辨率网格的郑州市城镇居民 PM _{2.5} 暴露浓度与健康风险变化评估	李媛, 徐艺斐, 袁明浩, 苏方成, 王申博, 王克, 张瑞芹 (1911)
基于多源数据融合的河南省建材行业排放清单	刘晓, 胡京南, 王红梅, 杨丽, 张皓 (1924)
开封市城区冬季大气挥发性有机物污染特征及来源解析	施雨其, 郑凯允, 丁玮婷, 刘金平, 陈洪光, 高光, 王玲玲, 王楠, 马双良, 郑瑶, 谢绍东 (1933)
2020 年和 2021 年南京城区臭氧生成敏感性和 VOCs 来源变化分析	陆晓波, 王鸣, 丁峰, 喻义勇, 张哲海, 胡崑 (1943)
北京市城区夏季大气 VOCs 变化特征及臭氧生成潜势	张蕊, 孙雪松, 王裕, 王飞, 罗志云 (1954)
青岛市臭氧污染与非污染期间 VOCs 化学特征及来源解析	贾智海, 顾瑶, 孔翠丽, 宋江邦, 孟赫, 石来元, 吴建会, 刘保双 (1962)
基于总过氧自由基观测研究合肥市西郊夏季 O ₃ 生成特征	俞辉, 韦娜娜, 徐学哲, 刘芊芊, 姚易辰, 赵卫雄, 张为俊 (1974)
“大气十条”政策的节能降碳效果评估与创新中介效应	李少林, 王齐齐 (1985)
北京市减污降碳协同控制情景模拟和效应评估	俞珊, 张双, 张增杰, 翟艳芝, 刘桐坤 (1998)
基于不同排放清单的长三角人为 CO ₂ 排放模拟	马心怡, 黄文晶, 胡凝, 肖薇, 胡诚, 张弥, 曹畅, 赵佳玉 (2009)
武汉汉江水源水质变化趋势及风险分析	卓海华, 姜保峰, 徐杰, 陈洁, 陈杰, 兰秀薇, 范文重, 欧阳雪姣, 兰静 (2022)
长江武汉段水源地典型抗生素及抗性基因污染特征与生态风险评价	李柏林, 张贺, 王俊, 沙雪妮, 陈晓飞, 卓海华 (2032)
陕北矿区典型河流多环芳烃的赋存特征、来源及毒性风险分析	吴喜军, 董颖, 赵健, 刘静, 张亚宁 (2040)
典型湖泊有机聚集体时空特征及驱动因子	谢贵娟, 龚伊, 朱富成, 刘昌利, 卢宝伟, 邓辉, 汤祥明 (2052)
桂林市不同功能型公园水体微塑料的分布特征及风险评估	李沛钊, 吴莉, 黄菲菲, 林才霞, 舒小华, 张倩 (2062)
长江流域浮游植物群落的环境驱动及生态评价	张静, 胡愈圻, 胡圣, 黄杰 (2072)
环境异质性对三峡库区支流香溪河附石硅藻群落的影响及驱动作用	纪璐璐, 赵璐, 欧阳添, 杨宋琪, 郑保海, 杜雨欣, 李玉鑫, 李佳欣, 施军琼, 吴忠兴 (2083)
武汉市 3 种类型湖泊浮游植物群落特点及关键影响因素	张浩坤, 闵奋力, 崔慧荣, 彭雪, 张心怡, 张淑烟, 李竹栖, 葛芳杰, 张璐, 吴振斌, 刘碧云 (2093)
重金属污染对不同生境中微生物群落结构的影响	何一凡, 肖新宗, 王佳文 (2103)
毫清河水体细菌群落的结构和分布特征	王森, 陈建文, 张红, 李君剑 (2113)
微塑料暴露对小棒指软珊瑚 (<i>Sinularia microclavata</i>) 共附生细菌群落结构和功能的影响	刘敏, 车文学, 曾映旭, 边伟杰, 吕淑果, 穆军 (2122)
上海市从源头到龙头的饮用水新型污染物分布特征及健康风险评价	严棋 (2136)
铝改性生物炭对水体低浓度氟的吸附特性	刘艳芳, 高玮, 刘蕊, 尹思婕, 张妙雨, 刘晓帅, 李再兴 (2147)
典型雌激素在微塑料上的吸附特征及位点能量分布	刘姜艳, 郑密密, 胡嘉梧, 柳玉荣, 贺德春, 潘杰 (2158)
面向工业园区废水臭氧氧化深度处理性能评价的模型污染物选择与评估	辛勃, 单超, 吕路 (2168)
基于地理探测器和多源数据的耕地土壤重金属来源驱动因子及其交互作用识别	张宏泽, 崔文刚, 刘绥华, 崔瀚文, 黄月美 (2177)
基于 APCS-MLR 和 PMF 模型的煤矸山周边耕地土壤重金属污染特征及源解析	马杰, 沈智杰, 张萍萍, 刘萍, 刘今朝, 孙静, 王玲灵 (2192)
基于蒙特卡罗模拟的铅锌冶炼厂周边农田土壤重金属健康风险评估	黄剑波, 姜登登, 温冰, 王磊, 石佳奇, 周艳 (2204)
基于 BP 神经网络预测北京市加油站周边土壤多环芳烃含量	马赛炎, 魏海英, 马瑾, 刘奇缘, 吴颐杭, 屈雅静, 田雨欣, 赵文浩 (2215)
石家庄市土壤中喹诺酮类抗生素时空分布及其风险评估	赵鑫宇, 陈慧, 赵波, 宋圆梦, 卢梦淇, 崔建升, 张璐璐, 李双江 (2223)
典型黑色岩系地质高背景区土壤和农产品重金属富集特征与污染风险	邓帅, 段佳辉, 宁墨兔, 谭林, 蒲刚, 陈际行, 齐小兵, 蒋尚智, 谢桃园, 刘意章 (2234)
岩溶区不同母质土壤 Cd 地球化学特征及玉米籽实 Cd 含量预测	戴亮亮, 徐宏根, 巩浩, 彭志刚, 肖凯琦, 吴欢欢, 许青阳, 郭军, 汤媛媛, 张俊 (2243)
龙岩市不同利用类型土壤及农作物 Pb、Cd 和 As 污染风险与贡献分析	王蕊, 陈楠, 张二喜 (2252)
小麦籽粒镉含量影响因素 Meta 分析和决策树分析	刘娜, 张少斌, 郭欣宇, 宁瑞艳 (2265)
黄土高原次生林演替过程土壤有机碳库及其化学组成响应特征	刘涵宇, 刘颖异, 张琦, 封伦, 高起乾, 任成杰, 韩新辉 (2275)
短期氮磷添加对祁连山亚高山草地土壤呼吸组分的影响	江原, 甘小玲, 曹丰丰, 赵传燕, 李伟斌 (2283)
黄河源区斑块退化高寒草甸土壤微生物多样性对长期封育的响应	杨鹏年, 李希来, 李成一, 段成伟 (2293)
不同海拔箭筈锦鸡儿根际和非根际土壤细菌群落多样性及 PICRUSt 功能预测	李媛媛, 徐婷婷, 艾喆, 魏庐璐, 马飞 (2304)
模拟酸雨及氮沉降对马尾松林土壤细菌群落结构及其多样性的影响	王楠, 钱少郁, 潘小承, 陈一磊, 白尚斌, 徐飞 (2315)
磷石膏和碱蓬对盐渍化土壤水盐及细菌群落结构的影响	刘月, 杨树青, 张万峰, 姜帅 (2325)
菌渣与化肥配施对稻田土壤微生物群落组成及多样性的影响	耿和田, 王旭东, 石思博, 叶正钱, 周文晶 (2338)
增氧对不同秸秆还田稻田田面水养分动态及温室气体排放的影响	胡锦涛, 薛利红, 钱聪, 魏利祥, 曹帅 (2348)
外源褪黑素对胁迫下水稻幼苗生长和抗氧化系统的影响	储玉檀, 李颜, 黄益宗, 保琼莉, 孙红羽, 黄永春 (2356)
面向 2035 的节能与新能源汽车全生命周期碳排放预测评价	付佩, 兰利波, 陈颖, 郝卓, 邢云翔, 蔡旭, 张春梅, 陈轶嵩 (2365)
农田土壤微塑料分布、来源和行为特征	薄录吉, 李冰, 张凯, 马荣辉, 李彦, 王艳芹, 孙斌, 刘月岩 (2375)
农田土壤除草剂污染的修复技术研究进展	胡芳雨, 安婧, 王宝玉, 徐明恺, 张惠文, 魏树和 (2384)
我国黑土地农田土壤除草剂残留特征研究及展望	李睿, 吴秋梅, 赵归梅, 胡文友, 田康, 黄标, 吴祥为, 刘峰, 赵玉国, 赵永存 (2395)
《环境科学》征订启事(1910)	《环境科学》征稿简则(1984)
信息	(2167, 2191, 2324)

武汉市3种类型湖泊浮游植物群落特点及关键影响因子

张浩坤^{1,2}, 闵奋力³, 崔慧荣⁴, 彭雪^{1,2}, 张心怡^{1,2}, 张淑娴^{1,2}, 李竹栖^{1,5}, 葛芳杰¹, 张璐¹, 吴振斌^{1,5}, 刘碧云^{1*}

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 武汉 430071; 4. 武汉市水务执法总队, 武汉 430010; 5. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074)

