

太湖流域平水期水生态功能区

浮游动物群落结构特征

严航 夏霆 陈宇飞 姚春雨 王浩¹

(南京工业大学 城市建设学院, 江苏 南京 211816)

【摘要】: 为了解太湖流域平水期水生态功能分区浮游动物群落结构特征, 于 2018 年 5 月对太湖流域 201 个采样点进行了浮游动物群落调查和水质监测。结果表明, 浮游动物共检出 122 种, 隶属于 3 类 49 属, 以轮虫类和枝角类种类数居多。I、II、III 和 IV 级区都以轮虫类丰度居多。Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)、Pielou 指数(E)均在 I 级区最大, 分别为 2.28、0.84 和 0.47。共检出 19 种优势种, 其中富营养指示物种占 60%。II 级区的优势种最多, 其中螺形龟甲轮虫无脊变种和角突臂尾轮虫是最优势种, 影响 II 级区的水质。通过典范对应分析(CCA)可知, 浮游动物优势种群落结构与 TP、TN 显著正相关。通过 Pearson 分析可知 I 级区、II 级区、III 级区和 IV 级区物种都与 TP 显著正相关, 随着分区等级的提升, 与 TP 的相关性显著提升, 并且与 COD_{Mn} 和 TN 相关性也显著提升。水体浮游动物种群结构的变化以及水体富营养化的状态主导因子是 P。综上, 2018 年太湖流域平水期处于富营养状态, 水质状态为中污染, 太湖流域藻华治理应以限制磷排放、降低 TP 含量为主。浮游动物群落结构影响了生态功能区的划分。

【关键词】: 太湖流域 生态功能分区 浮游动物 相关性分析 典范对应分析

【中图分类号】: TV213.4;X835 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)11-2641-10

太湖作为一个典型的平原蝶形浅水湖泊, 蓝藻爆发以及水体富营养化一直是其严重的环境问题^[1]。浮游动物是生态系统的重要类群, 对能量流动和物质循环以及维持水域生态系统的稳定具有重要作用, 浮游动物对水体环境中各种因素的变化相当敏感, 环境条件的改变会影响其种类及数量的变化, 对环境变化起指示作用^[2]。近年来对于太湖流域某一区域浮游动物的群落变化来反映太湖流域环境变化已开展了大量的研究, 杨佳等^[2]基于太湖梅梁湾 1997~2017 年逐月连续监测数据, 研究了浮游动物群落结构的长期变化特征, 研究表明浮游动物与 pH、电导率、水深、悬浮物质、水温、叶绿素 a 和氮元素密切相关, 浮游动物的群落特征变化能够反映太湖梅梁湾的富营养化水平。代培等^[3]于 2014 年 7 月~2015 年 6 月对五里湖浮游生物开展了逐月调查, 研究表明浮游生物物种数变化和多样性指数变化能够反映五里湖的水质情况和富营养化水平。水生态功能分区自 1987 年美国首次提出以来, 一直成为世界各国水质管理的重要手段, 太湖流域水生态功能分区最早在“十一五”提出, 高永年等^[4,5]根据太湖流域生态种群的差异性初步划分了三级分区。2016 年江苏省基于“十二五”期间研究成果, 结合“十一五”三级分区的划分标准, 遵循水质与水生态保护并重、生态保护与生态修复并举等原则将江苏太湖流域划分为 49 个水生态功能分区, 以流域水文、水质、水生态健康状态、物种分布等流域水生态系统空间特征差异为基础, 在保证小流域完整性的同时, 兼顾行政区域的完整性^[6], 并按照生态功能多参数评价等方法对 49 个分区的生态功能与服务功能进行判定, 将 49 个分区(其中陆域 43 个、水域 6 个)划分为健全水生态功能区(I 级区)、较健全水生态功能区(II 级区)、一般水生态功能区(III 级区)、较低水生态功能区(IV 级区)4 个等级,

¹作者简介: 严航(1994~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制与生态环境修复. E-mail:427711322@qq.com;夏霆, E-mail:xiating@njtech.edu.cn

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07208-004)

