

黄陂湖浮游生物群落结构及影响因素*

孙彩涓¹, 张明珠¹, 陈玉鹏¹, 张鹏辉¹, 周博涵², 田胜尼¹

1. 安徽农业大学生命科学学院, 安徽合肥 230036
2. 安徽大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230601

摘要: 为阐明黄陂湖浮游生物群落的结构特征及其与环境因子的关系, 于 2024 年在黄陂湖湿地设置 15 个采样点按季度开展 4 次浮游生物调查, 分析浮游生物种类组成与环境因子的相关性, 结合冗余分析 (RDA) 和 Pearson 相关性分析, 深入探讨浮游生物群落结构和环境因子的关系。4 个季节共鉴定浮游植物 8 门 84 属 200 种, 其中硅藻门占比最高 (33.5%), 绿藻门其次 (26.0%)。浮游植物密度季节变化表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季, 主要优势种包括简单舟形藻 (*Navicula simplex*)、科曼小环藻 (*Cyclotella comensis*) 和小席藻 (*Phormidium tenue*) 等。浮游动物共鉴定出 17 科 34 属 59 种, 以轮虫类为主 (62.7%)。浮游动物密度季节分布为夏季 > 冬季 > 春季 > 秋季, 主要优势种为针簇多针轮虫 (*Polyarthra trigla*)、跨立小剑水蚤 (*Microcyclops varicans*) 和脆弱象鼻溞 (*Bosmina fatalis*)。浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数平均值为 2.06, Pielou 均匀度指数平均值为 0.71, Margalef 丰富度指数平均值为 3.45, 经综合评估可知黄陂湖物种丰富度较高、群落结构较复杂, 总体表现为轻-中度污染、一般级别水质。RDA 和相关分析表明, 浮游植物群落主要受水温、化学需氧量和总磷影响, 而浮游动物群落则与营养盐、溶解氧和水温相关性较强。

关键词: 黄陂湖; 浮游生物; 群落结构; 环境因子; 相关性分析

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 2097-0137(2026)01-0116-08

Structure of the plankton community in Huangpi Lake and its influencing factors

SUN Caijuan¹, ZHANG Mingzhu¹, CHEN Yupeng¹, ZHANG Penghui¹, ZHOU Bohan², TIAN Shengni¹

1. College of Life Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2. School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China

Abstract: This study aimed to investigate the structural characteristics of the plankton community in Huangpi Lake and their relationships with environmental factors. This study conducted quarterly plankton surveys at 15 sampling sites in a lake wetland area during 2024. The correlations between plankton species composition and environmental variables were examined using redundancy analysis (RDA) and Pearson correlation analysis to gain deeper insight into the community-environment interactions. Across the four seasons, a total of 200 phytoplankton species from 8 phyla and 84 genera were identified. Diatoms represented the most abundant phylum (33.5%), followed by green algae (26.0%). Phytoplankton density exhibited seasonal variation in the order: summer > spring > autumn > winter. The dominant phytoplankton species included *Navicula simplex*, *Cyclotella comensis*, and

* 收稿日期: 2025-08-08

录用日期: 2025-09-09

网络首发日期: 2025-10-23

基金项目: 安徽黄陂湖省级重要湿地监测 (2024ANNFZ00020)

作者简介: 孙彩涓 (2001 年生), 女; 研究方向: 水域生态学;

E-mail: 2741422923@stu.ahau.edu.cn

通信作者: 田胜尼 (1971 年生), 男; 研究方向: 植物生态学;

E-mail: tiansn@ahau.edu.cn

增强出版



ZR20250167

全文阅读



ZR20250167

Phormidium tenue. A total of 59 zooplankton species belonging to 17 families and 34 genera were recorded, with rotifers comprising the dominant group (62.7%). Zooplankton density was highest in summer, followed by winter, spring, and autumn. The predominant zooplankton species were *Polyarthra trigla*, *Microcyclops varicans*, and *Bosmina fatalis*. The mean Shannon-Wiener diversity index for phytoplankton was 2.06, the Pielou evenness index was 0.71, and the Margalef richness index was 3.45. Integrated assessment indicated that Huangpi Lake exhibits high species richness, a complex community structure, and generally light to moderate pollution levels, reflecting an intermediate water quality status. RDA and correlation analyses revealed that the phytoplankton community was primarily influenced by water temperature, chemical oxygen demand and total phosphorus. The zooplankton community showed strong correlations with nutrient concentrations, dissolved oxygen, and water temperature.

Key words: Huangpi Lake; plankton; community structure; environmental factor; correlation analysis

浮游生物(包括浮游植物和浮游动物)是湖泊生态系统的重要组成部分(赵明辉等,2011),在维持水生生态平衡中发挥重要作用(王雅雯等,2022)。浮游植物作为水生态系统主要的初级生产者(王占金等,2025),在整个生态系统的物质循环、信息传递和能量流动方面扮演着重要角色,并维护着生态系统结构和功能的稳定(孟洋洋等,2024)。浮游动物是位于食物链前端的消费者(杜彩丽等,2019),既能够调控浮游植物群落结构,又能影响鱼类等高等水生动物的种群动态(孙庆怡等,2025),是水生态平衡的重要调节者。浮游生物具有繁殖周期短、环境响应快,对水质变化有高敏感性等特征(Lyu et al., 2025),被广泛用作评估水环境生态健康的指示生物(彭健渝等,2024)。探究浮游生物对环境因子变化响应规律,能够指导湖泊保护与资源的可持续利用。

