

白马湖浮游动物生态位及其生态分化影响因子

范林洁^{1,2}, 胡晓东¹, 陈文猛¹, 王春美¹

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;

2. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要:探究环境因子对浮游动物的影响,可为白马湖水生态修复与水环境治理提供基础数据。2018年在白马湖6个典型区域设定11个采样点,按月度采集湖泊水样,鉴定浮游动物种类,测定水体理化指标,解析浮游动物主要优势种的生态位,分析其生态相似性;采用K-优势度曲线法对浮游动物种(类)群进行排序,计算其生态位宽度值(B_i),并通过冗余分析(RDA)阐述其生态位分化状况。结果显示,白马湖浮游动物共出现20个优势种(类)群,春季(3–5月)和冬季(12–2月)浮游动物的多样性要高于夏季(6–8月)和秋季(9–11月);K-优势度曲线表明,夏季整体趋势与全年趋势最为接近。依据浮游动物优势种(类)的生态位宽度值,可分为广生态位、中生态位和窄生态位三大种(类)群。广生态位种(类)群如针簇多肢轮虫、桡足幼体、无节幼体等在各个季节均出现,且在大部分站点都有较高的个体百分比,生态位宽度值全年均较高,表明这些种类的浮游动物生态适应能力较强;窄生态位种(类)群如懒轮虫、等刺异尾轮虫、褐砂壳虫等对环境的适应性较差,其丰度相对较小,且一年中分布不均匀,或只在个别季节少量出现。RDA分析表明,总氮、氨氮、pH和溶解氧对浮游动物时空生态分化有直接影响,高锰酸盐和总磷的影响次之。

关键词:浮游动物;生态位宽度;环境因子;白马湖

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)05-0059-08

浮游动物是湖泊生态系统的重要组成部分,作为次级生产者,在湖泊生态系统的物质循环、能量流动及信息传递等过程中发挥了重要作用(郭沛涌等,2003;戴媛媛等,2018);浮游动物也是水体中较敏感的环境指示生物,其生物量、种群结构以及优势种分布能直接或者间接反映水体的污染程度,表征湖泊水库的营养状况。生态位是指生态系统中一个种群在时间和空间上所占据的位置及与其他种群之间的相互作用(郑挺等,2014);该理论在研究生物群落结构与功能、生物多样性、种间关系、群落演替及种群进化等方面具有重要作用(岑竞仪等,2014;张皓等,2016;梁淼等,2018)。

目前,国内外对水生态系统浮游动物研究多集中于特定时间段的生态调查,包括物种组成、群落结构、密度、多样性指数等(王丽等,2016;MacLeod et al,2018);也有学者用来指示水环境的变化并应用于湖泊、水库的水质状况和健康状态评价(Stamou et al,2019;Yao et al,2020),对浮游动物群落的生态位特征及其生态位分化研究相对较少。郑挺等(2014)

研究了北部湾浮游动物优势种的生态位及分化指数,发现各优势种对环境的适应能力存在差异;侯朝伟等(2020)对烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究发现,生态位重叠指数与物种分布环境位点的重合情况密切相关,广生态位种类之间的生态位重叠程度要高于窄生态位种类与其他种类之间的生态位重叠程度;陈伟峰等(2021)结合非度量多维标度法(nMDS)和典范对应分析(CCA)对生态位重叠和分化进行分析,认为影响头足类分布的最主要因素是悬浮物,其次为叶绿素和盐度,温度和溶氧影响相对较小。本研究通过对白马湖浮游动物主要优势种的生态位研究,探讨浮游动物的生态相似性,分析环境因子对浮游动物的影响,旨在为白马湖水生态修复与水环境治理提供帮助。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

白马湖地处淮河流域下游,是运西湖群中位置最北的一个湖泊,横跨金湖、洪泽、宝应、淮安4县(市)。白马湖面积约108 km²,集水面积约950 km²,湖水依靠地表径流和降雨补给,主要入湖河流有草字河、浔河、花河、永济河和新河,补给系数8.8,年入湖径流量约2.45 亿 m³;湖泊长度18.0 km,最大宽度11.0 km,平均宽度6.0 km,最大水深2.00 m,平均水深0.97 m,蓄水量1.05 亿 m³。