其中 I 级区 5 个、II 级区 10 个、III 级区 20 个、IV 级区 14 个, 实施差别化的流域产业结构调整与准入政策, 对 I 级区、II 级区重点实施生态保护, III 级区、IV 级区重点实施生态修复^[7]。目前, 针对太湖流域某一区域或者某一湖库的浮游生物研究十分广泛, 但对于整个太湖流域水生态功能分区浮游动物群落变化的研究很少。

本文分析了浮游动物群落结构、空间差异、水质以及环境因子之间的关系, 以寻找 49 个分区浮游动物群落结构的变化规律, 为太湖流域生态环境保护以及流域水生态系统健康提供数据依据。以便为推进生态文明建设, 改善流域水环境质量提出良好建议。

1 材料和方法

1.1 采样点布设与分区

本研究共布设样点 201 个, 分布于 49 个水生态功能分区之内(采样位置参考下图 1)。布设原则是围绕太湖流域几个重要湖库如太湖、阳澄湖、长荡湖、尚湖、傀儡湖、长漾、北麻漾、澄湖和四大水库设立 43 个点位, 围绕太湖流域几大水系如出湖水系、太湖、宜溧河水系和运河水系设立 158 个河流点位。途经江苏高淳县、镇江市、句容市、常州市区、溧阳市、金坛市、无锡市区、宜兴市、江阴市、苏州市区、吴江市、昆山市、太仓市、常熟市、张家港市等地区, 涵盖了整个太湖流域, 几乎全在江苏境内。



图 1 太湖流域采样点位分区图

1.2 样品采集和处理方法

根据水文学定义, 平水期一般指水位处于河流年均水位位置的时期, 大约在 3~5 月和 9~11 月。即春季和秋季, 因此本文于 2018 年 5 月采集样本。采样现场水温、溶解氧等均由美国 YSI-556 型多参数水质仪^[8]测定, 采集浮游动物轮虫类方法则是^[9]用 5L 采水器自表层而下每隔 0.5m 采集水样, 混合均匀后取 1L 水, 用 1.5% 鲁哥氏碘液固定, 静置 48h 后浓缩至 50mL, 装入 50mL 采样瓶内。采集枝角类与桡足类则是用 5L 采水器自表层而下每隔 0.5m 采集水样 20L, 混合后经 13 号浮游动物过滤网(孔径 112 μm)过滤, 用 4% 的福尔马林溶液固定, 同样静置 48h 后浓缩至 50mL, 装入 50mL 采样瓶内^[10]。浮游动物室内分析方法参照文献^[11], 鉴定时从瓶中取出 1mL, 使用光学显微镜(OlympusBH-I 型)对其进行计数与种类鉴定。种类鉴定主要参照《中国淡水轮虫志》^[12]、Rotatoria^[13]、《淡水浮游生物研究方法》^[14]、《中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类》^[15]和《中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类》^[16]。采集后的水样的各水质理化因子(TN、TP 等)按照《水和废水监测分析方法(第四版)》^[17]方法测定。

1.3 数据分析方法

1.3.1 丰度

浮游动物丰度 (Abundance) 用每升水体出现的浮游动物个体数表示 (ind(个)/L)。

浮游动物丰度计算公式如下：

$$N = \frac{V_s \times n}{V \times V_a}$$

式中：N 为浮游动物丰度 (个/L)； V_s 为水样浓缩后体积 (ml)；V 为采样体积 (L)； V_a 为计数样品体积 (ml)；n 为计数所得个体数 (个)。

1.3.2 优势度

浮游动物的优势种以优势度 Y 来表示：

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

式中：N 为所有种类总个体数； n_i 为第 i 种的个体数； f_i 为出现频率。以 $Y \geq 0.02$ 的种为优势种。在本次调查中，某些浮游幼虫的数量较多，当其优势度 $Y \geq 0.02$ 时，认定该浮游幼虫为优势类群，与优势种合称为优势种^[18]。

1.3.3 物种多样性指数评价

一般生物计数以后，会采用 Shannon-Wiener (H)、Simpson (D)、Pielou (E) 3 种生物多样性指数描述群落内物种多样性^[19]。计算公式如下：

$$H = - \sum P_i \ln P_i; \quad D = 1 - \sum P_i^2;$$
$$E = \left(- \sum P_i \ln P_i \right) / \ln S$$