黄陂湖位于安徽省合肥市庐江县城东南(王雅洁等,2024),是典型的浅水型淡水湖泊,该湖主要接纳县河、黄泥河、瓦洋河、失曹河、马坝河5条入湖河流,其中马坝河汇入北湖,其余河流均汇入南湖。近年来,随着流域内社会经济快速发展和人类活动日益频繁(管佳佳,2021),污染物的排放、水利工程建设等人类活动干扰加剧,导致湖泊生态系统承受的压力持续增加。主要表现为湖区面积减少、水质下降和生物多样性降低等,并对鱼类及其他水生生物的生存和繁衍构成潜在威胁。

相关研究主要集中于长江流域及其他水系(卢思泽等,2025),郭旭冬等(2025)研究发现水温和总氮浓度是影响浮游植物群落组成的重要环境因子,而氨氮浓度是驱动浮游动物群落组成变化的关键因子。林峰等(2025)对运城盐湖浮游生物群落结构及多样性的季节差异进行研究,发现浮游生物群落结构及多样性与水温(WT)、盐度、各类氮、pH、化

学需氧量显著相关。翁辰施等(2025)研究发现水温和营养盐浓度是影响流清河湾春、夏季浮游生物优势种的主要因素,影响秋季浮游生物优势种的主要驱动力是温度、盐度及营养盐。目前针对黄陂湖浮游生物的系统研究相对匮乏。本研究基于野外采样调查,分析黄陂湖浮游生物的种类组成、密度分布、优势种特征及其与水质指标的关系,并对黄陂湖的水环境状况进行评估。研究结果不仅有助于揭示黄陂湖浮游生物群落结构特征及其环境影响机制,更为黄陂湖湿地生态系统的保护与可持续利用提供了重要的基础数据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况和采样点布设

黄陂湖湿地处于中纬度地带,属亚热带湿润季风气候。黄陂湖流域总面积为590.00 km²,属巢湖水系裕溪河支流西河上游,湖区总水面积23.73 km²,多年平均降水量达到1 272.80 mm。根据黄陂湖的地理形态、水文条件,分别于2024年3月(春季)、7月(夏季)、10月(秋季)、12月(冬季)采集湖区15个样点处的表层水(水面下0~0.5 m),测定环境因子,完成浮游生物群落结构分析,采样点分布如图1所示,对H2(失曹河)、H3(瓦洋河)、H5(黄泥河)及H9(县河)4条主要入湖河流进行样品采集,其余采样点位于湖区内。

1.2 水质采样与分析方法

水温(WT)、pH、溶解氧(DO)用多参数水质分析仪测定,用塞氏黑白盘在现场测定透明度(SD),总磷(TP)采用钼酸铵分光光度法(GB/T11893—1989);总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法(GB11894—89);氨氮(NH₄⁺-N)采用纳氏试剂分光光度法(HJ535—2009);化学需氧量(COD_{Mn})依据酸性高锰酸钾滴定法(GB11892—89);叶绿素

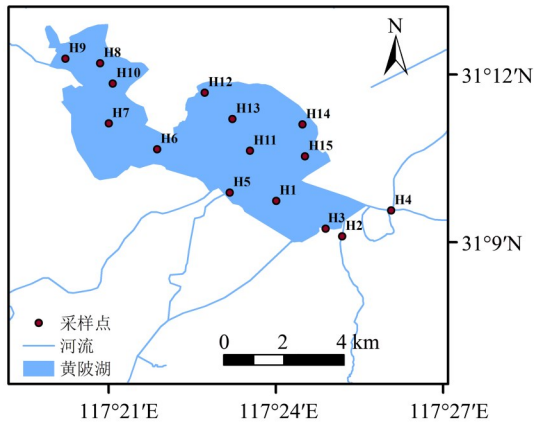


图1 黄陂湖湿地采样点位图

Fig. 1 Map of sampling points in Huangpi Lake wetland

(Chl *a*)通过分光光度法(SL88—2012)测定,方法均符合《水和废水监测分析方法》规范(陈航等, 2025)。

1.3 浮游生物采集与测定方法

1.3.1 浮游生物的采集 浮游植物定量样品用采水器采集 1 L 水样,现场加入 10 mL 鲁哥氏液固定样品,经过 48 h 静置沉淀浓缩至 30 mL 用于定量分析浮游植物(张驹等, 2024)。浮游动物采集枝角类和桡足类定量样品时使用 25 号浮游生物网(网孔直径为 0.064 mm)过滤,定容至 30 mL,向滤液中加入甲醛溶液($\varphi=30\% \sim 40\%$)固定(金星等, 2025)。轮虫类计数使用浮游植物定量样品。

1.3.2 浮游生物的测定 取 0.1 mL 浮游植物样品,注入 0.1 mL 浮游生物计数框,在 400 倍光学显微镜下进行种类鉴定和计数。枝角类和桡足类每次吸取 5 mL,注入 5 mL 浮游生物计数框,在 40 倍光学显微镜下计数全部样品。轮虫吸取 1 mL 浮游植物样品,注入 1 mL 浮游生物计数框,100 倍光学显微镜下全片计数。浮游植物种类鉴定参照《中国常见淡水浮游藻类图谱》(翁建中等, 2010)、《中国内陆水域常见藻类图谱》(邓坚, 2012)和《淡水浮游生物图谱》(韩茂森, 1980)等,浮游动物种类鉴定参照《中国动物志》(蒋燮治等, 1979)。

1.4 浮游生物多样性计算和评价

1.4.1 浮游植物的细胞密度 浮游植物的细胞密度 N_1 (cells/L)为

$$N_1 = (A/A_c) \times (n_1/V) \times (V_a/V_0) \times 1000,$$

式中 A 为计数框面积, mm^2 ; A_c 为计数面积, mm^2 ; n_1 为浮游植物细胞数, cells; V 为计数框容积, mL; V_a 为浓缩后的试样体积, mL; V_0 为浓缩前的样品体积, mL。