收稿日期:2021-05-12 修回日期:2021-12-22

基金项目:江苏省水利科技项目(2020040,2014038)。

作者简介:范林洁,1997年生,男,硕士研究生,研究方向为湖泊水生态。E-mail:1017093608@qq.com

通信作者:胡晓东,1979年生,男,教授级高级工程师,主要从事河湖生态修复研究。E-mail:huxiaodong1979@sohu.com

1.2 样品采集和分析

在白马湖共设定了 11 个采样点(图 1),分别标记为 bmh-1 至 bmh-11。采样频率为每月 1 次,基本覆盖了白马湖典型区域(渔业资源繁保区、资源保留区、水资源保护区、生态养殖区、生态恢复与净化区、景观娱乐区)。水体理化指标每月监测 1 次,现场使用 YSI EXO 多参数水质监测仪测定水深、水温、浊度、电导率、矿化度、pH、溶解氧和叶绿素 a;水体透明度采用塞氏盘测定;现场使用 5 L 采水器采集湖泊水样,经加酸固定后低温保存,并立即带回实验室内进行高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮浓度的测定。监测方法按照江苏省地方标准 DB32/T 3202-2017《湖泊水生态监测规范》执行。

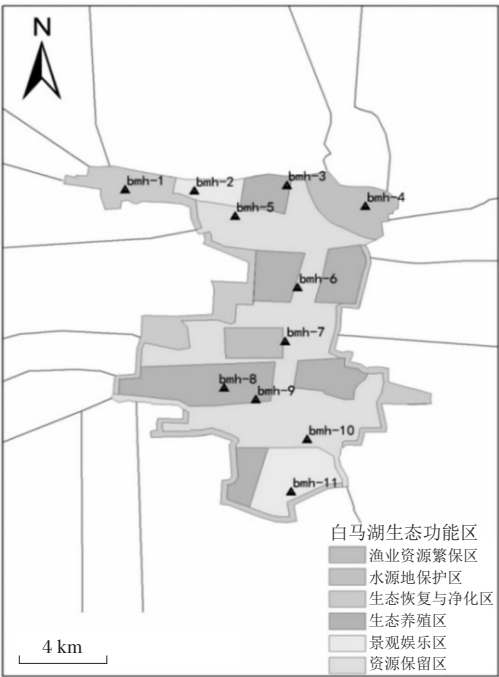


图 1 白马湖生态监测采样点

Fig.1 Location of the ecological monitoring sampling sites in Baima Lake

1.3 数据分析

1.3.1 K-优势度曲线 依据调查中出现物种的数量百分比进行 K-优势度曲线(K-dominant curve)降序排列(李圣法,2018),用图示方法表示依物种降序排列的物种数量累积百分比,计算公式如下:

$$\begin{cases} y_i = \sum_{j=1}^i p_j & (i=1,2,\dots,S) \\ x_i = \lg i \end{cases} \quad (1)$$

式中: y_i 为物种丰度的累积百分比, p_j 为群落中各物种以数量递减顺序排列的第 j 种的数量百分比, S 为群落中的物种数目, x_i 为物种降序排列序号的对数。

1.3.2 生态位宽度 本文采用目前相关研究较为普遍应用的 Levins(1968)生态位宽度进行比较,计算公式如下:

$$B_i = \frac{1}{r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2} \quad (2)$$

式中: B_i 为种 i 的生态位宽度,取值范围为[0,1]; P_{ij} 为种 i 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例; r 为资源总数,本研究为采样点数。

1.3.3 冗余分析 选取浮游动物累积百分比 80% 的优势种(类)群,利用 Canoco 4.5 进行去趋势对应分析(DCA)。当 DCA 分析结果中排序轴梯度最大值小于 3 时,选择 RDA 进一步分析浮游动物与环境因子的关系。

2 结果与分析

2.1 群落季节动态

采用 K-优势度曲线分析白马湖各个季节浮游动物的群落多样性(图 2),得出春季(3-5 月)和冬季(12-2 月)浮游动物的多样性要高于夏季(6-8 月)和秋季(9-11 月),且根据 K-优势度曲线可以发现,夏季整体趋势与全年趋势最为接近。

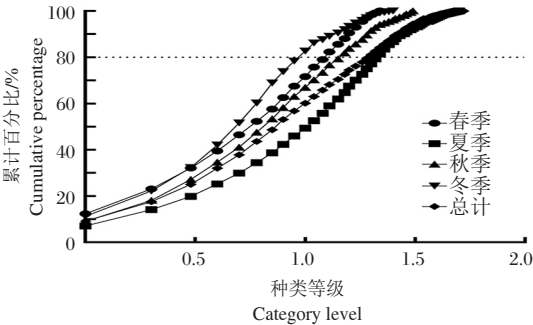


图 2 2018 年白马湖浮游动物 K-优势曲线

Fig.2 K-dominance curve of zooplankton community in Baima Lake in 2018

根据 K-优势度曲线排序所得到的种类排序结果,本次调查选取累积百分比 80% 的优势种(类)群进行生态位分析(Newell et al, 1998; Gilkinson et al, 2005)。排序结果表明,马湖全年浮游动物共出现 20 个优势种(类)群(表 1)。春季共检测出 13 种浮游动物,占总种数的 25.00%;夏季检出 22 种,占 42.30%;秋季有 15 种,占 28.85%;冬季 10 种,占 19.23%。