式中： $P_i = N_i/N$ ，其中 N_i 为第 i 种的个体数，N 为所有种的个体数之和。S 为总物种数。利用多样性指数可以评价水域水环境的优劣，由代培^[20]等的文献中所述，可知 H 在 0~1，E 在 0~0.3 时水质为重污染；H 在 1~2，E 在 0.3~0.4 时水质为 α -中污染；H 在 2~3，E 在 0.4~0.5 时水质为 β -中污染； $H > 3$ ，E 在 0.5~0.8 时为轻污染或者无污染。

2 结果与讨论

2.1 聚类分析

基于太湖流域 201 个点位平水期的浮游动物数据和水质监测数据，运用 SPSS18.0 对 49 个生态功能区的浮游动物特征进行

聚类分析，以 5 为界，空间尺度上，49 个生态功能区可划分为 4 组。GI: I-01~I-05;GII: II-01~II-10;GIII: III-01~III-20;GIV: IV-01~IV-14。4 组区的浮游动物丰度、多样性和水质特征相似。表明江苏省政府划分的生态功能区等级与实际的浮游动物特征、水质特征是一致的。

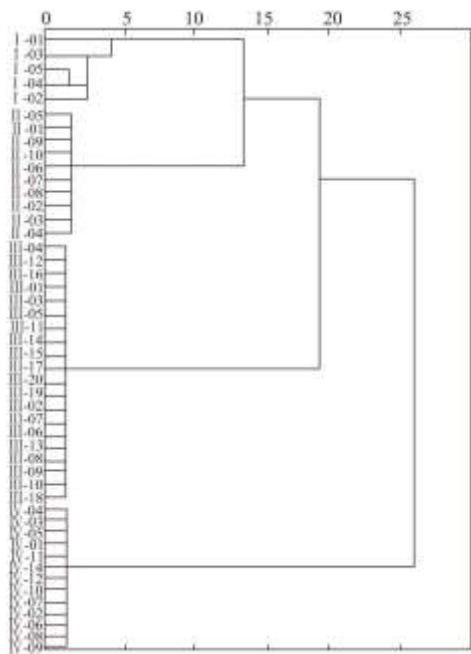


图 2 水质尺度聚类分析

2.2 物种组成

在太湖流域 201 个点位调研中，浮游动物大体可分为 3 类，轮虫类、枝角类、桡足类。共定量检出浮游动物 49 属 122 种，其中轮虫类 67 种，枝角类 35 种，桡足类 16 种，浮游幼体 4 种。IV 级区的物种种类最多，生态结构复杂，I 级区则相较于其他区物种偏少，结构较为单一。

2.3 丰度分布

各生态功能区的丰度组成情况见图 2。

调研期间可得太湖流域总丰度为 82081.25 个/L。其中轮虫类丰度最大，丰度为 61042 个/L, 相对丰度为 74.3%。是太湖流域浮游动物丰度贡献量最大的类群。枝角类和桡足类较低，分别为 5510.75 个/L 和 1475.5 个/L。相对丰度为 6.7%和 1.8%。生态功能区丰度大小是III级区>IV级区>I 级区>II 级区。图中显示了 49 个生态功能区四类浮游动物丰度的占比情况，可知各生态功能区物种丰度分布不均匀，轮虫以绝对的优势占据这 49 个生态功能区^[21]。轮虫大多集中在环湖一带，且以太湖为界，太湖西部轮虫密度要大于太湖东部。

2.4 优势种法与水质分析

以 $Y \geq 0.02$ 为标准，共检出 19 种优势种。其中属于轮虫类的有 14 种，属于枝角类的有 2 种，分别为短尾秀体溞和微型裸腹溞。属于桡足类的有 3 种，为汤匙华哲水蚤、无节幼体和剑水蚤幼体。太湖流域平水期可检测出的优势种以轮虫类居多，其

中，角突臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫无脊变种、暗小异轮虫、广布多肢轮虫和无节幼体是四级分区的共有优势种^[22]。优势种优势度及优势种水质指示情况见表 1。图 4 表明了各级区共有优势种分布占比情况。