1.4.2 浮游动物的密度 浮游动物密度 N_2 (ind./L)为

$$N_2 = (n_2/V_1) \times (V_2/V_3),$$

式中 n_2 为计数所得个体数, ind.; V_1 为计数体积, mL;

V_2 为浓缩样体积, mL; V_3 为采样量, L。

1.4.3 多样性指数 生物群落特征分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H' , 群落物种数量和个体在种群中所占比例的综合反映)、Pielou 均匀度指数(J' , 反映一个群落或环境中所有物种的分布)和 Margalef 丰富度指数(D' , 同一地点或相似环境下的群落物种比较)(Volvenko, 2014), 计算公式分别为

$$H' = -\sum P_i \ln P_i, \quad J' = H' / \ln S, \quad D' = (S - 1) / \ln N,$$

式中 P_i 为所有物种中具体某一种的个体数; N 为群落中个体总数, S 为所有样品中的种属总数。

1.4.4 优势种 物种优势度 Y 的计算公式为

$$Y = P_i \times f_i,$$

式中 f_i 为第 i 种浮游植物或浮游动物在样点的出现频率, 当 $Y > 0.02$ 时, 定为优势种。

1.4.5 水质生物学评价标准 本研究采用 α 多样性指数对黄陂湖水质进行分级评价, 该方法主要参考王婷等(2025)建立的水质生物学评价体系。

1.5 统计分析

运用 SPSS 27 软件对环境因子数据进行统计分析, 通过 Pearson 相关性检验分析浮游生物密度及物种数与水质理化因子之间的相关关系, 用相关系数 R 来指示相关性的强弱, 在 0.05 水平上评估相关检验的显著性。采用 Canoco 对生物与环境因子数据进行去趋势对应分析(DCA, detrended correspondence analysis), 在单峰响应值梯度 $SD < 3$ 时采用冗余分析(RDA, redundancy analysis)分析, $SD > 4$ 时采用典范对应分析(CCA, canonical correspondence analysis)(刘鹏等, 2023), $3 < SD < 4$ 时 2 种分析方法均可, 判定显著影响浮游生物的环境因子。

2 结果与分析

2.1 水环境理化因子分布特征

监测期间, pH 显示该水体整体偏弱碱性, 无明显季节性差异(增强出版:附表 1)。TN 水平总体偏高, 其中 WT、 COD_{Mn} 、Chl. *a* 和电导率季节间差异显著($P < 0.01$), DO、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 季节间差异不显著。叶绿素在夏季最高为 22.58 $\mu\text{g/L}$, 其他季节较低, 说明夏季有藻华发生风险。

2.2 浮游生物群落分布特征

2.2.1 浮游生物种类组成及优势种 4 个季节共检测出浮游植物 8 门 84 属 200 种, 从群落组成来看(图 2), 硅藻门物种数量最多(67 种, 33.5%), 其次是绿藻门(52 种, 26.0%), 形成了典型的硅藻-绿藻型群落结构。季节动态分析表明, 物种丰富度在夏季最高(119 种), 冬季最低(72 种), 其中硅藻门在春冬季占优势(15.5%), 绿藻门在夏秋季占优势

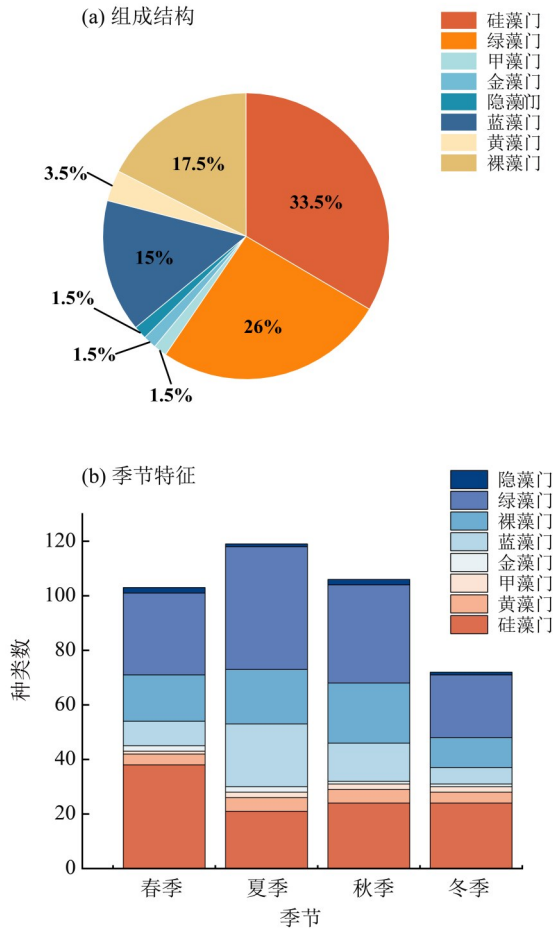


图2 黄陂湖浮游植物物种组成结构及季节特征图
Fig. 2 Phytoplankton community composition and seasonal dynamics in Huangpi Lake

(20.2%), 而隐藻门全年仅有 3 种, 表明群落的季节性波动明显。根据优势度指数分析, 共鉴定出 9 种浮游植物为优势种(增强出版:附表 2), 春季浮游植物优势种主要是硅藻门的科曼小环藻(*Cyclotella comensis*)和绿藻门的小球藻(*Chlorella spp.*), 夏季优势种主要是绿藻门的椭圆卵囊藻(*Oocystis elliptica*), 秋季优势种主要是隐藻门的卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*), 冬季优势种以硅藻门为主, 优势种结构特征上发生了由硅藻门到绿藻-隐藻门的转变。