摘要: 为揭示不同类型湖泊浮游植物群落特点及关键影响因子, 于2018年春季、夏季、秋季和冬季对武汉市城市(UL)、郊野型(CL)和生态保育区(EL)这3种类型共24个湖泊174个采样点进行了浮游植物和水质参数采样调查。结果表明, 3种类型湖泊共鉴定出浮游植物9门159属365种, 绿藻门、蓝藻门和硅藻门的种类最多, 分别占总物种数的55.34%、15.89%和15.07%。浮游植物细胞密度变化范围为 $3.60 \times 10^6 \sim 421.99 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 叶绿素a (Chla)变化范围为 $15.60 \sim 240.50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 生物量变化范围为 $27.71 \sim 379.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数变化范围为 $0.29 \sim 2.86$ 。在3种类型湖泊中, EL和UL的细胞密度、Chla和生物量均低于CL, 而Shannon-Wiener多样性指数则相反。非度量多维尺度分析(NMDS)和相似性分析(ANOSIM)结果表明, 3种类型湖泊浮游植物群落结构存在差异($\text{Stress} = 0.13$, $R = 0.048$, $P = 0.2298$), 并具有显著的季节特征, 夏季Chla和生物量显著高于冬季($P < 0.05$)。Spearman相关性分析显示, UL和CL的浮游植物生物量随着水体N:P的升高而降低, 而EL则相反; 冗余分析(RDA)结果显示, 水温(WT)、pH、硝态氮(NO_3^-)、电导率(EC)和氮磷比(N:P)是显著影响武汉市3种类型湖泊浮游植物群落结构差异性的关键因子($P < 0.05$)。

关键词: 3种类型湖泊; 浮游植物群落特征; 水质参数; 生境异质性; 关键因子

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2023)04-2093-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202205100

Characteristics of Phytoplankton Communities and Key Impact Factors in Three Types of Lakes in Wuhan

ZHANG Hao-kun^{1,2}, MIN Fen-li³, CUI Hui-rong⁴, PENG Xue^{1,2}, ZHANG Xin-yi^{1,2}, ZHANG Shu-xian^{1,2}, LI Zhu-xi^{1,5}, GE Fang-jie¹, ZHANG Lu¹, WU Zhen-bin^{1,5}, LIU Bi-yun^{1*}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430071, China; 4. Wuhan Water Enforcement General Unit, Wuhan 430010, China; 5. School of Environmental Studies, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: To reveal the characteristics and key impact factors of phytoplankton communities in different types of lakes, sampling surveys for phytoplankton and water quality parameters were conducted at 174 sampling sites in a total of 24 lakes covering urban, countryside, and ecological conservation areas of Wuhan in spring, summer, autumn, and winter 2018. The results showed that a total of 365 species of phytoplankton from nine phyla and 159 genera were identified in the three types of lakes. The main species were green algae, cyanobacteria, and diatoms, accounting for 55.34%, 15.89%, and 15.07% of the total number of species, respectively. The phytoplankton cell density varied from $3.60 \times 10^6 \sim 421.99 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, chlorophyll-a content varied from $15.60 \sim 240.50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, biomass varied from $27.71 \sim 379.79 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and the Shannon-Wiener diversity index varied from $0.29 \sim 2.86$. In the three lake types, cell density, Chla, and biomass were lower in EL and UL, whereas the opposite was true for the Shannon-Wiener diversity index. NMDS and ANOSIM analysis showed differences in phytoplankton community structure ($\text{Stress} = 0.13$, $R = 0.048$, $P = 0.2298$). In addition, the phytoplankton community structure of the three lake types had significant seasonal characteristics, with chlorophyll-a content and biomass being significantly higher in summer than in winter ($P < 0.05$). Spearman correlation analysis showed that phytoplankton biomass decreased with increasing N:P in UL and CL, whereas the opposite was true for EL. Redundancy analysis (RDA) showed that WT, pH, NO_3^- , EC, and N:P were the key factors that significantly affected the variability in phytoplankton community structure in the three types of lakes in Wuhan ($P < 0.05$).

Key words: three lake types; phytoplankton community characteristics; water quality parameters; habitat heterogeneity; key factors

浮游植物是水体生态系统中重要的初级生产者和食物链、食物网的基础^[1], 其物种组成和生物量的变化直接或间接影响水体生态系统的功能和稳定性^[2,3]。同时, 浮游植物对水体环境的变化响应十分敏感, 是水质监测和水生态健康的重要指示物种^[4,5]。不同类型湖泊之间由于周围用地、湖泊形态和面积的不同, 经常表现出一定的生境异质性, 导致浮游植物群落分布的关键因子有所不同, 如陈康

等^[6]对鄱阳湖流域的研究发现, 浮游植物群落主要受透明度、电导率、铵态氮和硝态氮的影响; 祁梅等^[7]对长湖的研究表明, 水温、总氮和磷酸盐是主

收稿日期: 2022-05-09; 修订日期: 2022-06-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(32171632, 31830013); 湖北省重点研发计划项目(2020BCA073)

作者简介: 张浩坤(1997~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水生态修复, E-mail: 15821616330@163.com

* 通信作者, E-mail: liuby@ihb.ac.cn

要的影响因子;冯秋国等^[8]对滇池的研究发现,氮磷比和总有机碳等环境因子影响浮游植物群落.此外,也有研究发现沉水植物化感作用可以特异性地抑制一些浮游植物生长和繁殖,从而调整浮游植物群落结构^[9,10].然而,目前多数研究主要关注于独立的湖泊或者同一湖泊不同湖区的浮游植物群落结构与环境因子的关系,而对同一地理区域不同生境和生态功能类型的湖泊研究鲜见报道.

武汉市(113°41'~115°05' E, 29°58'~31°22' N)位于江汉平原东部,长江流域中游,亚热带气候,年平均降水量为1 150~1 450 mm,长江和汉江在此处交会,江河湖泊众多,水网纵横^[9].全市共有大小天然湖泊166个,被誉为“百湖之市”,湖泊水域面积达867.07 km²,水资源丰富^[11].近年来,城市化进程发展和人类活动加剧对不同类型湖泊的生态环境造成一定的影响,湖泊生态状态也反馈相应干扰.武汉市湖泊根据地理位置、周边土地利用以及湖泊功能,将其分类为城市湖泊(UL)、郊野型湖泊(CL)、生态保育区湖泊(EL)3种类型,以加强对不同湖泊

的管理和保护.

基于2018年武汉市24个湖泊(分属3种湖泊类型)的浮游植物和环境水质物理化学特征的时空调查数据,本研究从浮游植物的群落组成、相对丰度、优势种属分析、生物量和多样性指数等方面分析了不同湖泊类型的浮游植物群落结构特征,解析了浮游植物的群落结构特征差异与关键环境因素的关系,通过揭示不同类型湖泊浮游植物群落结构时空变化特征和关键的驱动因子,以期不同类型湖泊保护与综合管理提供重要依据.

1 材料与方法

1.1 采样点设置

本研究于2018年选择了武汉市城市、郊野型和生态保育区湖泊共24个(图1),开展了春季、夏季、秋季和冬季这4个季度浮游植物和主要水质参数调查分析,根据湖泊大小设置采样点,每个湖泊采样点不低于3个,共有采样点174个.其中城市湖泊包括青山北湖、汤逊湖、南湖、黄家湖、莲花湖、沙湖、



橙色:城市湖泊;黄色:郊野型湖泊;绿色:生态保育区湖泊

图1 武汉市24个湖泊区位分布示意

Fig. 1 Distribution map of 24 lakes in Wuhan

南太子湖、三角湖和小墨水湖; 郊野湖泊包括严西湖、野湖、青菱湖、武湖、郭家湖、官莲湖、后官湖、朱山湖、潭子湖和幺教湖; 生态保育区湖泊包括张家大湖、崇仁湖、梁子湖、枯竹海和前拦湖。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 理化因子的样品采集与分析

现场使用水质分析仪 (YSI ProPlus, USA) 测定每个采样点水面以下 0.5 m 处的溶解氧 (DO)、电导率 (EC)、pH 值和水温 (WT), 分别用塞氏圆盘、便携式浊度计和水深仪测量透明度 (SD)、水质浊度 (Tur) 和水深 (Depth)。使用 3 L 的有机玻璃采样器采集 2 L 水样储存在聚乙烯瓶中, 带回实验室中测定水质的总氮 (TN)、总磷 (TP)、氨氮 (NH_4^+)、硝酸盐氮 (NO_3^-)、高锰酸盐指数和叶绿素 a (Chla), 测定方法参照国家标准^[12]。

1.2.2 浮游植物的样品采集、鉴定和计数

使用 25 号浮游生物网在每个采样点表层至 0.5 m 水深处“∞”形来回拖动采集数次, 定性样品加 4% 甲醛溶液固定, 现场采集 1 000 mL 水样后加入鲁哥氏液固定, 静置沉淀 48 h 后, 抽掉上清液, 沉淀物定容至 50 mL, 用于浮游植物鉴定与定量分析。在 10×40 倍 Olympus BX51 型光学显微镜下进行鉴定与计数, 浮游植物种类的鉴定具体参照文献^[13, 14], 通过视野法和体积测量计算浮游植物的细胞数量和生物量^[15]。

1.3 数据分析与统计

1.3.1 多样性指数计算

物种多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 多样性指数 (H)^[16]、优势度指数 (Y)^[17] 和均匀性指数 (J)^[18], 计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$$

$$Y = P_i \times f_i$$

$$J = H/\ln S$$

式中, H 为物种多样性指数; P_i 为第 i 种的个体数 (n_i) 与样品中总个数 (N) 的比值 (n_i/N); f_i 为第 i 种在各湖泊出现的频率; J 表示均匀度; S 表示样品中总物种数。优势度指数 $Y \geq 0.02$ 的为优势种^[19]。

1.3.2 统计分析

利用 Microsoft Excel、IBM SPSS Statistics 26 和 Origin 2022 进行数据的处理与绘图, 3 种类型湖泊浮游植物群落结构 NMDS 和 ANOSIM 分析、优势属种的 Venn 图及浮游植物群落与环境因子的 Spearman 和 RDA 分析通过 R 4.0.2 绘图完成。