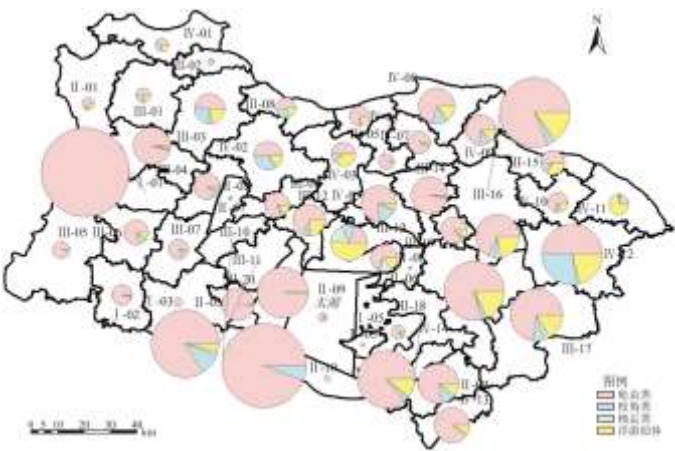


图 3 太湖流域平水期浮游动物丰度分布情况

表 1 各级区共有优势种优势度及水质指示等级

优势物种	不同等级分区的优势度				指示等级
	I 区	II 区	III区	IV区	
角突臂尾轮虫	0.045	0.053	0.042	0.062	β 中污~ α 中污
螺形龟甲轮虫无脊变种	0.034	0.092	0.089	0.100	寡污~ β 中污
暗小异尾轮虫	0.204	0.027	0.040	0.022	寡污
广布多肢轮虫	0.433	0.248	0.209	0.073	中污
无节幼体	0.052	0.075	0.077	0.143	

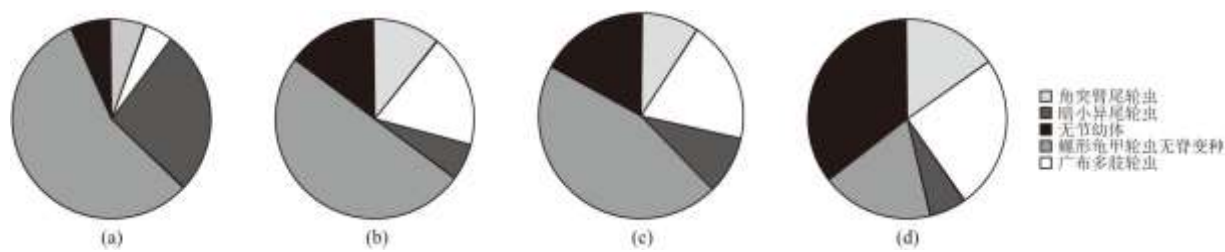


图 4 共有优势种各级区占比情况

数据显示本次调研，太湖流域的 5 种最主要的共有优势种，有 3 种为富营养指示物种，分别为角突臂围轮虫、螺形龟甲轮虫无脊变种和暗小异尾轮虫。可知此时太湖流域正处于富营养化状态^[23]。

根据各物种的指示作用和占比情况进行水质分析^[24]，I级区(图 4a)指示寡污的暗小异尾轮虫最多，指示中污的物种最少，所以水质最好，II级区(图 4b)与III级区(图 4c)各物种占比情况相似，水质情况也相似。IV级区(图 4d)指示 β -中污和 α -中污的角突臂尾轮虫和螺形龟甲轮虫无脊变种最多，所以IV级区水质最差，与水质数据一致^[25]。

2.5 不同分区多样性指数比较

图 5 展示了在 3 种多样性指数下各级分区多样性指数占比情况。由图可知，太湖流域各级分区总体呈下降趋势。由中位数(Q2)位置变化可见平均多样性指数水平呈下降趋势。由上四分位数(Q3, 75%位数)和下四分位数(Q1, 25%位数)可知各级分区数据波动情况^[21]，其中 I 级区箱子宽度最小，数据波动明显。III级区次之，II级区数据波动最小。