2.2 生态位宽度

采用 Levins 公式计算得出主要优势种各季节的生态位宽度如图 3 所示。

春季:浮游动物群落中生态位宽度值(B_i)为0.36~0.96,生态位宽度值最大的3个种(类)群依次为侠盗虫(0.96)、无节幼体(0.91)和螺形龟甲轮虫(0.80);此外,针簇多肢轮虫、长三肢轮虫、天鹅长吻虫等优势种(类)群的生态位宽度值也较大。

夏季:浮游动物群落 B_i 为0.48~1.00,生态位宽度值最大的3个种(类)群依次为桡足幼体(1.00)、无节幼体(1.00)、小多肢轮虫(0.93),侠盗虫的生态位宽度依然保持较大的值(0.89),桡足幼体的生态位宽度剧增,而螺形龟甲轮虫的生态位宽度锐减(0.55);此外,针簇多轮虫、微型裸腹蚤、球形砂壳虫、简弧象鼻蚤、长肢秀体蚤的生态位宽度值也较大。

秋季:浮游动物群落 B_i 为0.36~1.00,生态位宽度值最大的3个种(类)群依次为螺形龟甲轮虫(1.00)、侠盗虫(0.96)、桡足幼体(0.90),针簇多肢轮虫的生态位宽度值有明显增大(0.89),微型裸腹蚤的生态位宽度值略有降低(0.55);此外,长筒拟铃壳虫、简弧象鼻蚤、长三肢轮虫的生态位宽度值也较大。

冬季:浮游动物群落 B_i 为0.40~1.00,生态位宽度值最大的3个种(类)群依次为针簇多肢轮虫(1.00)、无节幼体(0.93)、螺形龟甲轮虫(0.91);相比较秋季,桡足幼体生态位宽度有较大降低(0.58);此外,侠盗虫、长筒拟铃壳虫、壶状臂尾轮虫、长三肢轮虫的冬季的生态位宽度值也较大。

2018年白马湖浮游动物种类占比见表1。根据生态位宽度值,可以将浮游动物种群分为3类:第一类是

广生态位种(类)群,其生态位宽度值在0.61~0.99,此类型浮游动物可以再分为2种类型,一种是针簇多肢轮虫、桡足幼体、无节幼体、侠盗虫等种类,在各个季节均出现且在大部分的站点都有较高的个体百分比,生态位宽度值全年均较高;另一种是小多肢轮虫、球形砂壳虫、暗小异尾轮虫等种类,在某些季节大量出现且持续时间长,其全年的生态位宽度也很广。第二类是中生态位种(类)群,其生态位宽度值在0.32~0.58,这一类型的浮游动物只在一年中某些季节丰度较大,且分布相对不均匀,如普通表壳虫只在夏季丰度较大,小单环桡毛虫只在春季丰度较大。第三类是窄生态位种(类)群,生态位宽度值在0.09~0.29;其特点是丰度相对较小,且在一年中分布不均匀,如懒轮虫、等刺异尾轮虫、褐砂壳虫等。

2.3 生态分化

2.3.1 环境因子变化 分析2018年白马湖水质调查报告(图4),可见pH值全年波动较大,为7.93~8.13,水体呈现偏碱性,春季(3月)pH值最低,秋季(9月)最高。溶解氧在夏季、秋季浓度较小,春季、冬季的浓度较大,全年在6.98~12.15 mg/L。总磷浓度全年变化呈增加趋势,为0.03~0.07 mg/L,冬季(2月)浓度最低,在夏季(7~8月)达到峰值。总氮浓度全年波动较小,为0.91~2.04 mg/L。高锰酸盐指数全年变幅较大,为4.38~6.35 mg/L,冬季(12月)浓度最低,夏季(7月)达到全年最大值。氨氮浓度在0.08~0.42 mg/L,全年峰值在夏季(7月),秋季(9月)达到最低值。