利用“vegan”包进行 3 种湖泊浮游植物细胞密

度与环境因子的 RDA 分析, 首先进行去趋势分析 (DCA), 利用方差膨胀因子分析和蒙特卡洛置换检验 (Monte Carlo permutation test) 分别对环境因子进行共线性分析和显著性检验。除 pH 外, 浮游植物和环境因子分别进行 Hellinger 和 $\lg(x+1)$ 转化, 以提高数据的均一性和正态性。

2 结果与分析

2.1 水质物理化学参数特征

3 种类型湖泊不同季度平均水质参数如表 1 所示, 城市湖泊、郊野型湖泊和生态保育区湖泊的 $\rho(\text{TN})$ 平均值分别为 3.62、1.53 和 1.46 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{TP})$ 的平均值分别为 0.22、0.14 和 0.14 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{NH}_4^+)$ 的平均值分别为 1.98、0.64 和 0.61 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{NO}_3^-)$ 的平均值分别为 0.78、0.43 和 0.39 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, EC 的平均值分别为 518.85、317.42 和 309.16 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 高锰酸盐指数的平均值分别为 6.72、5.51 和 5.93 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 且 TN 和 TP 在这 3 种类型湖泊中具有显著性差异 ($P < 0.05$)。此外, 3 种类型湖泊的 WT、SD、DO 和高锰酸盐指数存在显著的季节性变化 ($P < 0.05$), DO、SD 和高锰酸盐指数在冬季显著高于夏季, 而 WT 则相反。

2.2 浮游植物的物种组成

2018 年 3 种类型湖泊共鉴定出浮游植物 9 门 159 属 365 种, 其中绿藻门 (Chlorophyta) 的种类最多, 有 76 属 200 种, 占总物种数的 55.34%; 蓝藻门 (Cyanophyta) 次之, 有 33 属 58 种, 占总物种数的 15.89%; 硅藻门 (Bacillariophyta) 有 27 属 56 种, 占总物种数的 15.07%, 裸藻门 (Euglenophyta)、隐藻门 (Cryptophyta)、金藻门 (Chrysophyta)、甲藻门 (Pyrrophyta)、黄藻门 (Xanthophyta) 和定鞭藻门 (Haptophyta) 较少, 共占总物种数的 13.7%。其中, 城市湖泊共 8 门 230 种, 其中绿藻最多, 占比为 52.6%, 蓝藻和硅藻次之, 占比分别为 17.4% 和 14.8%, 郊野型湖泊共 9 门 247 种, 绿藻最多, 蓝藻和硅藻次之, 占比分别为 55.1%、17.4% 和 14%, 生态保育区湖泊共 9 门 268 种, 绿藻、蓝藻和硅藻占比分别为 52.6%、19.4% 和 16% (图 2)。

2.3 浮游植物的相对丰度、Chla 和优势种

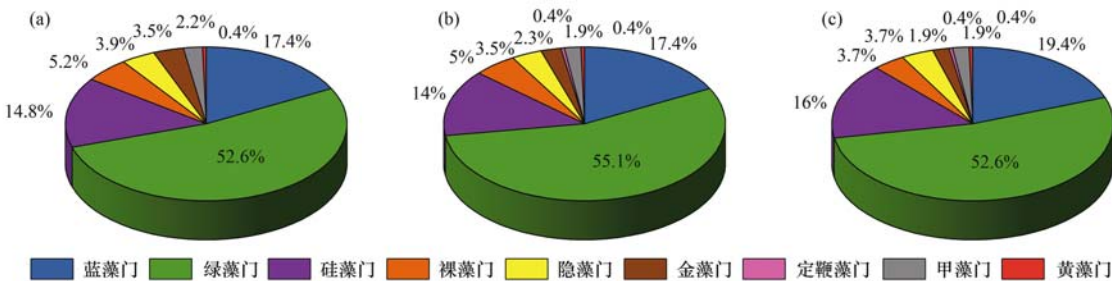
3 种类型湖泊中浮游植物细胞密度变化范围为 $3.60 \times 10^6 \sim 421.99 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$, 相对丰度组成均为蓝藻-绿藻-硅藻型。蓝藻占据了全年的优势地位, 夏季和秋季的相对丰度高于春季和冬季, 而绿藻和硅藻则相反, 夏季和秋季的相对丰度低于春季和冬季 (图 3)。 $\rho(\text{Chla})$ 变化范围为 $15.60 \sim 240.50 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 城市湖泊的 Chla 高于郊野型和生态保育区

表 1 武汉市城市、郊野型和生态保育区湖泊不同季度水质物理化学特点¹⁾

Table 1 Seasonal changes in the physicochemical characteristics of water quality in urban, countryside, and ecological conservation area lakes in Wuhan

水质参数	湖泊类型	春季	夏季	秋季	冬季	P(S)	P(T)
WT/℃	UL	24.17 ± 3.37	30.79 ± 3.60	17.87 ± 4.98	7.75 ± 3.50	**	—
	CL	24.22 ± 2.40	30.84 ± 2.10	17.18 ± 3.89	7.09 ± 1.30		
	EL	23.89 ± 3.08	30.12 ± 1.98	17.42 ± 3.08	6.90 ± 1.98		
pH	UL	8.25 ± 0.40	8.08 ± 0.50	8.01 ± 0.63	8.02 ± 0.40	—	—
	CL	8.34 ± 0.40	8.43 ± 0.50	7.99 ± 0.30	7.94 ± 0.30		
	EL	8.36 ± 0.59	7.88 ± 0.54	7.87 ± 0.31	7.94 ± 0.48		
SD/cm	UL	39.65 ± 14.41	32.54 ± 14.50	39.1 ± 11.10	54.27 ± 20.80	**	—
	CL	52.13 ± 18.40	35.97 ± 11.20	41.09 ± 16.09	63.18 ± 22.30		
	EL	47.84 ± 23.13	51.00 ± 11.40	39.71 ± 6.44	54.42 ± 38.42		
DO /mg·L ⁻¹	UL	9.67 ± 1.79	8.09 ± 3.10	7.62 ± 2.88	9.71 ± 3.20	**	—
	CL	10.29 ± 2.10	10.01 ± 2.30	10.07 ± 2.13	10.59 ± 1.50		
	EL	10.36 ± 2.57	7.13 ± 2.08	8.08 ± 2.33	10.71 ± 2.43		
ρ(TN) /mg·L ⁻¹	UL	3.60 ± 2.86	2.53 ± 1.00	3.57 ± 3.44	4.77 ± 3.60	—	**
	CL	1.17 ± 0.50	1.68 ± 0.70	1.63 ± 0.67	1.64 ± 0.80		
	EL	1.46 ± 0.79	1.55 ± 0.61	1.24 ± 0.41	1.57 ± 0.68		
ρ(TP) /mg·L ⁻¹	UL	0.22 ± 0.10	0.26 ± 0.10	0.17 ± 0.12	0.24 ± 0.20	—	**
	CL	0.11 ± 0.10	0.18 ± 0.10	0.15 ± 0.12	0.10 ± 0.10		
	EL	0.11 ± 0.06	0.17 ± 0.10	0.17 ± 0.09	0.11 ± 0.07		
N:P	UL	16.37 ± 7.41	9.60 ± 8.80	18.60 ± 13.23	20.37 ± 19.71	—	—
	CL	10.29 ± 4.20	9.18 ± 4.30	13.06 ± 10.03	16.23 ± 10.69		
	EL	12.82 ± 5.04	9.73 ± 7.05	7.29 ± 6.41	14.27 ± 6.35		
ρ(NH ₄ ⁺) /mg·L ⁻¹	UL	2.14 ± 2.02	1.06 ± 0.90	2.09 ± 3.31	2.62 ± 3.10	—	—
	CL	0.51 ± 0.40	0.66 ± 0.30	0.73 ± 0.42	0.64 ± 0.30		
	EL	0.63 ± 0.38	0.66 ± 0.27	0.48 ± 0.17	0.69 ± 0.39		
ρ(NO ₃ ⁻) /mg·L ⁻¹	UL	0.48 ± 0.56	0.59 ± 0.60	1.03 ± 0.78	0.96 ± 0.80	—	—
	CL	0.24 ± 0.20	0.53 ± 0.60	0.30 ± 0.25	0.53 ± 0.30		
	EL	0.41 ± 0.35	0.41 ± 0.56	0.32 ± 0.41	0.44 ± 0.25		
高锰酸盐指数 /mg·L ⁻¹	UL	5.60 ± 1.57	7.74 ± 2.00	7.44 ± 1.88	5.97 ± 2.00	**	—
	CL	4.96 ± 1.60	5.93 ± 2.00	6.07 ± 2.03	5.11 ± 1.50		
	EL	5.62 ± 2.20	5.87 ± 2.07	6.37 ± 1.79	5.71 ± 1.70		
EC /μS·cm ⁻¹	UL	486.23 ± 271.34	483.37 ± 284.00	534.78 ± 229.28	571.02 ± 307.40	—	—
	CL	365.06 ± 87.70	358.58 ± 81.40	377.52 ± 136.94	384.50 ± 120.00		
	EL	287.11 ± 62.47	323.92 ± 116.90	305.84 ± 90.21	319.78 ± 127.26		

1) P(S)为季节性显著性; P(T)为3种类型湖泊间的显著性; **表示具有显著性差异, $P < 0.05$, “—”表示无显著差异, $P > 0.05$



(a)城市湖泊; (b)郊野型湖泊; (c)生态保育区湖泊

图 2 浮游植物物种组成

Fig. 2 Phytoplankton species composition

湖泊,平均分别为: 105.85、55.79 和 8.40 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 此外,3 种类型湖泊中均表现出显著的季节性特征, 夏季的 Chla 显著高于冬季 ($P < 0.05$).