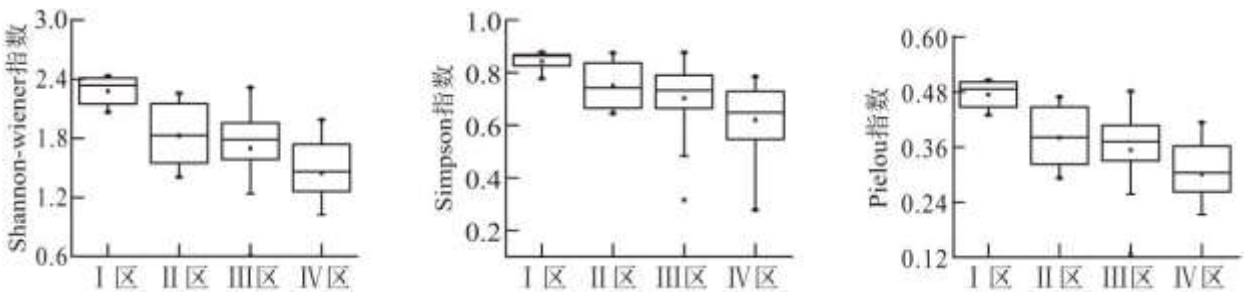


图 5 各级分区多样性指数箱线图

本次调研，I级区多样性指数最大，分别为 2.28、0.84 和 0.47。IV级区的多样性指数最小，分别为 1.45、0.62 和 0.30。各级区多样性变化趋势见图 6。由图可知各级多样性指数大小为 I 级区>II级区>III级区>IV级区。根据水质资料显示^[24]，I 级区水质情况最好，IV级区水质情况最差，与 I 级区有水源地如尚湖、长荡湖，从而水质保护情况较好的实际情况相一致。

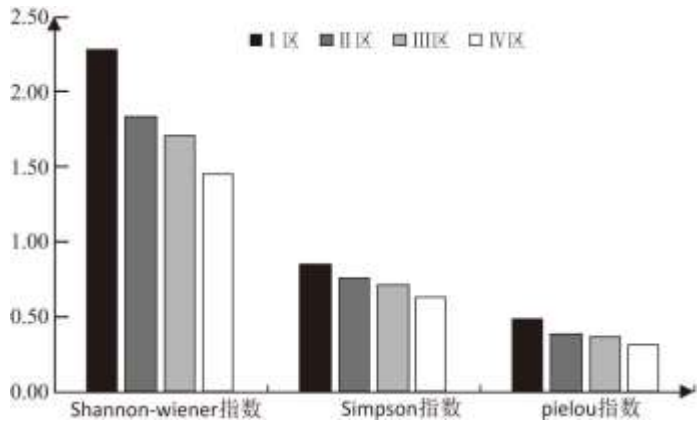


图 6 各级区多样性指数

2.6 浮游动物与环境因子的关系

2.6.1 优势种与环境因子的关系

本文采用典范对应分析(CCA)。首先根据分布范围分析，剔除数值较低，分布范围较窄的环境因子。方法是每个点位该环境因子的数值，绘制箱线图，箱体较窄且数值较小的说明该环境因子不具有敏感性，不能有效反应与浮游动物之间的关系。通

过分析筛选出 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN 五项与浮游动物优势种密度显著相关的环境因子进入环境因子矩阵。19 种优势种进入物种矩阵。

由图 7 可知，TP、TN、 BOD_5 和 COD_{Mn} 是影响优势种丰度变化的驱动因子^[26]， $\text{NH}_3\text{-N}$ 的箭头最短，说明对于优势种群落变化的影响不显著^[27]。叉角聚花轮虫、圆筒异尾轮虫和浦达臂尾轮虫距离每个环境因子都很远，说明这 3 种优势种受环境因子的影响不明显，大部分优势种与 TP、TN 关系明显，TP、TN 与太湖流域大部分优势种显著正相关，由箭头长短可知，相关性 $\text{TP} > \text{TN}$ 。

除了上述环境因子外，先前有陈光荣^[28]等以及杜明勇等已经证实水温也影响了浮游动物的群落结构，对浮游动物的生长、发育、数量变化和群落组成影响较大。由吴利^[29]等研究发现，水温、DO 与浮游动物群落相关性也较强。综上所述，太湖流域平水期浮游动物的群落结构变化与 TP 和 TN 相关性明显，部分优势种相关性不明显，结合多样性和优势度分析，可能与这 3 种浮游动物丰度较高，多样性较高有关。丰富的浮游动物构成了结构稳定的群落，5 月适宜的水温和 DO 使得浮游动物生长迅速，从而弱化了其余环境因子对浮游动物的影响。