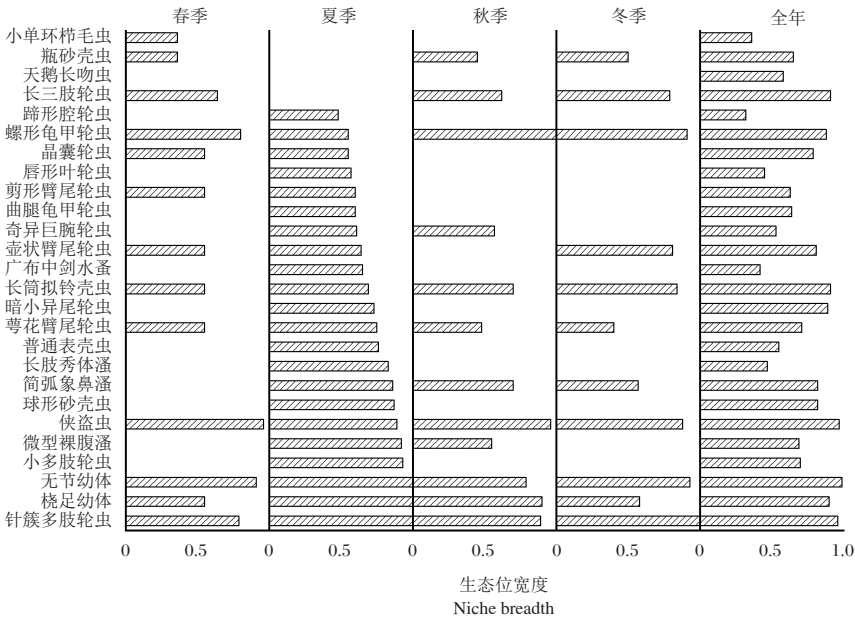


图3 2018年白马湖浮游动物各季节的生态位宽度

Fig.3 Seasonal variation in niche breadth of the dominant zooplankton species collected from Baima Lake in 2018

表 1 2018 年白马湖浮游动物种类占比

Tab.1 Proportion composition of dominant zooplankton species in Baima Lake in 2018

编号	春季		夏季		秋季		冬季		全年	
	种类	占比/%	种类	占比/%	种类	占比/%	种类	占比/%	种类	占比/%
1	无节幼体	12.35	桡足幼体	7.05	桡足幼体	9.06	无节幼体	11.24	无节幼体	9.14
2	侠盗虫	10.70	无节幼体	7.05	侠盗虫	9.06	针簇多肢轮虫	10.95	针簇多肢轮虫	8.41
3	针簇多肢轮虫	9.05	针簇多肢轮虫	5.77	针簇多肢轮虫	9.06	长筒拟铃壳虫	10.09	侠盗虫	7.46
4	桡足幼体	7.41	筒弧象鼻蚤	5.34	无节幼体	7.44	壶状臂尾轮虫	9.80	桡足幼体	7.02
5	螺形龟甲轮虫	7.00	微型裸腹蚤	4.70	筒弧象鼻蚤	6.47	侠盗虫	9.51	螺形龟甲轮虫	5.78
6	长三肢轮虫	5.76	球形砂壳虫	4.49	螺形龟甲轮虫	6.47	螺形龟甲轮虫	8.65	长筒拟铃壳虫	5.78
7	天鹅长吻虫	5.35	小多肢轮虫	4.27	长筒拟铃壳虫	5.83	长三肢轮虫	8.65	长三肢轮虫	5.05
8	壶状臂尾轮虫	4.94	萼花臂尾轮虫	3.63	尖顶砂壳虫	4.85	桡足幼体	4.90	壶状臂尾轮虫	4.46
9	长筒拟铃壳虫	4.94	曲腿龟甲轮虫	3.63	长三肢轮虫	4.85	矩形龟甲轮虫	4.61	筒弧象鼻蚤	3.66
10	剪形臂尾轮虫	4.12	长肢秀体蚤	3.42	微型裸腹蚤	3.88	萼花臂尾轮虫	4.32	萼花臂尾轮虫	3.37
11	晶囊轮虫	4.12	暗小异尾轮虫	3.21	瓶砂壳虫	3.24			微型裸腹蚤	2.85
12	瓶砂壳虫	3.29	晶囊轮虫	3.21	奇异巨腕轮虫	3.24			球形砂壳虫	2.78
13	小单环栉毛虫	3.29	侠盗虫	3.21	球形砂壳虫	3.24			瓶砂壳虫	2.41
14			长筒拟铃壳虫	2.99	萼花臂尾轮虫	2.59			晶囊轮虫	2.27
15			壶状臂尾轮虫	2.78	无柄轮虫	2.59			剪形臂尾轮虫	2.12
16			无柄轮虫	2.78					小多肢轮虫	1.90
17			剪形臂尾轮虫	2.56					暗小异尾轮虫	1.68
18			螺形龟甲轮虫	2.56					尖顶砂壳虫	1.68
19			广布中剑水蚤	2.35					无柄轮虫	1.68
20			普通表壳虫	2.14					广布中剑水蚤	1.61
21			奇异巨腕轮虫	2.14						
22			蹄形腔轮虫	2.14						
	合计	82.32		81.42		81.87		82.72		81.11