3 种类型湖泊不同季节的浮游植物优势种如表 2 所示. Venn 图分析结果显示(图 4),UL、CL 和 EL

中的优势种分别为 16、18 和 19 种,共同优势种有 3 种,分别为微囊藻 (*Microcystis* sp.)、空星藻 (*Coelastrum* sp.) 和隐藻 (*Cryptomonas* sp.).

2.4 浮游植物的生物量

在 3 种类型的湖泊中,城市湖泊的浮游植物生

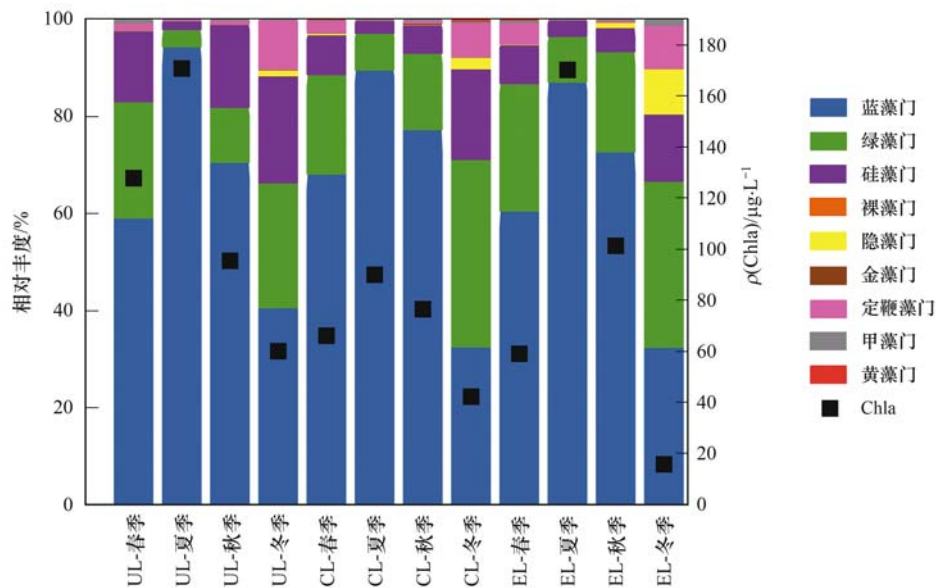


图 3 浮游植物相对丰度和 Chla 的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes in the relative abundance of phytoplankton and Chla

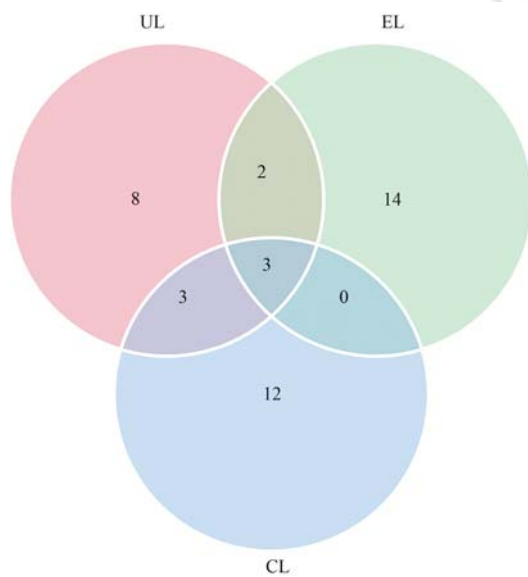


图 4 浮游植物优势种 Venn 图

Fig. 4 Venn diagram of the dominant phytoplankton species

物量最高(图 5),生态保育区和郊野型湖泊次之,平均值分别为 153.89、134.76 和 102.73 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其中最高值出现在黄家湖,为 379.79 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,最低值出现在郭家湖,为 27.71 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.此外,3 种类型湖泊的浮游植物生物量组成较为相似,均以蓝藻门、绿藻门、硅藻门和甲藻门为主,在城市湖泊中,蓝藻门和硅藻门的生物量组成占比高于生态保育区和郊野型湖泊,而绿藻门和甲藻门则相反.

2.5 浮游植物群落多样性指数

3 种类型湖泊浮游植物群落的 Shannon-Wiener 多样性指数如图 6(a)所示.城市、郊野型和生态保育区湖泊的群落多样性指数平均值分别为 2.10、2.09 和 2.03,无明显差异($P < 0.05$).最高值在朱

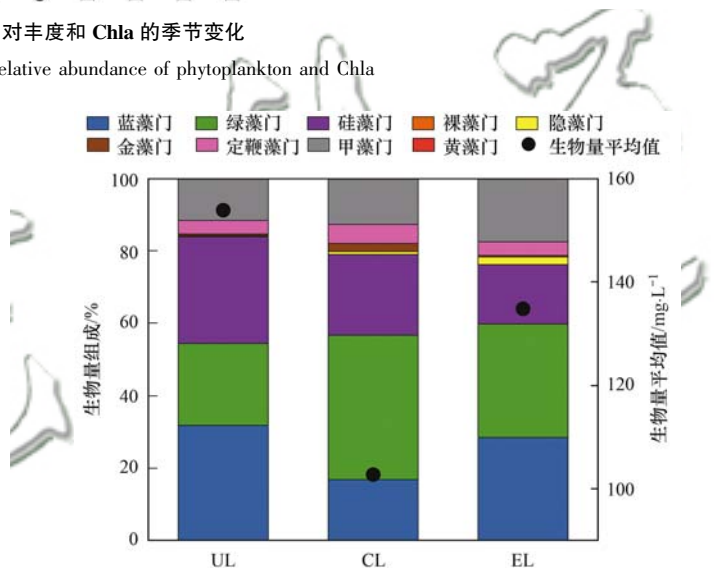


图 5 浮游植物生物量

Fig. 5 Biomass of phytoplankton

山湖,为 2.34,最低值在青山北湖,为 1.35.在季节变化上[图 6(b)],城市湖泊的多样性指数春季最高,冬季最低,平均值分别为 2.28 和 1.71;在郊野型湖泊中,冬季最高,秋季最低,分别为 2.17 和 2.00;在生态保育区湖泊中,冬季最高,夏季最低,分别为 2.24 和 1.82.在均匀性指数上,郊野型湖泊高于城市和生态保育区湖泊,平均值分别为 0.38、0.37 和 0.37.

2.6 浮游植物群落结构差异与环境因子的关系

2.6.1 NMDS 和 ANOSIM 分析

基于 Bray-Curtis 距离的 NMDS 分析表明(图 7),3 种类型湖泊群落结构的应力函数值(Stress)为 0.13,生态保育区湖泊和城市湖泊浮游植物群落结构在第一主轴和第二主轴分开,具有差异性,通过 ANOSIM 进一步分析 3 种类型湖泊群落结构的差异性(图 8),结果显示 3 种类型湖泊的相异系数 R 为

表 2 3 种类型湖泊的优势属种
Table 2 Dominant species in three types of lakes

类型	季节	优势属种
UL	春季	微囊藻(<i>Microcystis</i> sp.)、空星藻(<i>Coelastrum</i> sp.)、新月藻(<i>Closterium</i> sp.)、囊裸藻(<i>Dinobryon</i> sp.)和长孢藻(<i>Dolichospermum</i> sp.)
	夏季	微囊藻、惠氏微囊藻(<i>Microcystis wesenbergii</i>)、浮丝藻(<i>Planktothrix</i> sp.)、紧密长孢藻(<i>Dolichospermum compacta</i>)、真紧密拟圆孢藻(<i>Sphaerospermopsis eucompacta</i>)和空星藻
	秋季	针杆藻(<i>Synedra</i> sp.)、裸藻(<i>Euglena</i> sp.)、旋转囊裸藻(<i>Trachelomonas volvocina</i>)、隐藻(<i>Cryptomonas</i> sp.)和囊裸藻
	冬季	隐藻、小环藻(<i>Cyclotella</i> sp.)、空星藻、锥囊藻(<i>Dinobryon</i> sp.)和啮蚀隐藻(<i>Cryptomons erosa</i>)
CL	春季	裸藻、反弯曲隐藻(<i>Campylomonas reflexa</i>)、直链藻(<i>Melosira</i> sp.)、转板藻(<i>Mougeotia</i> sp.)和空星藻
	夏季	实球藻(<i>Pandorina morum</i>)、微囊藻、惠氏微囊藻、裸藻、泽丝藻(<i>Anabaena Anabaena</i> sp.)和长孢藻(<i>Dolichospermum</i> sp.)
	秋季	空星藻、小空星藻(<i>Coelastrum microporum</i>)、鞘丝藻(<i>Lyngbya</i> sp.)、三角四角藻(<i>Tetradron trigonum</i>)和卵形藻(<i>Cocconeis</i>)
	冬季	隐藻、绿色裸藻(<i>Euglena viridis</i>)、铁杆藻(<i>Synedra</i> sp.)、单角盘星藻(<i>Pediastrumsimplex</i>)和空星藻
EL	春季	空星藻、栅藻(<i>Scenedesmus</i> sp.)、二角盘星藻(<i>Pediastrum duplex</i>)、扁鼓藻(<i>Cosmarium depressum</i>)和扁裸藻(<i>Phacus</i> sp.)
	夏季	拟柱孢藻(<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>)、色球藻(<i>Chroococcus</i> sp.)、微囊藻、颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)、卷曲长孢藻(<i>Dolichospermum curvatus</i>)和梭形裸藻(<i>Euglena acus</i>)
	秋季	拟柱孢藻、小球藻(<i>Chlorella</i> sp.)、光滑鼓藻(<i>Cosmarium leave</i>)、颗粒直链藻和粗壮双菱藻(<i>Surirella robusta</i>)
	冬季	小球藻、锥囊藻、隐藻、针杆藻、扎卡四棘藻(<i>Attheya zachariasii</i>)和双菱藻(<i>Surirella</i> sp.)