4 个季节共检出浮游动物 17 科 34 属 59 种, 在已鉴定的 59 种中(图 3), 轮虫类占 62.7%, 枝角类占 23.7%, 桡足类占 13.6%。此外, 轮虫类在夏季达到峰值为 32 种, 占 62.7%, 在冬季降至最低 17 种, 秋季次之有 28 种, 表明轮虫类优势群落的时间丰富度变化明显。浮游动物优势种共 19 种, 其中轮虫 5 种, 桡足 7 种, 枝角 7 种, 季节动态分析春季优势种数高于其余季节优势种(增强出版:附表 3), 针簇多肢轮虫为 4 个季节共有优势种。此外, 不同季节间跨立小剑水蚤(*Microcyclops varicans*)和透明温剑水蚤(*Thermocyclops hyalinus*)

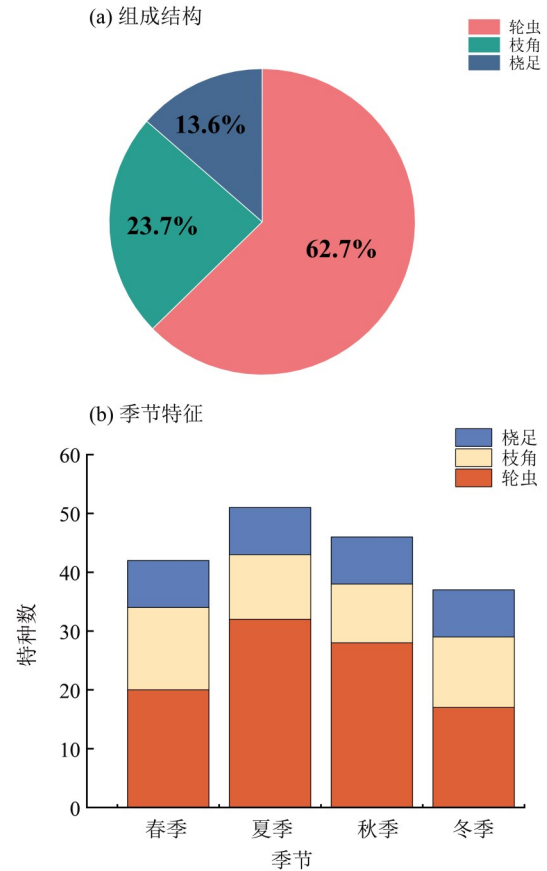


图3 黄陂湖浮游动物物种组成结构及季节特征图
Fig. 3 Zooplankton community composition and seasonal dynamics in Huangpi Lake

作为优势度最高的物种交替出现。

2.2.2 浮游生物密度 浮游植物细胞丰度变化范围春季为 $0.35 \times 10^6 \sim 2.56 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 1.12×10^6 cells/L; 夏季为 $0.11 \times 10^6 \sim 4.26 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 1.49×10^6 cells/L; 秋季为 $0.16 \times 10^6 \sim 2.4 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 0.74×10^6 cells/L; 冬季为 $0.07 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6$ cells/L, 平均值为 1.05×10^6 cells/L。在时间变化上, 浮游植物的细胞平均密度依次为表现为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季(图 4)。统计分析表明, 浮游植物密度无显著的季节差异性($P=0.12$)。

浮游动物密度在 $6.6 \times 10^3 \sim 3.69 \times 10^5$ ind./L 范围内变化, 3 大类群全年平均密度 2.91×10^4 ind./L, 其中轮虫平均密度显著高于其他类群, 为 5.95×10^4 ind./L。图 5 显示, 浮游动物密度在不同季节差异性显著($P < 0.01$), 总体表现为夏季 > 冬季 > 春季 > 秋季; 空间分布上, 以 H13 年均密度最高(4.89×10^4 ind./L), 约为 H2 (5.4×10^3 ind./L) 的 9 倍, 具有明显的空间异质性。

2.3 浮游植物群落多样性指数与水质评价

黄陂湖浮游植物的 α 多样性指数季节变化如图 6 所示。 J' 在春季、夏季和秋季间无显著性差异, 冬季与其他 3 个季节有显著差异; H' 在夏季、秋季和冬

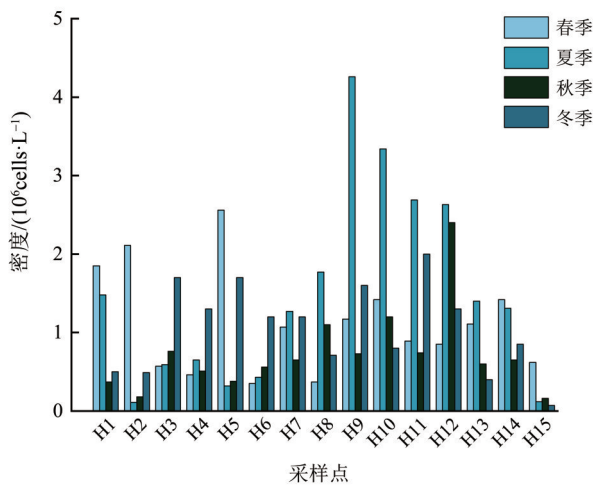


图 4 4 个季节各采样点浮游植物密度

Fig. 4 The density of phytoplankton at each sampling point across the four seasons

季之间存在显著差异,春夏季和春秋季节 2 个季节无显著性差异; D' 在秋冬季节无显著性差异,春季与夏季间有显著差异。根据方法部分所述标准,黄陂湖 H' 均值为 2.06,指示水体处于 β -中污状态; D' 均值为 3.45,反映水体污染等级为无污; J' 平均值为 0.71,对