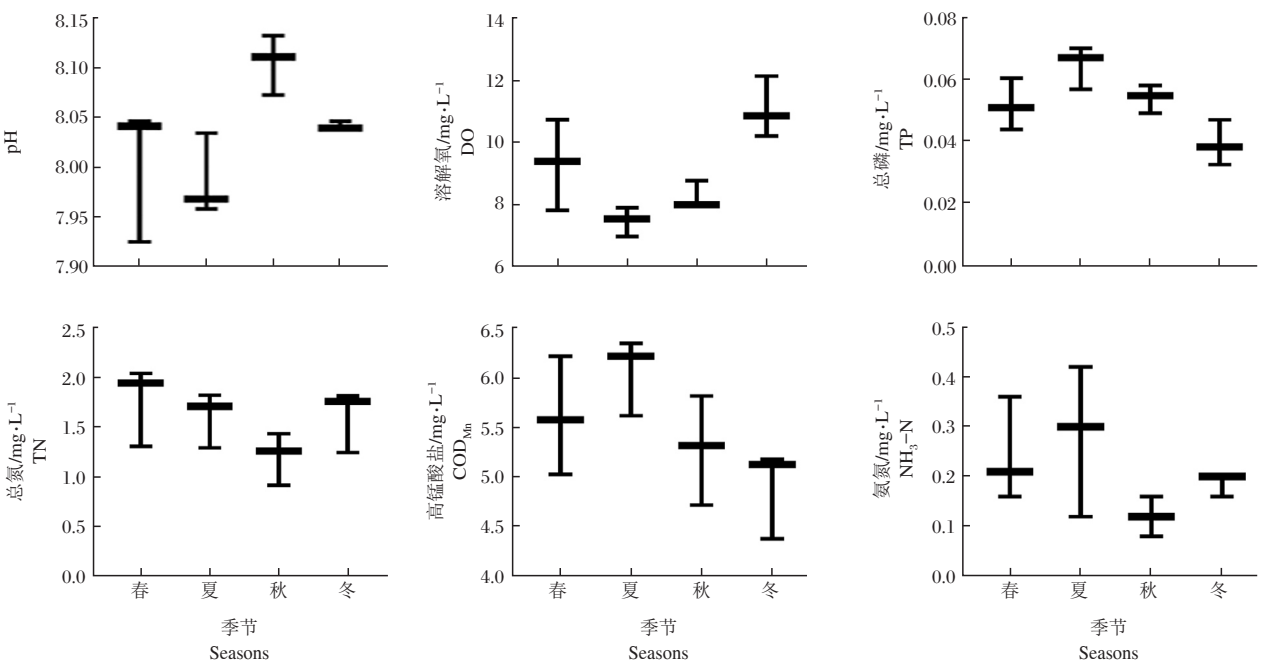


图 4 2018 年白马湖水水质指标变化

Fig.4 Seasonal changes in water quality parameters in Baima Lake in 2018

2.3.2 RDA 相关性 白马湖浮游动物种类与代码设定见表2。选取白马湖全年浮游动物累积百分比80%的优势种(类)群进行DCA分析。结果表明,最长梯度长度为1.09,小于3,因此选取RDA分析方法。通过对白马湖浮游动物种(类)群和pH、溶解氧、总磷、总氮、高锰酸盐和氨氮6种环境因子进行冗余(RDA)分析,排序轴1和轴2的特征值分别为0.321和0.184,物种-环境相关系数分别为0.893和0.852,相关性较高,且对物种-环境变异的累积解释拟含量达72.9%,表明排序结果较为可信(表3)。排序轴1与溶解氧的正相关性最大,相关性系数为0.8706;与总磷的负相关性最大,相关性系数为-0.6714。排序轴2与氨氮的正相关性最大,相关性系数为0.6952;与pH值的负相关性最大,相关性系数为-0.4231(表4)。

表2 RDA排序的浮游动物代码
Tab.2 Codes of zooplankton species
for RDA ordination

代码	种类	代码	种类
1	无节幼体	11	微型裸腹蚤
2	针簇多肢轮虫	12	球形砂壳虫
3	侠盗虫	13	瓶砂壳虫
4	桡足幼体	14	晶囊轮虫
5	螺形龟甲轮虫	15	剪形臂尾轮虫
6	长筒拟铃壳虫	16	小多肢轮虫
7	长三肢轮虫	17	暗小异尾轮虫
8	壶状臂尾轮虫	18	尖顶砂壳虫
9	筒弧象鼻蚤	19	无柄轮虫
10	萼花臂尾轮虫	20	广布中剑水蚤

表3 白马湖浮游动物与环境因子RDA统计结果
Tab.3 RDA analysis of zooplankton and
environmental factors in Baima Lake