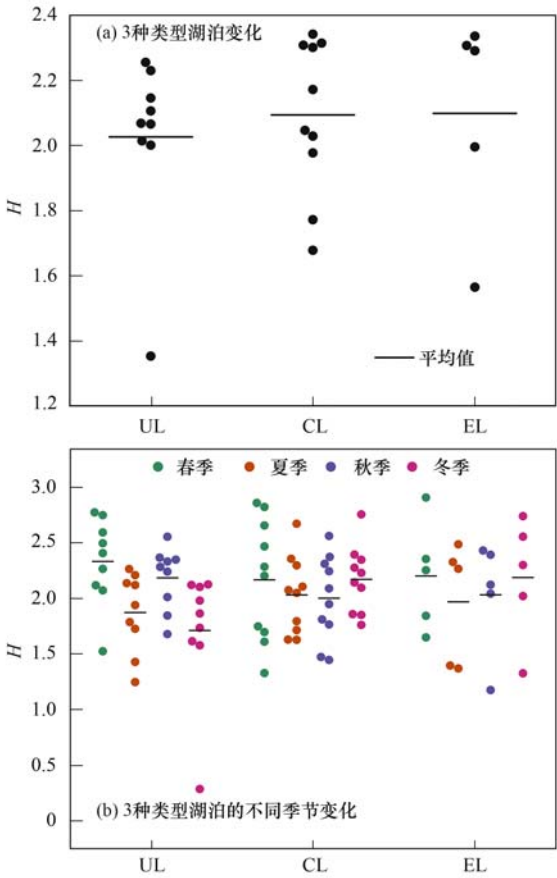


图 6 浮游植物群落多样性指数
Fig. 6 Phytoplankton community diversity indices

0.048, 结构差异 P 为 0.2298, 这表明 3 种类型湖泊的群落结构组间差异大于组内差异.

2.6.2 Spearman 相关性分析

通过对 3 种类型湖泊浮游植物的 Chla、细胞密

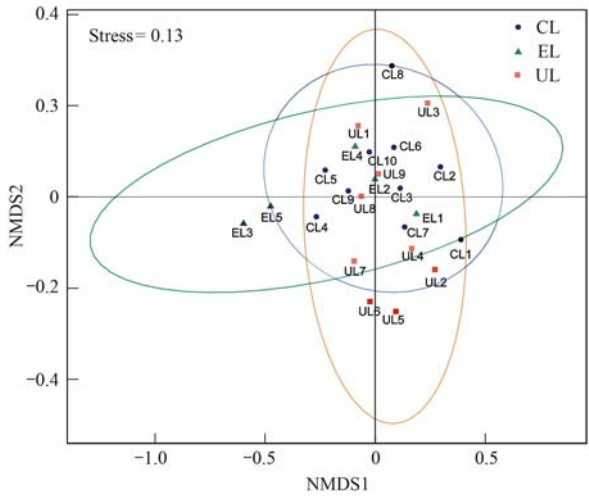


图 7 浮游植物群落结构的 NMDS 分析
Fig. 7 NMDS analysis of phytoplankton community structure

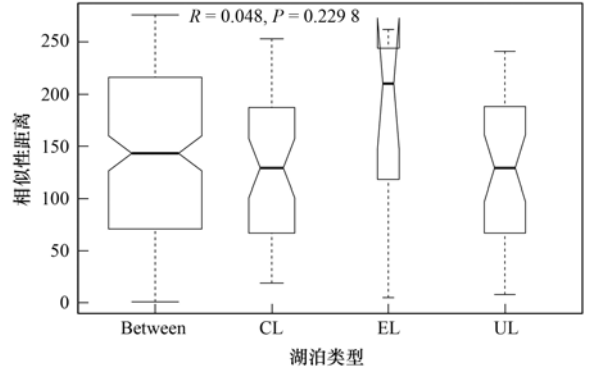


图 8 浮游植物群落结构的 ANOSIM 分析
Fig. 8 ANOSIM analysis of phytoplankton community structure

度、生物量 and H 与环境因子进行 Spearman 相关性

分析,结果表明,在城市湖泊中[图 9(a)],浮游植物的 Chla 与 TP 正相关,细胞密度与 DO 显著正相关,生物量与 DO 和 TP 正相关;在郊野型湖泊中[图 9(b)],浮游植物 Chla 与 TN、TP、 NH_4^+ 和高锰酸盐指数显著正相关,与 SD 负相关,生物量与 TN、TP 和 NH_4^+ 显著正相关,与 SD 和 N:P 值显著负相关,浮游植物多样性指数与 N:P 值显著负相关;在生态保育区湖泊中[图 9(c)],浮游植物细胞密度与 DO 显著正相关,与 EC 显著负相关。

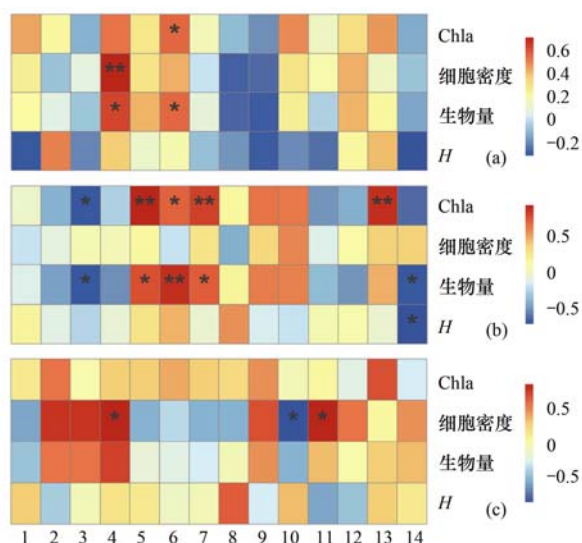


图 9 浮游植物与环境因子之间的 Spearman 分析
 (a) 城市湖泊, (b) 郊野型湖泊, (c) 生态保育区湖泊; 1. WT, 2. pH, 3. SD, 4. DO, 5. NH_4^+ , 6. TP, 7. TN, 8. Tur, 9. NO_3^- , 10. EC, 11. Depth, 12. 面积, 13. 高锰酸盐指数, 14. N:P; ** 表示 $P < 0.01$, * 表示 $P < 0.05$

图 9 浮游植物与环境因子之间的 Spearman 分析

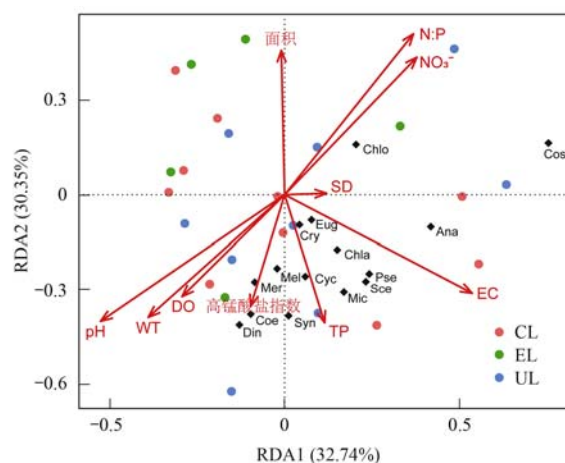
Fig. 9 Spearman analysis between phytoplankton and environmental factors

2.6.3 RDA 分析

通过对 3 种类型湖泊浮游植物优势种细胞密度的 DCA 分析,得到最长排序轴的长度为 0.822 97,因此选择基于线性模型的 RDA 排序分析(图 10)。在排除了共线性强的环境因子 TN 和 NH_4^+ 后,通过蒙特卡洛置换检验,发现 WT、pH、 NO_3^- 、EC 和 N:P 是显著影响 3 种类型湖泊浮游植物群落结构差异性的关键因子($P < 0.05$),排序轴 1 和排序轴 2 共解释了浮游植物群落总方差的 63.09%,证明了 RDA 中的环境因子能够显著影响浮游植物群落结构的分布($P < 0.05$)。

微囊藻的细胞密度与 NO_3^- 、N:P 和湖泊面积负相关,与 WT、DO、pH、EC、TP 和高锰酸盐指数正相关;空星藻是绿藻门在春季时的优势种,其细胞密度与 WT、TP 和 DO 正相关,与 NO_3^- 和 N:P 负相关;隐藻是隐藻门在冬季的主要优势种,其细胞密度与 TP、EC 和 SD 正相关;裸藻细胞密度与 TP、

NO_3^- 和 N:P 正相关,颤藻和小球藻与 SD、 NO_3^- 、N:P 和面积正相关,与 WT、DO 和高锰酸盐指数负相关;硅藻门的针杆藻与小环藻与 WT、TP 和高锰酸盐指数正相关,与 NO_3^- 和 N:P 负相关。



蓝藻门: Mic 表示微囊藻, Mer 表示平裂藻, Pse 表示假鱼腥藻, Ana 表示浮丝藻, Cos 表示颤藻; 绿藻门: Chla 表示衣藻; Coe 表示空星藻; Chlo 表示小球藻; Sce 表示栅藻; 硅藻门: Cyc 表示小环藻; Syn 表示针杆藻; Mel 表示直链藻; 隐藻门: Cry 表示隐藻; 裸藻门: Eug 表示裸藻; 定鞭藻门: Din 表示锥囊藻