2.6.2 浮游动物丰度对 TP、TN 的生态响应

由 2.5.1 得知，TP、TN 显著影响太湖流域平水期浮游动物优势种的群落结构，伴随着浮游动物丰度增大，TP 和 TN 含量也会升高。意味着水体营养盐含量会提升，增加水体富营养化的风险。因此，通过研究浮游动物丰度对 TP、TN 的生态响应^[30]，能直观的反映太湖流域富营养化的状况。

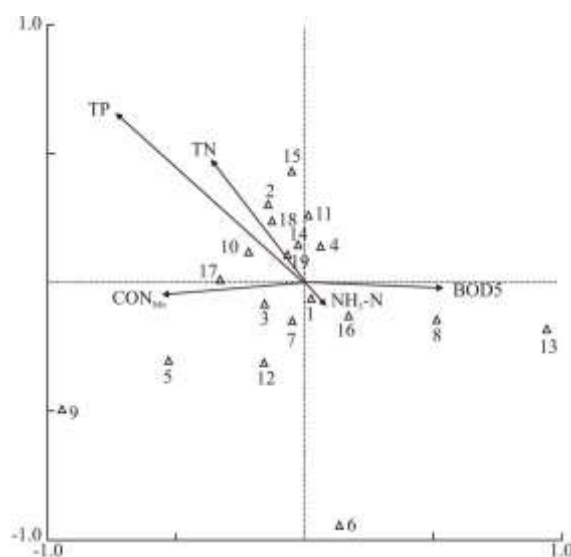


图 7 优势种与环境因子之间的关系

注：1-萼花臂尾轮虫；2-角突臂尾轮虫；3-裂足臂尾轮虫；4-螺形龟甲轮虫无脊变种；5-暗小异尾轮虫；6-圆筒异尾轮虫；7-广布多肢轮虫；8-长三肢轮虫；9-叉角聚花轮虫；10-裂痕龟纹轮虫；11-曲腿龟甲轮虫；12-矩形龟甲轮虫；13-浦达臂尾轮虫；14-螺形龟甲轮虫；15-微型裸腹溞；16-短尾秀体溞；17-汤匙华哲水蚤；18-剑水蚤幼体；19-无节幼体。

由图 8 可知太湖流域平水期浮游动物丰度都与 TN、TP 存在明显的正相关关系，斜率分别为 0.4037 和 0.6995。P 值分别为 0.02741 和 0.04821， $P < 0.05$ ，表明在 0.05 水平回归有显著性。表明了平水期太湖流域浮游动物对 P 的利用效率要高于 N。水体浮游动物种群结构的变化以及水体富营养化的状态主导因子是 P。

2.7 相关性分析

利用浮游动物 49 个水功能分区的丰度、多样性指数以及各项水质资料作为变量，使用 SPSS18.0 进行双变量分析^[31]，各级分区分析结果见表 2。

分析结果显示，四级分区区浮游动物丰度都与 TP 显著正相关，II 级区和 III 级区浮游动物丰度和多样性分别与 TP 和 COD_{mn} 显著正相关，IV 级区浮游动物丰度和多样性指数与 TN、TP 和 COD_{mn} 显著正相关。

3 结论

(1) 本次平水期在太湖流域鉴定出的浮游动物较以往历史数据^[19,20]，种类变多，群落结构更为复杂。由原本的枝角类数量占主导，变为轮虫类占主导^[31]。II 级区的优势种最多且密度较大，I 级区优势种最少。