应的污染等级为轻度污染。综合上述多样性指数评价,黄陂湖水质为轻-中度污染型。

2.4 浮游生物群落结构与环境因子相关性分析

黄陂湖浮游生物密度和物种数与水环境因子进行 Pearson 相关性分析,结果表明浮游植物密度与 $WT(r=0.282 P<0.05)$ 、 $COD_{Mn}(r=0.285 P<0.05)$ 和 $TP(r=0.291 P<0.05)$ 均呈显著正相关,浮游植物总物种数与 $WT(r=0.423 P<0.01)$ 、 $TP(r=0.407 P<0.01)$ 呈显著正相关。

基于浮游植物优势种进行 DCA 分析,以识别影响浮游植物群落结构的主要环境驱动因素。DCA 结果显示,第 1 个排序轴中梯度最大值 <3 ,故选用 RDA 进行排序分析。第 1 轴与第 2 轴特征值分别为 0.241 和 0.099 (增强出版:附图 1),可解释 34.0% 的物种信息,RDA 分析得出 $COD_{Mn}(F=5.0, P=0.018)$ 、 $WT(F=7.0, P=0.002)$ 和 $TP(F=6.6, P=0.018)$ 是影响浮游植物群落组成差异的主要环境驱动因子,它们对群落组成变异的解释度分别为 5.9%、10.8% 和 9.2%,双头菱形藻、小席藻和 WT 的相关性最强。

相关性分析结果显示,黄陂湖水环境因子显著

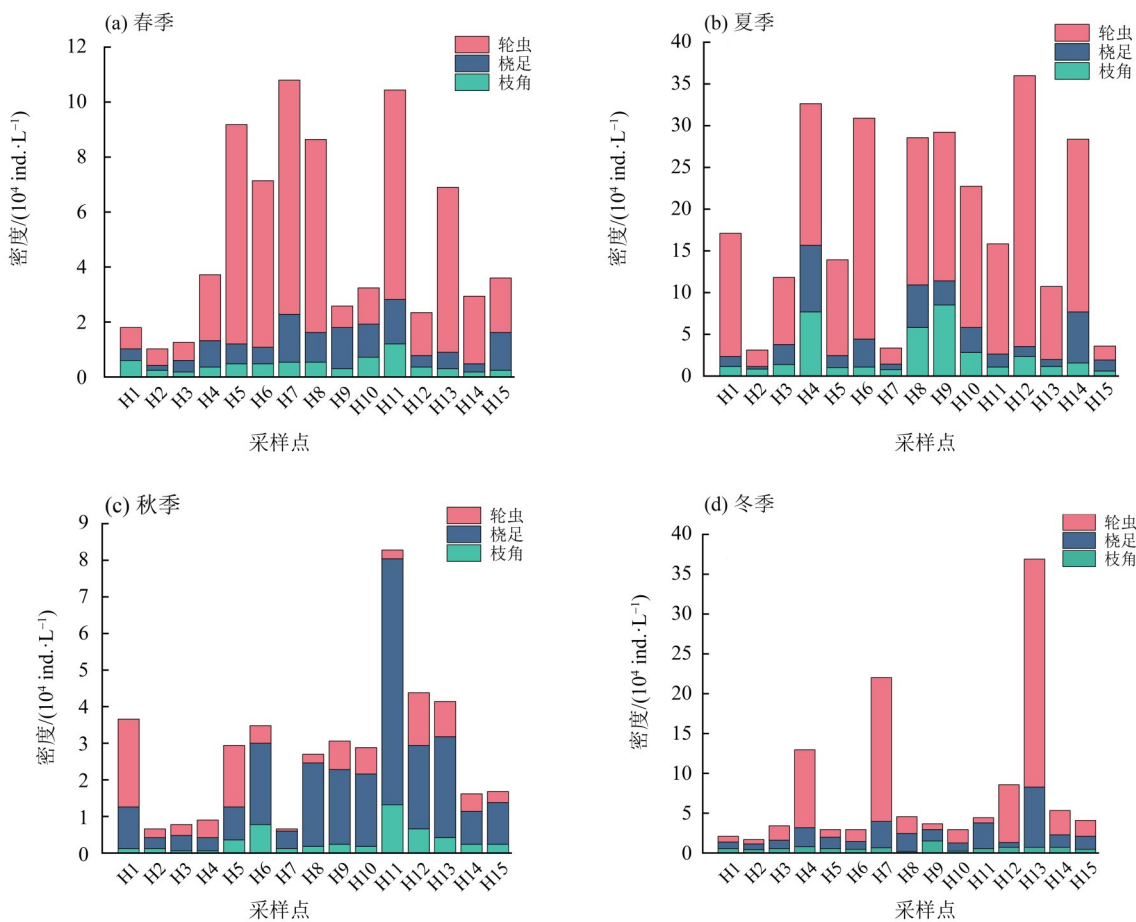
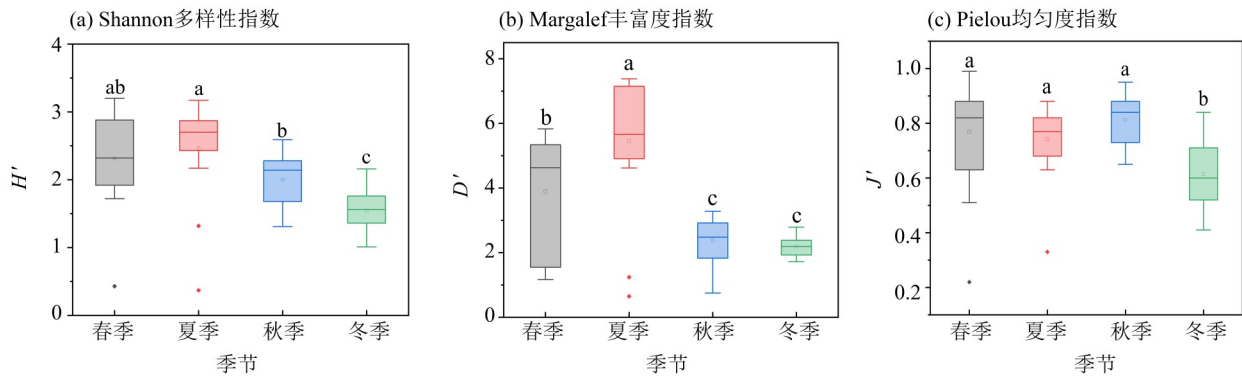