图 10 浮游植物与环境因子的 RDA 分析

Fig. 10 RDA analysis of phytoplankton and environmental factors

3 讨论

3.1 3 种类型湖泊水质参数差异

通过对 3 种类型湖泊的水质参数分析,武汉市城市湖泊的 TN 和 TP 浓度显著高于郊野型湖泊和生态保育区湖泊($P < 0.05$),在城市化发展过程初期,由于城市污水处理效率低和管网不发达,加上有些区域截污不彻底,致使大量没有经过处理的生活污水进入城市湖泊,导致氮磷营养盐含量增加^[11]。尹然^[20]和张苗等^[21]通过对武汉市城市湖泊南湖的研究发现,生活污水排放导致南湖水体富营养化严重,通过原位生态修复后,水质氮磷含量在一定程度上有所降低,但整体上仍呈现出富营养化特征,这也解释了城市湖泊 TN 和 TP 较高的原因;郊野型湖泊多分布于郊区,随着城市的扩展,有些大型的郊野型湖泊处于城郊结合部,地表径流和农业面源污染是营养盐的重要来源^[22,23],但其受到的人类活动干扰程度相对较低,且具有相对较好生态系统结构,自净能力较强,氮磷含量较低;而分布于市区和郊区的生态保育区湖泊,部分是在生态功能严重退化后才开始进行生态修复,且起始时间不同,虽然保护优先级较高,但污染的滞后性和耦合性使部分湖泊的氮磷仍然较高^[24],介于城市和郊野型湖泊之间。秦云等^[25]和钟书华等^[26]通过对生态保育区湖泊梁子湖的研究发现,水位降低、面源污染、底泥扰动、养殖

业和旅游业的发展使水质氮磷含量较高,表现出轻度营养化。

3.2 浮游植物群落与环境因子的关系

在调查期间,武汉市3种类型湖泊共鉴定出浮游植物365种,物种组成和相对丰度均以蓝藻-绿藻-硅藻型为主,生物量主要以绿藻-蓝藻-硅藻-裸藻型为主,这样的结构模式常见于亚热带富营养化的湖泊^[27,28]。生境异质性会造成浮游植物物种的生态位分化,从而影响其分布格局^[29]。NMDS和ANOSIM结果表明:城市湖泊、郊野型湖泊和生态保育区湖泊的群落结构的组间差异大于组内差异,具有一定的差异性,且Spearman相关性分析发现,生境不同的3种湖泊的浮游植物生物量对环境因子呈现出不同的响应特征。城市和郊野型湖泊的浮游植物生物量与TP显著正相关,N:P值负相关,磷的增加有利于浮游藻类生长,控制磷的浓度可以显著降低浮游藻类的生物量^[28]。而生态保育区湖泊则相反,由于其生态功能的重要性,经常通过人工措施恢复湖泊中的大型水生植物,以提高其生物多样性^[30],且沉水植物可以通过对营养盐的吸收和化感作用影响浮游植物对氮磷的吸收利用^[31,32],来调控浮游植物对营养盐的响应。

有研究表明,水温、营养盐、湖泊形态和面积等可以直接或间接地影响湖泊浮游植物的群落结构的分布^[2,28]。在本研究中,RDA结果表明WT、pH、NO₃⁻、EC和N:P是显著影响3种类型湖泊浮游植物差异性的关键环境因子($P < 0.05$),这一结果与其他亚热带地区的湖泊相似^[33,34]。充足的光照、较高的水温和氮磷营养盐含量使得蓝藻大量生长繁殖^[35,36],相对丰度在夏季达到高峰,会导致湖泊水华形成。作为固氮蓝藻之一的微囊藻,在低N:P比的营养条件下具有竞争优势^[37],随着水温的升高,在固氮过程中的固氮酶的酶促反应速率更快,固氮细胞呼吸速率更高,有利于在低氮营养条件下进行大量增殖^[38~40]。在气候变暖的背景下,这种趋势显得更加明显^[41],这也解释了微囊藻与N:P比负相关,与WT和TP呈正相关的原因。此外,蓝藻还可以通过分泌微囊藻毒素和化感物质抑制其他浮游植物的生长^[42],在竞争中占据了主导优势,从而使得浮游植物群落结构简单,稳定性差^[43]。有趣的是,与WT正相关的硅藻在秋冬季的相对丰度却逐渐增加,占据了一定优势,反而在温度较高的夏季相对丰度较小。硅藻对低温条件下的适应能力更强^[44],蓝藻生长的温度阈值高于硅藻,随着温度的升高,蓝藻以快速生长的r-策略迅速占据生态位,获得竞争优势^[45],这也是蓝藻在夏季占主导地位,而硅藻在秋

冬季相对丰度逐渐增加的原因。

4 结论

(1)在2018年调查期间,3种类型湖泊共鉴定出浮游植物9门159属365种,城市湖泊有8门230种,郊野型湖泊有9门247种,生态保育区湖泊有9门268种,且物种组成和相对丰度均以蓝藻-绿藻-硅藻为主,生物量均以绿藻-蓝藻-硅藻-裸藻型为主。

(2)3种类型湖泊具有生境异质性,城市湖泊的TN和TP浓度显著高于郊野型和生态保育区湖泊。城市湖泊、郊野型湖泊和生态保育区湖泊的群落结构存在差异,且具有显著的季节特征,浮游植物Chla与生物量在夏季和冬季差异显著,夏季显著高于冬季。

(3)WT、pH、NO₃⁻、EC和N:P是显著影响3种类型湖泊浮游植物差异性的关键因子。

参考文献:

- [1] Wang C, Jia H J, Wei J X, et al. Phytoplankton functional groups as ecological indicators in a subtropical estuarine river delta system[J]. *Ecological Indicators*, 2021, **126**, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107651.
- [2] 郑诚, 陆开宏, 徐镇, 等. 四明湖水库浮游植物功能类群的季节演替及其影响因子[J]. *环境科学*, 2018, **39**(6): 2688-2697.
- [3] Zheng C, Lu K H, Xu Z, et al. Seasonal succession of phytoplankton functional groups and their driving factors in the Siminghu Reservoir[J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(6): 2688-2697.
- [4] Xu H Z, Zhang S S, Ma G X, et al. 18S rRNA gene sequencing reveals significant influence of anthropogenic effects on microeukaryote diversity and composition along a river-to-estuary gradient ecosystem[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **705**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135910.
- [5] Liu L M, Yang J, Lv H, et al. Phytoplankton communities exhibit a stronger response to environmental changes than bacterioplankton in three subtropical reservoirs [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **49**(18): 10850-10858.
- [6] 冯佳, 郭宇宁, 王飞, 等. 太原汾河景区浮游植物群落结构及其与环境因子关系分析[J]. *环境科学*, 2016, **37**(4): 1353-1361.
- [7] Feng J, Guo Y N, Wang F, et al. Relationship between the phytoplankton distribution and environmental factors in Fenhe scenic spot of Taiyuan[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(4): 1353-1361.
- [8] 陈康, 孟子豪, 李学梅, 等. 鄱阳湖流域柘林水库秋季浮游植物群落结构及其构建过程驱动机制[J]. *湖泊科学*, 2022, **34**(2): 433-444.
- [9] Chen K, Meng Z H, Li X M, et al. Phytoplankton community structure and driving mechanism of its construction process in autumn in Zhelin Reservoir, Lake Poyang Basin[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2022, **34**(2): 433-444.
- [10] 祁梅, 吴嘉伟, 龚森森, 等. 长湖浮游植物功能群特征及其与环境因子的关系[J]. *海洋与湖沼*, 2020, **51**(1): 75-84.
- [11] Qi M, Wu J W, Gong S S, et al. Relationship between