轴	特征值	种类-环境相 关系数	物种变异 累积/%	物种-环境变异 累积/%
1	0.321	0.893	32.1	46.3
2	0.184	0.852	50.5	72.9
3	0.131	0.896	63.6	91.9
4	0.025	0.764	66.1	95.5

表4 排序轴与环境因子的相关关系
Tab.4 Correlation coefficients between the sorting
axes and environmental factors

指标	轴1	轴2
pH值	-0.1483	-0.4231
溶解氧(DO)	0.8706	-0.0993
总磷(TP)	-0.6714	0.2592
总氮(TN)	0.4543	0.5482
高锰酸盐指数(COD _{Mn})	-0.4503	0.5556
氨氮(NH ₃ -N)	0.0561	0.6952

由RDA排序(图5)可见,球形砂壳虫、小多肢轮虫和暗小异尾轮虫等种类受TP、COD_{Mn}的影响较大,具有明显的正相关关系;无节幼体、晶囊轮虫和剪形臂尾轮虫等种类与NH₃-N具有明显的正相关关系,可以得出水体中NH₃-N浓度是限制其生长的主要因素;螺形龟甲轮虫、长筒拟铃壳虫和长三肢轮虫等种类则是主要受TN、DO的影响,可见这些浮游动物适合在高氮、喜氧的环境中生长;而湖泊水体碱性越强,越适合侠盗虫、瓶砂壳虫的生长发育。

RDA排序图不仅可全面阐述物种和环境因子间的关系,还能反映各个物种在生活习性上的差异(陈昕等,2020)。无节幼体、晶囊轮虫和剪形臂尾轮虫在排序图中位置比较接近,表明其对生态环境的适应能力接近;而球形砂壳虫和瓶砂壳虫虽然都属于砂壳虫类,但二者在排序图位置较远,说明二者对生态环境的变化感知差异较大。

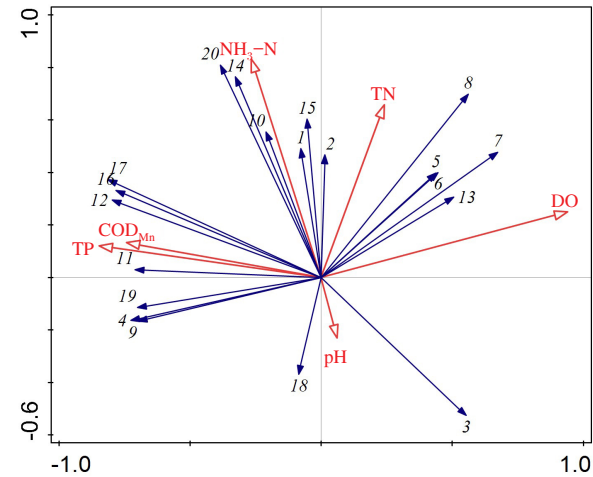


图5 浮游动物物种RDA排序

Fig.5 RDA ordination diagram of zooplankton species

3 讨论

3.1 白马湖浮游动物的空间分布

生态位是种(类)群对多个环境因子生态适应的综合结果,为一个区域内物种的空间分布提供了简单、可靠的生态解释(Hutchinson, 1957)。广生态位种(类)群如针簇多肢轮虫、桡足幼体、无节幼体等在各个季节均出现,且在大部分站点都有较高的个体百分比,生态位宽度值全年均较高,表明这些种类浮游动物的生态适应能力较强。窄生态位种(类)群如懒轮虫、等刺异尾轮虫、褐砂壳虫等对环境的适应性较差,其丰度相对较小,且一年中分布不均匀,或只在个别季节少量出现。从全年生态位可见,宽度较大的主要是轮虫类浮游动物。白马湖渔业较发达,

湖中有大量的鲢、鳙等滤食性鱼类存在(刘小维等, 2020), 这是造成轮虫数量占优势的重要原因。滤食性鱼类对浮游动物的捕食具有明显的选择性, 即鱼类在同等能耗条件下会优先捕食个体更大的浮游动物, 以便获取更多能量用于支撑自身的生命活动(Yang et al, 2010)。当滤食性鱼类密度较高时, 大型浮游动物就会承受更大的捕食压力, 致使其群落结构朝向小型化发展, 轮虫等小个体浮游动物逐渐演变成优势种群(Korponai et al, 1997; 赵帅营和韩博平, 2006; 杨亮杰等, 2014)。