图 5 黄陂湖 4 季浮游动物密度的变化

Fig. 5 Seasonal dynamics of zooplankton density in Huangpi Lake across four seasons

图6 黄陂湖浮游植物 α 多样性指数的变化Fig. 6 Variations in phytoplankton α -diversity indices in Huangpi Lake

影响浮游动物群落特征,SD的升高会导致浮游动物密度下降($P<0.01$),浮游动物密度与pH、 COD_{Mn} 、TP和Chl *a*呈正相关($P<0.05$);DO对浮游动物物种数具有正向影响($P<0.05$)。

基于19种浮游动物优势种数据进行DCA分析,结果显示第一轴长度小于3,因此采用RDA探究浮游动物优势种群落分布与环境因子的关系。前两轴的特征值分别为0.476 8和0.000 8(增强出版:附图2),累计解释率为47.76%,表明轴1是解释物种与环境关系的主要维度。浮游动物优势种主要集中于第2、3象限,与pH($F=1.9, P=0.134$)、Chl. *a* ($F=0.05, P=0.882$)、 COD_{Mn} ($F=0.08, P=0.756$)、TP ($F=2.7, P=0.1$)、TN ($F=0.1, P=0.68$)和WT ($F=0.8, P=0.33$)呈显著正相关。通过物种箭头分布分析发现,广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)和筒弧象鼻溞(*Bosmina coregoni*)空间分布高度重叠,表明二者生态位相似性较高,跨立小剑水蚤(*Microcyclops varicans*)和Chl *a*呈显著正相关,广布中剑水蚤和pH有较强的正相关性。综合以上分析结果表明,水温、DO含量和营养盐含量是调控浮游动物群落空间分布格局的关键环境驱动因子。

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构特征与环境因子的关系

本研究共鉴定浮游植物8门84属200种,群落类型呈现硅藻-绿藻型,硅藻和绿藻在清洁或轻度污染水体中具有生态优势(Descey et al., 2012),这与青土湖(王丽娟等, 2025)、巴里坤盐湖(史楠楠等, 2023)和察尔汗盐湖等健康水体的浮游植物群落特征一致。

黄陂湖浮游植物的群落结构季节间变化显著,冬春季以针杆藻属、小环藻属等贫-中营养型的硅藻-绿藻组合为主。硅藻细胞壁具有特殊的瓣片结构与硅质属性,对机体具有较好的机械保护作用,使其对低温更具有较强的耐受性(巴桑等, 2017),

这也是硅藻类群在低温季节中物种丰富的主要原因,说明冬春季的水体仍维持在相对贫营养状态。进入夏秋季节后,群落逐渐转变为绿藻-蓝藻型,温度和营养需求较高的绿藻和蓝藻优势地位增加。这种演替趋势在多数湖泊中均较常见,体现了黄陂湖浮游植物群落结构的动态响应能力,也反映出其生态系统的相对健康与完整性。

浮游植物群落的组成与动态变化显著受到水体理化性质的调控,如营养盐、温度、溶解氧等,在不同类型水体中其影响作用存在显著差异(陈红等, 2019)。本研究通过Pearson相关性分析和RDA分析结果显示,WT、 COD_{Mn} 和TP是影响黄陂湖浮游植物群落结构的主要影响因素。WT是影响黄陂湖浮游植物细胞丰度的关键因素(欧奕君等, 2024),在一定范围内温度的升高可加速光合作用,促进浮游植物生长繁殖。 COD_{Mn} 反映水体中有机及无机可氧化物质,其升高可通过加快营养盐再生促进藻类繁殖,但当有机污染负荷过重时会抑制其生长。氮磷作为浮游植物生长的营养物质,会影响浮游植物群落数量和组成(杨广杏等, 1998)。调查期间,黄陂湖氮磷比平均值为29.06,较高的氮磷比表明黄陂湖水生态系统处于典型的磷限制状态(Tett et al., 1985)。在这种状态下,水体较高的氮水平为浮游植物提供了充足的氮源,而磷的相对匮乏则成为浮游植物群落的关键限制因子。因此,加强对外源磷输入的管控,是维持黄陂湖生态系统稳定性与健康发展的关键措施。

此外,黄陂湖浮游植物群落结构特征明显不同于富营养化的藻型湖泊。如吴转璋等(2023)的研究表明,巢湖以蓝藻-绿藻型为主,其中绿藻门占总种类数的47.5%,蓝藻门占31.1%,硅藻门占14.8%;相比之下,黄陂湖作为浅水型湖泊,其硅藻门为主要优势类群,绿藻门次之,呈现出不同于富营养化湖泊的群落组成格局,进一步说明其水体的稳定健康。空间分布,H14点位浮游植物密度最低,这可能

与该采样断面的地理环境有关,而 H9 断面水体处于开阔水域,北岸主要以种植农作物为主,施肥过程中化肥、农药等污染源流入黄陂湖,营养丰富,导致浮游植物密度相对较高(白海锋等,2022)。