- characteristics of phytoplankton functional groups and their environmental factors in Changhu Lake [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2020, **51**(1): 75-84.
- [8] 冯秋园, 王殊然, 刘学勤, 等. 滇池浮游植物群落结构的时空变化及与环境因子的关系[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, **56**(1): 184-192.
- Feng Q Y, Wang S R, Liu X Q, *et al.* Seasonal and spatial variations of phytoplankton communities and correlations with environmental factors in Lake Dianchi [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2020, **56**(1): 184-192.
- [9] 彭雪, 张璐, 黄素珍, 等. 基于回声探测监测沉水植物盖度的插值方法研究: 以杭州西湖沉水植物盖度监测为例[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(2): 472-482.
- Peng X, Zhang L, Huang S Z, *et al.* Interpolation method for monitoring the coverage of submerged plants based on echo detection; taking the monitoring of submerged plant coverage in West Lake of Hangzhou as an example [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(2): 472-482.
- [10] He Y, Zhou Q H, Liu B Y, *et al.* Programmed cell death in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* induced by allelopathic effect of submerged macrophyte *Myriophyllum spicatum* in co-culture system [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2016, **28**(5): 2805-2814.
- [11] 代晓颖, 徐栋, 武俊梅, 等. 2015-2019 年武汉市湖泊水质时空变化[J]. 湖泊科学, 2021, **33**(5): 1415-1424.
- Dai X Y, Xu D, Wu J M, *et al.* Spatiotemporal variations of water quality of lakes in Wuhan from 2015 to 2019 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2021, **33**(5): 1415-1424.
- [12] 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.
- [13] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [14] 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.
- Hu H J, Wei Y X. The freshwater algae of China: systematics, taxonomy and ecology [M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [15] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [16] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. *The Bell System Technical Journal*, 1948, **27**(3): 379-423.
- [17] 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 Xiaoqing River on environment factors and phytoplankton community in the Laizhou Bay [J]. *Environmental Science*, 2022, **43**(4): 1997-2006.
- [18] 何书晗, 欧阳添, 赵璐, 等. 三峡库区支流浮游植物群落稳定性及其驱动因子分析[J]. 环境科学, 2021, **42**(7): 3242-3252.
- He S H, Ouyang T, Zhao L, *et al.* Analysis of phytoplankton community stability and influencing factors in a tributary of the Three Gorges Reservoir [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3242-3252.
- [19] 刘盼盼, 王龙, 王培, 等. 沙颍河流域浮游动物群落结构空间变化特征与水质评价[J]. 水生生物学报, 2018, **42**(2): 373-381.
- Liu P P, Wang L, Wang P, *et al.* The characteristics of zooplankton community and water quality in the Shaying River Basin [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, **42**(2): 373-381.
- [20] 尹然. 城市湖泊富营养化状况评价及应对策略——以武汉市南湖为例[J]. 安徽农业科学, 2020, **48**(24): 66-70.
- Yin R. Evaluation of eutrophication of urban lakes and coping strategies—A case study of Nanhu Lake of Wuhan City [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, **48**(24): 66-70.
- [21] 张苗, 李明梦, 刘律, 等. 超富营养城市湖泊原位生态修复效果分析——以武汉南湖为例[J]. 海洋与湖沼, 2021, **52**(6): 1399-1407.
- Zhang M, Li M M, Liu L, *et al.* Effects of in-situ ecological restoration in Nanhu Lake, a hypertrophic urban lake, China [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2021, **52**(6): 1399-1407.
- [22] 黄宇, 邓绪伟, 徐军, 等. 武汉市后官湖水环境问题和污染防治对策分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, **24**(6): 1030-1037.
- Huang Y, Deng X W, Xu J, *et al.* Water environmental problems and management countermeasures in Houguanhu Lake in Wuhan [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(6): 1030-1037.
- [23] 杨水化, 彭正洪, 焦洪赞, 等. 城市富营养化湖泊的外源污染负荷与贡献解析——以武汉市后官湖为例[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(4): 941-951.
- Yang S H, Peng Z H, Jiao H Z, *et al.* External pollution source load and contribution of urban eutrophic lakes-taking Lake Houguanhu of Wuhan as an example [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2020, **32**(4): 941-951.
- [24] 王松波, 余俊爽, 曹艳敏, 等. 光照和营养盐对浮游动物和浮游植物生物量及其营养联系的影响[J]. 生态环境学报, 2018, **27**(6): 1122-1127.
- Wang S B, Yu J S, Cao Y M, *et al.* Light and nutrients as determinants of zooplankton and phytoplankton biomass and their impacts on pelagic trophic linkage [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2018, **27**(6): 1122-1127.
- [25] 秦云, 李艳蕾, 吴丽秀, 等. 梁子湖水水质时空格局分析[J]. 湖泊科学, 2016, **28**(5): 994-1003.
- Qin Y, Li Y Q, Wu L X, *et al.* Analysis on the spatial-temporal patterns of water quality in Lake Liangzi [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2016, **28**(5): 994-1003.
- [26] 钟书华, 冀翔, 冯元元. 梁子湖水环境主要污染因子研究[J]. 化学与生物工程, 2020, **37**(1): 55-58, 64.
- Zhong S H, Ji X, Feng Y Y. Main pollution factors of water environment in the Liangzi Lake [J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2020, **37**(1): 55-58, 64.
- [27] Lv J, Wu H J, Chen M Q. Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China [J]. *Limnologia*, 2011, **41**(1): 48-56.
- [28] Peng X, Zhang L, Li Y, *et al.* The changing characteristics of phytoplankton community and biomass in subtropical shallow lakes: coupling effects of land use patterns and lake morphology [J]. *Water Research*, 2021, **200**, doi: 10.1016/j.watres.2021.117235.
- [29] 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.
- [30] 胡胜华, 蔺庆伟, 代志刚, 等. 西湖沉水植物恢复过程中物种多样性的变化[J]. 生态环境学报, 2018, **27**(8): 1440-1445.

- Hu S H, Lin Q W, Dai Z G, *et al.* Change of species diversity during the restoration process of submerged Macrophyte in Xihu Lake, Hangzhou[J]. Ecology and Environment Sciences, 2018, **27**(8): 1440-1445.
- [31] Phillips G, Willby N, Moss B. Submerged macrophyte decline in shallow lakes: what have we learnt in the last forty years? [J]. Aquatic Botany, 2016, **135**: 37-45.
- [32] 姚远, 贺锋, 胡胜华, 等. 沉水植物化感作用对西湖湿地浮游植物群落的影响[J]. 生态学报, 2016, **36**(4): 971-978.
- Yao Y, He F, Hu S H, *et al.* Effects of allelopathy of submerged macrophytes on the phytoplankton community collected from the west part of the West Lake wetland in Hangzhou, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, **36**(4): 971-978.
- [33] 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.
- [34] 王雅雯, 李迎鹤, 张博, 等. 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[J]. 环境科学, 2022, **43**(6): 3106-3117.
- Wang Y W, Li Y H, Zhang B, *et al.* Structural characteristics of zooplankton and phytoplankton communities and its relationship with environmental factors in different regions of Nanhu Lake in Jiaxing City[J]. Environmental Science, 2022, **43**(6): 3106-3117.
- [35] Zhang H X, Huo S L, Xiao Z, *et al.* Climate and nutrient-driven regime shifts of cyanobacterial communities in low-latitude plateau lakes[J]. Environmental Science & Technology, 2021, **55**(5): 3408-3418.
- [36] Monchamp M E, Spaak P, Domaizon I, *et al.* Homogenization of lake cyanobacterial communities over a century of climate change and eutrophication[J]. Nature Ecology & Evolution, 2018, **2**(2): 317-324.
- [37] Smith V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton[J]. Science, 1983, **221**(4611): 669-671.
- [38] Reynolds C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? [J]. Hydrobiologia, 1998, **369**: 11-26.
- [39] Brauer V S, Stomp M, Rosso C, *et al.* Low temperature delays timing and enhances the cost of nitrogen fixation in the unicellular cyanobacterium *Cyanothece* [J]. The ISME Journal, 2013, **7**(11): 2105-2115.
- [40] Breitbarth E, Oschlies A, Laroche J. Physiological constraints on the global distribution of *Trichodesmium*-effect of temperature on diazotrophy[J]. Biogeosciences, 2007, **4**(1): 53-61.
- [41] Zhang M, Duan H T, Shi X L, *et al.* Contributions of meteorology to the phenology of cyanobacterial blooms: implications for future climate change [J]. Water Research, 2012, **46**(2): 442-452.
- [42] Huang S Z, Zhu J Y, Zhang L, *et al.* Combined effects of allelopathic polyphenols on *Microcystis aeruginosa* and response of different chlorophyll fluorescence parameters [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, **11**, doi: 10.3389/fmicb.2020.614570.
- [43] Huisman J, Codd G A, Paerl H W, *et al.* Cyanobacterial blooms [J]. Nature Reviews Microbiology, 2018, **16**(8): 471-483.
- [44] Cheng L M, Zhang S F, Xie Z X, *et al.* Metabolic adaptation of a globally important diatom following 700 generations of selection under a warmer temperature [J]. Environmental Science & Technology, 2022, **56**(8): 5247-5255.
- [45] Tan X, Kong F X, Zhang M, *et al.* Recruitment of phytoplankton from winter sediment of Lake Taihu: a laboratory simulation[J]. Journal of Freshwater Ecology, 2009, **24**(2): 339-341.