除此之外, 还发现浮游动物种(类)群生态位宽度与季节变化有着一定的联系, 能够体现浮游动物丰度随季节的动态变化(郑挺等, 2014)。夏季浮游动物丰度种(类)群生态位宽度说明其丰度在夏季最大, 主要是因为水温在夏季偏高, 溶解氧浓度较低, 高锰酸盐、氮磷浓度较高, 为浮游动物生长提供了良好的营养环境。通过生态位丰度可以发现, 秋冬季节浮游动物丰度较低, 其原因主要是两季的气温和水温快速下降, 加上白马湖秋冬季节风浪大, 造成了浮游植物的数量变少, 湖泊水体的透明度增加以及氮磷、高锰酸盐等营养物质减少, 致使其丰度大幅度下跌。以萼花臂尾轮虫为例, 在白马湖全年都出现, 但在春季在少数几个站点出现, 并且丰度相对较低, 而在夏季出现的站点明显增多, 生态位宽度及丰度增加, 随之在秋冬季出现频率和丰度骤减。

3.2 白马湖浮游动物生态分化的影响因素

从RDA冗余分析结果可见, 排序轴1与轴2均与总氮浓度、氨氮浓度呈正相关关系, 无节幼体、晶囊轮虫、剪形臂尾轮虫和螺形龟甲轮虫等种类浮游动物的生长与总氮、氨氮的浓度密切相关。氮、磷营养元素一般通过影响浮游植物的密度来间接影响浮游动物生长, 在一定范围内, 营养元素浓度的提高能促进浮游植物的生长, 从而为浮游动物提供充足的食物(Kagalou et al, 2010)。排序轴1、轴2均与pH值呈负相关, 因而白马湖浮游动物在夏季pH较低时, 其生物量达到峰值。白马湖水体偏碱性, 而碱性水体环境更有利于浮游植物进行光合作用, 浮游植物光合作用的提高为浮游动物提供了充足饵料, 从而有利于浮游动物生长繁殖(林海等, 2019); 此外, 排序轴1与溶解氧呈明显的正相关关系, 尤其与轮虫呈现显著正相关关系, 与刘一等(2010)研究得出的水体溶解氧不足时, 会大大限制轮虫生长繁殖的结论一致。

浮游动物在不同资源维度下发生生态位分化可

以通过排序来表现。排序也叫梯度分析(Gradient analysis), 是将样方或物种排列在一定的空间, 使得排序轴能够反映一定的生态梯度, 从而能够解释物种分布与环境因子的关系(Austin et al, 1985)。本研究从环境因子的角度, 通过RDA排序展示种(类)群分布与生态环境的关系, 很好地解释了浮游动物在不同资源维度(环境因子)上的生态位分化。从RDA排序图可以得到总氮、氨氮、pH和溶解氧对浮游动物时空生态位分化有直接影响, 而高锰酸盐、总磷的影响次之。

参考文献

- 岑竞仪, 吕淑果, 张华, 等, 2014. 海南澄迈湾浮游植物群落生态位研究[J]. 海洋环境科学, 33(5): 709-713.
- 陈伟峰, 叶深, 余玥, 等, 2021. 浙南近海头足类种类组成及生态位分析[J]. 水生生物学报, 45(2): 428-435.
- 陈昕, 李喆, 唐富江, 等, 2020. 连环湖两水体浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 水生态学杂志, 41(6): 89-97.
- 戴媛媛, 侯纯强, 杨森, 等, 2018. 天津海域人工鱼礁区浮游动物群落结构及其与环境因子的相关性研究[J]. 海洋湖沼通报, (5): 163-170.
- 郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等, 2003. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 23(5): 892-900.
- 侯朝伟, 孙西艳, 刘永亮, 等, 2020. 烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究[J]. 生态学报, 40(16): 5822-5833.
- 李圣法, 2008. 以数量生物量比较曲线评价东海鱼类群落的状况[J]. 中国水产科学, 15(1): 136-144.
- 梁淼, 姜倩, 孙丽艳, 等, 2018. 曹妃甸近岸海域大、中型浮游动物优势种空间生态位研究[J]. 生态环境学报, 27(7): 1241-1250.
- 林海, 王源, 李冰, 2019. 北京市奶水河浮游动物群落结构与水质评价[J]. 生态学报, 39(20): 7583-7591.
- 刘小维, 杨洋, 殷稼雯, 等, 2020. 高宝湖区4个湖泊浮游植物和底栖动物群落特征和生物评价[J]. 环境监控与预警, 12(6): 52-58.
- 刘一, 禹娜, 冯德祥, 等, 2010. 上海市中心城区河道浮游动物群落结构的周年变化[J]. 生态学杂志, 29(2): 370-376.
- 王丽, 王保栋, 陈求稳, 等, 2016. 三峡三期蓄水后长江口海域浮游动物群落特征及影响因子[J]. 生态学报, 36(9): 2505-2512.
- 杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等, 2014. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 水生生物学报, 38(4): 720-728.
- 张皓, 宋昌民, 闫启仑, 等, 2016. 辽河口春、夏季浮游动物空间生态位的比较[J]. 海洋环境科学, 35(6): 920-925.
- 赵帅营, 韩博平, 2006. 基于个体大小的后生浮游动物群落结构分析——以广东星湖为例[J]. 生态学报, 26(8): 2646-2654.
- 郑挺, 林元烧, 曹文清, 等, 2014. 北部湾北部生态系统结构与功能——浮游动物空间生态位及其分化[J]. 生态学报, 34