3.2 浮游动物群落结构特征与环境因子的关系

本研究共鉴定浮游动物 2 门 34 属 59 种,夏季浮游动物密度显著升高,群落结构以轮虫类为主。其中,水温升高是驱动夏季浮游动物变化的主要因素(Hu et al., 2019)。一方面,高温可显著增强浮游动物的生长代谢,尤其有利于轮虫这类小型浮游动物的快速繁殖(鞠永富等,2024),使其在夏季占据优势地位。另一方面,轮虫对高温的适应能力强,而枝角类和桡足类则对高温更为敏感,生长和繁殖易受到抑制(孙梦凡等,2024),导致其丰度下降,轮虫因竞争压力减弱而获得生态位优势。此外,研究还发现多刺秀体溞和没尾无柄轮虫等物种与水温呈显著正相关,进一步说明温度是影响群落结构的重要驱动因素。与此同时,轮虫对扰动的耐受性强,在浅水湖泊夏季扰动频繁的背景下表现出更强的结构适应性,进一步巩固其优势地位。

除 WT 外,DO 和 TN 也是影响浮游动物群落组成的重要环境因子。适宜的 DO 含量有利于浮游动物的生长繁殖(张晟曼等,2022),不同类群对 DO 的响应存在差异,其中桡足类等大型浮游动物对 DO 变化更为敏感(Intxausti et al., 2012),本研究中也表现出与 DO 含量的高度相关性。营养盐方面,夏季水体中 TN 含量升高,为浮游动物提供了充足的食物基础,如有机碎屑、细菌及小型藻类,促进了浮游动物的繁殖。在一定范围内,浮游动物丰度随总氮含量的升高而上升,反映出营养盐对其群落结构的正向调控作用(陈琪等,2022)。

南岸周边主要以水产养殖为主,养殖过程中残饵

和鱼类粪便等有机废弃物,通过微生物降解作用释放大量的氮和磷,成为水体富营养化的重要外源输入。故应控制向黄陂湖鱼类饵料的投放,将黄陂湖农田尾水及水产养殖尾水的处理工作纳入环境整治规划,避免水体富营养化给渔业及旅游业带来不利影响。

3.3 基于理化指标和生物多样性的水质综合评价

水体理化指标和多样性指数的变化,能够在一定程度上指示水体的生态健康状况(李雪,2025)。单因子水质评价法是当前我国水质评价的主要方法之一,参照地表水环境质量标准(GB3838-2002),DO、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 在 4 个季节均符合 I~III 类水质标准, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在夏季符合 II 类水质标准,TP 在夏季符合 II 类水质标准,表明黄陂湖水质整体属于 III 类水。 H' 、 J' 、 D' 指数值越大,说明其群落结构越复杂(林小植等,2023)。 H' 均值为 2.06,参照标准为 β -中污染, D' 均值为 3.45,参照标准为无污染, J' 均值为 0.71,参照标准为轻度污染。根据水质污染状况及浮游生物多样性指数综合评价结果,黄陂湖湿地水质状况呈轻-中污染型、一般级别水质,在夏季暴发蓝藻的风险较高。

4 结 论

本研究基于 2024 年 4 个季节对黄陂湖湿地 15 个采样点的现场监测和实验室分析,揭示了黄陂湖浮游植物与浮游动物群落结构特征及其环境驱动机制。结果表明,黄陂湖浮游植物以硅藻门与绿藻门为优势(群落类型为硅藻-绿藻型),浮游动物以轮虫类为主导,优势种季节分布差异明显,浮游生物物种丰富度在夏季达到峰值。 COD_{Mn} 、WT 和 TP 是影响浮游植物群落的主要环境因子,驱动浮游动物群落演替的主要环境因子有 WT、DO 含量和营养盐。根据 H' 、 D' 和 J' 评估可知黄陂湖物种丰富度较高,总体表现为轻-中度污染、一般级别水质。

参考文献:

- 巴桑,杨欣兰,黄香,等,2017. 拉萨河下游春、夏季浮游植物群落特征与水质评价[J]. 高原科学研究,1(1):25-38.
- 白海锋,王怡睿,宋进喜,等,2022. 渭河陕西段浮游动物群落结构时空特征及其驱动因子[J]. 生态学杂志,41(8):1602-1610.
- 陈航,关现,曹樱樱,等,2025. 浙江省安地水库浮游植物群落结构特征及生态健康评价[J]. 水生生物学报,49(5):149-160.
- 陈红,刘清,潘建雄,等,2019. 灞河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,39(1):173-184.
- 陈琪,路建强,2022. 闽海湖浮游动物群落特征及其与水环境因子的关系[J]. 水电能源科学,40(10):70-73+30.
- 邓坚,2012. 中国内陆水域常见藻类图谱[M]. 武汉:长江出版社.
- 杜彩丽,杨丽,赵诣,等,2019. 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,40(10):4513-4522.
- 管佳佳,2021. 黄陂湖流域水环境现状问题及防治措施分析[J]. 江淮水利科技,(3):40-41.
- 郭旭东,王雨春,曾艳,等,2025. 长江干流南京段浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学研究,38(7):1418-1429.
- 韩茂森,1980. 淡水浮游生物图谱[M]. 北京:农业出版社.
- 蒋燮治,堵南山,1979. 中国动物志(节肢动物门甲壳纲淡水枝角类)[M]. 北京:科学出版社.