CONTENTS

Impact of Climate Change on Summer Ozone in China	HU An-qi, XIE Xiao-dong, GONG Kang-jia, <i>et al.</i>	(1801)
Spatial-temporal Variation and Driving Factors of Ozone in China from 2019 to 2021 Based on EOF Technique and KZ Filter	WANG Hao-qí, ZHANG Yu-fen, LUO Zhong-wei, <i>et al.</i>	(1811)
Photochemical Mechanism and Control Strategy Optimization for Summertime Ozone Pollution in an Industrial City in the North China Plain	ZHENG Zhen-sen, DOU Jian-píng, ZHANG Guo-tao, <i>et al.</i>	(1821)
Spatiotemporal Evolution Characteristics of PM _{2.5} -O ₃ Compound Pollution in Chinese Cities from 2015 to 2020	NIU Xiao-xiao, ZHONG Yan-mei, YANG Lu, <i>et al.</i>	(1830)
Spatiotemporal Distribution Characteristics of Co-pollution of PM _{2.5} and Ozone over BTH with Surrounding Area from 2015 to 2021	SONG Xiao-han, YAN Li, LIU Wei, <i>et al.</i>	(1841)
Spatio-temporal Variation in PM _{2.5} Concentration and Its Relationship with Vegetation Landscape Patterns in Typical Economic Zones in China from 2000 to 2020	XU Yong, LI Xin-yi, HUANG Wen-ting, <i>et al.</i>	(1852)
Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Ion Deposition During Winter and Spring in the Core Area of Beijing	ZHAO Yu, LI Bei-bei, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i>	(1865)
Input Characteristics of Dry Deposition of Atmospheric Particulates and Metals in Farmland in the Suburb of Nanjing	LIU Cui-ying, JIN Hao, FAN Jian-ling	(1873)
Pollution Characterizations and Oxidative Potentials of Water-Soluble Organic Matters at Different Polarity Levels in Winter PM _{2.5} Over Xi'an	LUO Yu, HUANG Sha-sha, ZHANG Tian, <i>et al.</i>	(1882)
Emission Characteristics of Organic Carbon and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} from Vehicle Exhaust and Civil Combustion Fuels	WANG Hong-lei, LIU Si-han, SUN Jie-juan, <i>et al.</i>	(1890)
Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in the Core Area of Ili River Valley in Spring	GU Chao, XU Tao, MA Chao, <i>et al.</i>	(1899)
Evaluation of Changes in PM _{2.5} Exposure Concentration and Health Risk for Urban Resident in Zhengzhou Based on High Spatial Resolution Grids	LI Yuan, XU Yi-fei, YUAN Ming-hao, <i>et al.</i>	(1911)
Emission Inventory of Building Material Industry in Henan Province Based on Multi-source Data Integration	LIU Xiao, HU Jing-nan, WANG Hong-mei, <i>et al.</i>	(1924)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Atmospheric Volatile Organic Compounds in Winter in Kaifeng City	SHI Yu-qi, ZHENG Kai-yun, DING Wei-ting, <i>et al.</i>	(1933)
Changes in O ₃ -VOCs-NO _x Sensitivity and VOCs Sources at an Urban Site of Nanjing Between 2020 and 2021	LU Xiao-bo, WANG Ming, DING Feng, <i>et al.</i>	(1943)
Variation Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Urban Beijing in Summer	ZHANG Rui, SUN Xue-song, WANG Yu, <i>et al.</i>	(1954)
Chemical Characteristics and Source Apportionment for VOCs During the Ozone Pollution Episodes and Non-ozone Pollution Periods in Qingdao	JIA Zhi-hai, GU Yao, KONG Cui-li, <i>et al.</i>	(1962)
Characteristics of O ₃ Production in the Western Suburb of Hefei in Summer Based on the Observation of Total Peroxy Radical	YU Hui, WEI Na-na, XU Xue-zhe, <i>et al.</i>	(1974)
Evaluation of Energy Saving and Carbon Reduction Effect of Air Pollution Prevention and Control Action Plan and Innovation Intermediary Effect	LI Shao-lin, WANG Qi-qi	(1985)
Scenario Simulation and Effects Assessment of Co-control on Pollution and Carbon Emission Reduction in Beijing	YU Shan, ZHANG Shuang, ZHANG Zeng-jie, <i>et al.</i>	(1998)
Simulation of Anthropogenic CO ₂ Emissions in the Yangtze River Delta Based on Different Emission Inventories	MA Xin-yi, HUANG Wen-jing, HU Ning, <i>et al.</i>	(2009)
Water Quality Change Trend and Risk Analysis of Wuhan Hanjiang River Water Source	ZHUO Hai-hua, LOU Bao-feng, XU Jie, <i>et al.</i>	(2022)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Resistance Genes in Different Water Sources in the Wuhan Section of the Yangtze River	LI Bo-lin, ZHANG He, WANG Jun, <i>et al.</i>	(2032)
Occurrence Characteristics, Sources, and Toxicity Risk Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Typical Rivers of Northern Shaanxi Mining Area, China	WU Xi-jun, DONG Ying, ZHAO Jian, <i>et al.</i>	(2040)
Spatio-temporal Characteristics of Organic Aggregates and the Driving Factors in Typical Lakes	XIE Gui-juan, GONG Yi, ZHU Fu-cheng, <i>et al.</i>	(2052)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Microplastics in Water of Different Functional Parks in Guilin	LI Pei-zhao, WU Li, HUANG Fei-fei, <i>et al.</i>	(2062)
Environmental Driving Factors and Assessment on the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae of Six Inflow Rivers in Yangtze River Basin	ZHANG Jing, HU Yu-xin, HU Sheng, <i>et al.</i>	(2072)
Influence and Driving of Environmental Heterogeneity on the Epilithic Diatom Community in Xiangxi River, a Tributary of the Three Gorges Reservoir Area	JI Lu-lu, ZHAO Lu, OUYANG Tian, <i>et al.</i>	(2083)
Characteristics of Phytoplankton Communities and Key Impact Factors in Three Types of Lakes in Wuhan	ZHANG Hao-kun, MIN Fen-li, CUI Hui-rong, <i>et al.</i>	(2093)
Effects of Heavy Metal Pollution on the Structure of Microbial Communities in Different Habitats	HE Yi-fan, XIAO Xin-zong, WANG Jia-wen	(2103)
Structure and Distribution Characteristics of Bacterial Community in Boqing River Water	WANG Sen, CHEN Jian-wen, ZHANG Hong, <i>et al.</i>	(2113)
Effects of Microplastic Exposure on the Community Structure and Function of Symbiotic Bacteria in <i>Sinularia microclavata</i>	LIU Min, CHE Wen-xue, ZENG Ying-xu, <i>et al.</i>	(2122)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Emerging Contaminants from Raw Water to Drinking Water in Shanghai	YAN Qi	(2136)
Adsorption Characteristics of Fluoride in Low-Concentration Water by Aluminum and Zirconium-Modified Biochar	LIU Yan-fang, GAO Wei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(2147)
Sorption Characteristics and Site Energy Distribution Theory of Typical Estrogens on Microplastics	LIU Jiang-yan, ZHENG Mi-mi, HU Jia-wu, <i>et al.</i>	(2158)
Selection and Evaluation of Model Pollutants for Performance Assessment of Advanced Treatment of Industrial Park Wastewater by Ozonation	XIN Bo, SHAN Chao, LÜ Lu	(2168)
Identifying Driving Factors and Their Interacting Effects on Sources of Heavy Metal in Farmland Soils with Geodetector and Multi-source Data	ZHANG Hong-ze, CUI Wen-gang, LIU Sui-hua, <i>et al.</i>	(2177)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around the Gangue Heap of Coal Mine Based on APCS-MLR and PMF Receptor Model	MA Jie, SHEN Zhi-jie, ZHANG Ping-ping, <i>et al.</i>	(2192)
Contamination and Probabilistic Health Risk Assessment of Heavy Metals in Agricultural Soils Around a Lead-Zinc Smelter	HUANG Jian-bo, JIANG Deng-deng, WEN Bing, <i>et al.</i>	(2204)
Prediction of PAHs Content in Soil Around Gas Stations in Beijing Based on BP Neural Network	MA Sai-yan, WEI Hai-ying, MA Jin, <i>et al.</i>	(2215)
Spatial-temporal Distribution and Risk Assessment of Quinolones Antibiotics in Soil of Shijiazhuang City	ZHAO Xin-yu, CHEN Hui, ZHAO Bo, <i>et al.</i>	(2223)
Accumulation and Pollution Risks of Heavy Metals in Soils and Agricultural Products from a Typical Black Shale Region with High Geological Background	DENG Shuai, DUAN Jia-hui, NING Mo-huan, <i>et al.</i>	(2234)
Geochemical Characteristics of Cd in Different Parent Soils in Karst Area and Prediction of Cd Content in Maize	DAI Liang-liang, XU Hong-gen, GONG Hao, <i>et al.</i>	(2243)
Pollution Risk and Contribution Analysis of Pb, Cd, and As in Soils and Crops Under Different Land Use Types in Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi	(2252)
Influencing Factors of Cadmium Content in Wheat Grain: A Meta-analysis and Decision Tree Analysis	LIU Na, ZHANG Shao-bin, GUO Xin-yu, <i>et al.</i>	(2265)
Response Characteristics of Soil Organic Carbon Pool and Its Chemical Composition During Secondary Forest Succession in the Loess Plateau	LIU Han-yu, LIU Ying-yi, ZHANG Qi, <i>et al.</i>	(2275)
Effects of Short-Term Nitrogen and Phosphorus Addition on Soil Respiration Components in a Subalpine Grassland of Qilian Mountains	JIANG Yuan, GAN Xiao-ling, CAO Feng-feng, <i>et al.</i>	(2283)
Response of Soil Microbial Diversity to Long-term Enclosure in Degraded Patches of Alpine Meadow in the Source Zone of the Yellow River	YANG Peng-nian, LI Xi-lai, LI Cheng-yi, <i>et al.</i>	(2293)
Diversity and Predictive Functional of <i>Caragana jubata</i> Bacterial Community in Rhizosphere and Non-rhizosphere Soil at Different Altitudes	LI Yuan-yuan, XU Ting-ting, AI Zhe, <i>et al.</i>	(2304)
Effects of Simulated Acid Rain and Nitrogen Deposition on Soil Bacterial Community Structure and Diversity in the Masson Pine Forest	WANG Nan, QIAN Shao-yu, PAN Xiao-cheng, <i>et al.</i>	(2315)
Effects of Phosphogypsum and <i>Suaeda salsa</i> on the Soil Moisture, Salt, and Bacterial Community Structure of Salinized Soil	LIU Yue, YANG Shu-qing, ZHANG Wan-feng, <i>et al.</i>	(2325)
Effects of Combined Application of Fungal Residue and Chemical Fertilizer on Soil Microbial Community Composition and Diversity in Paddy Soil	GENG He-tian, WANG Xu-dong, SHI Si-bo, <i>et al.</i>	(2338)
Effects of Aeration on Surface Water Nutrient Dynamics and Greenhouse Gas Emission in Different Straw Returning Paddy Fields	HU Jin-hui, XUE Li-hong, QIAN Cong, <i>et al.</i>	(2348)
Effects of Exogenous Melatonin Treatment on the Growth and Antioxidant System of Rice Seedlings Under Antimony Stress	CHU Yu-tan, LI Yan, HUANG Yi-zong, <i>et al.</i>	(2356)
Life Cycle Prediction Assessment of Energy Saving and New Energy Vehicles for 2035	FU Pei, LAN Li-bo, CHEN Ying, <i>et al.</i>	(2365)
Distribution, Sources, and Behavioral Characteristics of Microplastics in Farmland Soil	BO Lu-ji, LI Bing, ZHANG Kai, <i>et al.</i>	(2375)
Research Progress on the Remediation Technology of Herbicide Contamination in Agricultural Soils	HU Fang-yu, AN Jing, WANG Bao-yu, <i>et al.</i>	(2384)
Research Progress and Prospect of Herbicide Residue Characteristics in Black Soil Region of China	LI Rui, WU Qiu-mei, ZHAO Gui-mei, <i>et al.</i>	(2395)