- (13):3635–3649.
- Austin M P, 1985. Continuum Concept, Ordination Methods, and Niche Theory[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1):39–61.
- Gilkinson K, Gordonjr D, Macisaac K, et al, 2005. Immediate impacts and recovery trajectories of macrofaunal communities following hydraulic clam dredging on Banquereau, eastern Canada[J]. *Ices Journal of Marine Science*, 62(5): 925–947.
- Hutchinson G E, 1957. Cold Spring Harbor Symposium of Quantitative Biology[J]. Concluding remarks, 22: 415–427.
- Kagalou I I, Kosiori A, Leonardos I D, 2010. Assessing the zooplankton community and environmental factors in a Mediterranean wetland[J/OL]. *Environmental Monitoring & Assessment*, DOI:10.1007/s10661-009-1245-6
- Korponai J, Mátyás K, Paulovits G, et al, 1997. The effect of different fish communities on the cladoceran plankton assemblages of the Kis-Balaton Reservoir, Hungary[J]. *Hydrobiologia*, 360:211–221.
- Levins R, 1968. Evolution in changing environments: some theoretical explorations[M]. Princeton: Princeton University Press.
- Macleod J, Keller W, Paterson A M, 2018. Crustacean zooplankton in lakes of the far north of Ontario, Canada[J]. *Polar Biology*, 41(6):1–11.
- Newell R C, Seiderer L J, Hitchcock D R, 1998. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the seabed[J]. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 36:127–178.
- Stamou G, Katsiapi M, Moustaka-Gouni M, et al, 2019. Trophic state assessment based on zooplankton communities in Mediterranean lakes[J]. *Hydrobiologia*, 884(1):83–103.
- Yang Y, Huang X, Liu, et al, 2010. Effects of fish stocking on the zooplankton community structure in a shallow lake in China[J]. *Fisheries Management & Ecology*, 12(2):81–89.
- Yao C, He T R, Xu Y Y, et al, 2020. Mercury bioaccumulation in zooplankton and its relationship with eutrophication in the waters in the karst region of Guizhou Province, south-west China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8):8596–8610.

(责任编辑 万月华)

Zooplankton Ecological Niche and Factors Affecting Ecological Differentiation in Baima Lake

FAN Lin-jie^{1,2}, HU Xiao-dong¹, CHEN Wen-meng¹, WANG Chun-mei¹

(1. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, P.R. China;

2. Hohai University, Nanjing 210098, P.R. China)

Abstract: In this study, we analyzed the ecological niche of the dominant zooplankton species in Baima Lake, located in the lower Huaihe River. In addition, the ecological similarity of zooplankton and the impact of environmental factors on the zooplankton was explored. The aim was to provide basic data supporting the restoration of water ecology and management of the water environment in Baima Lake. In 2018, water samples at 11 sampling sites representing 6 areas of Baima Lake were collected monthly for identification of zooplankton species and determination of physicochemical parameters of the water body. The niche width (B_i) of dominant zooplankton species (groups) in the lake was calculated by the K-dominance curve method, and niche differentiation was studied by redundancy analysis (RDA). A total of 20 dominant species (groups) were detected in the lake. The diversity of zooplankton in spring (March–May) and winter (December–February) was higher than in summer (June–August) and autumn (September–November). The K-dominance curve shows that the overall trend in summer was similar to that for the whole year. According to the niche width of the dominant species (groups) in the lake, the zooplankton in Baima Lake was divided into three types: a wide niche group, a medium niche group and a narrow niche group. The wide niche species (groups), including *Polyarthra trigla*, Copepods and Nauplius, appeared in all seasons, had a high percentage of individuals at most sites and the niche width values were high throughout the year, indicating that these species are highly adaptable. Narrow niche species (groups) including *Rotaria tardigrada*, *Trichocerca similis* and *Diffugia avellana*, have low adaptability. Their abundance was relatively low, and their distribution was uneven throughout the year, some appearing only in one season. RDA analysis shows that total nitrogen, ammonia nitrogen, pH and dissolved oxygen have the strongest effect on the spatial and temporal ecological differentiation of zooplankton, followed by the potassium permanganate chemical oxygen demand (COD_{Mn}) and total phosphorus.

Key words: zooplankton ; niche width ; environmental factors ; Baima Lake