- 金星,刘绍俊,代鑫,等,2025.抚仙湖浮游植物群落结构年度特征及分析[J].昆明理工大学学报(自然科学版),50(1):158-169.
- 鞠永富,于婷,鞠鑫,等,2024.小兴凯湖浮游动物丰度及其水环境影响因子[J].湿地科学,22(5):798-807.
- 李雪,2025.武夷山市东溪水库浮游植物群落结构季节动态及与水环境因子的关系[J/OL].地球与环境.(2025-07-09)[2025-08-09].<https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=DZDQ20250709001&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- 林峰,冯民权,李鸿彬,2025.运城盐湖浮游生物群落结构及多样性的季节差异[J/OL].环境科学与技术.(2025-07-03)[2025-08-09].<https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=FJKS20250701002&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ>.
- 林小植,胡苑玲,王瑞旋,等,2023.广东韩江潮州段浮游植物群落结构特征与水质评价[J].水生态学杂志,44(4):52-60.
- 刘鹏,何奕析,仲波,等,2023.城市化对小微湿地浮游生物群落结构的影响[J].应用与环境生物学报,29(6):1346-1355.
- 卢思泽,李辰林,周志国,等,2025.黄河河南段浮游动物群落结构及影响因素[J].应用生态学报,36(7):2230-2238.
- 孟洋洋,王丽雅,朱睿,等,2024.青藏高原湖泊浮游植物群落结构特征与驱动因素[J].湖泊科学,37(2):415-428.
- 欧奕君,江志兵,徐满秋,等,2024.甬江口浮游植物时空分布特征及驱动因子[J].应用生态学报,35(5):1369-1378.
- 彭健渝,何瑞琪,段雨池,等,2024.长江朝天门至涪陵段夏季浮游生物群落结构特征及水质评价[J].重庆师范大学学报(自然科学版),41(6):76-85.
- 史楠楠,王智超,程勇,等,2023.新疆巴里坤盐湖浮游生物群落特征分析[J].水产学杂志,36(6):78-86.
- 孙梦凡,姜玲俐,姚钰萍,等,2024.夏季持续高温对升金湖浮游动物群落结构的影响[J/OL].水生态学杂志.(2024-09-05)[2025-08-09].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=9ZIGoIWNudKuW94J0rx0Q6_dj3xURhKI2ZCu_cV5xu2DyMGxehI4pPuUK7x-DHTNILDAQxX2KxAVP_v71YokPjpmXRnopBUSXcpHkrGnEzCPA5G93XgrgSrGjawIJ1gzB2xrUiuz32U4h8X_qjifscfLdpFxAxILun7tRVmjoNfHSEAHp9r-jA==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- 孙庆怡,曹天正,彭文启,等,2025.生态补水背景下永定河浮游生物群落结构及其影响因素研究[J].环境科学学报,45(2):488-496.
- 王丽娟,杜岩岩,张世虎,等,2025.青土湖湿地浮游生物群落结构及其与环境因子的关系[J].湿地科学,23(2):341-351.
- 王婷,丁玲,郑磊夫,2025.长江口浮游生物群落结构特征及水质评价[J].水产科技情报,52(3):173-179.
- 王雅洁,赵林,陈明明,等,2024.安徽黄陂湖湿地生态系统服务功能价值评估[J].江西科学,42(6):1242-1247.
- 王雅雯,李迎鹤,张博,等,2022.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,43(6):3106-3117.
- 王占金,李玲玲,张文静,等,2025.黄河口海域浮游植物群落结构演变趋势及影响因素[J].环境污染与防治,47(2):114-122.
- 翁辰施,李志祥,王英哲,等,2025.流清河湾浮游生物群落对近海河口环境变化的不同响应及其关键驱动因素[J].渔业科学进展,46(2):76-92.
- 翁建中,徐恒省,2010.中国常见淡水浮游藻类图谱[M].上海:上海科学技术出版社.
- 吴转璋,朱超,唐萍,等,2023.巢湖湖区浮游植物群落与水质因子相关性分析[J].生物学杂志,40(1):79-84.
- 杨广杏,李适宇,李耀初,1998.里湖浮游藻类与氮、磷营养盐的相关性[J].中山大学学报(自然科学版),37(S2):208-211.
- 张晟曼,何培民,刘炜,等,2022.上海城市河流浮游动物季节变化及其与环境因子的关系[J].水生态学杂志,43(5):42-48.
- 张驹,袁震,王厚云,等,2024.大房郢水库浮游生物群落结构变化与环境因子关系研究[J].安徽农业大学学报,51(1):102-109.
- 赵明辉,黄洪辉,齐占会,等,2011.南海北部浮游植物的时空异质性研究[J].中山大学学报(自然科学版),50(3):130-133.
- DESCY J P, LEITAO M, EVERBECQ E, et al, 2012. Phytoplankton of the River Loire, France: A biodiversity and modelling study[J]. J Plankton Res, 34(2): 120-135.
- HU B, HU X, NIE X, et al, 2019. Seasonal and inter-annual community structure characteristics of zooplankton driven by water environment factors in a sub-lake of Lake Poyang, China[J]. PeerJ, 7: e7590.
- INTXAUSTI L, VILLATE F, URIARTE I, et al, 2012. Size-related response of zooplankton to hydroclimatic variability and water-quality in an organically polluted estuary of the Basque coast (Bay of Biscay)[J]. J Mar Syst, 94: 87-96.
- LYU S, HU M, ZHU Y, et al, 2025. Response mechanisms of eukaryotic plankton community structure to complex environmental conditions in semi-arid river basins, China [J]. J Environ Manag, 376: 124527.
- TETT P, DROOP M R, HEANEY S I, 1985. The redfield ratio and phytoplankton growth rate[J]. J Mar Biol Ass, 65(2): 487-504.
- VOLVENKO I V, 2014. General patterns of spatial distribution of the integral characteristics of benthic macrofauna of the northwestern Pacific and biological structure of ocean[J]. Open J Ecol, 4(4): 196-213.