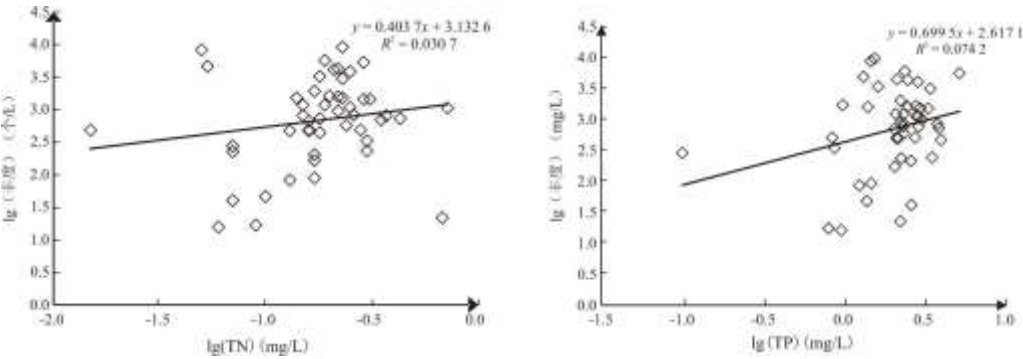


图 8 太湖流域平水期浮游动物丰度与 TN、TP 的生态响应

表 2 各级分区相关性分析

区号	环境因子	丰度	Shannon-wiener 指数	Simpson 指数	pielou 指数
I 级区	COD _{mn}	0.586	0.582	0.666	0.582
	BOD ₅	0.512	0.666	0.834	0.666
	NH ₃ -N	0.561	0.490	0.633	0.490
	TP	0.915*	0.405	0.541	0.405
	TN	0.209	-0.326	-0.036	-0.326
II 级区	COD _{mn}	-0.016	0.283	0.172	0.283
	BOD ₅	0.202	0.492	0.539	0.492
	NH ₃ -N	-0.294	0.293	0.228	0.293
	TP	0.928**	0.447**	0.343**	0.447

	TN	0.388	0.481	0.453	0.481
III级区	COD _{mn}	0.227	0.043	0.042	0.043
	BOD ₅	0.075	-0.089	-0.067	-0.089
	NH ₃ -N	0.103	0.027	0.064	0.027
	TP	0.946**	-0.170	-0.252	-0.170
	TN	0.129	0.432	0.432	0.432
IV级区	COD _{mn}	0.537*	0.556*	0.455	0.556*
	BOD ₅	0.345	0.332	0.300	0.332
	NH ₃ -N	-0.117	0.233	0.168	0.233
	TP	0.973**	0.443**	0.343	0.443
	TN	0.887*	0.599*	0.584*	0.599*

注：**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

(2)由浮游动物丰度分布情况图可以判断出空间上浮游动物密度水平方向呈现两头大中间小的趋势,最西边和最东边丰度都很大,中间最小。垂直方向上由南至北呈现逐渐增多的趋势。而多样性指数则呈现相反的趋势。由此可知浮游动物分布特点是在平水期,太湖流域中部地区浮游动物的密度要小于东部和西部地区,中部地区浮游动物多样性要大于东部和西部地区。

浮游动物多样性指数逐级递减,与水质资料结果吻合,也与区划的分级吻合。II级区中污指示物种优势度偏高,寡污指示物种优势度偏低,使得II级区各项污染指标高于分级标准。需加强II级区的污染防治工作。

(3)本次调研浮游动物优势物种含有60%的富营养指示物种,寡污类与清洁类仅占20%,大多聚集在I级区,与I级区内包含有水源地、重点湿地保护区有重大关系。得出本次太湖流域处于富营养化阶段。太湖流域总体污染情况处于中污染,原因在于 β -中污和 α -中污指示浮游动物如臂围轮虫属数量增多,而清洁物种和寡污物种如暗小异尾轮虫数量减少。

(4)由CCA分析可知TN、TP与各浮游动物优势种显著正相关。水体浮游动物种群结构的变化以及水体富营养化的状态主导因子是P。由Pearson相关性分析可知I级区、II级区、III级区和IV级区物种都与TP显著正相关,随着分区等级的提升,与TP的相关性显著提升,并且与COD_{Mn}和TN相关性也显著提升。

参考文献:

- [1]李倩倩,黄鹤忠,张群英,等.东太湖不同水域浮游生物周年变化及鲢、鳙食性的研究[J].海洋科学,2013(10):104-110.
- [2]杨佳,周健,秦伯强,等.太湖梅梁湾浮游动物群落结构长期变化特征(1997~2017年)[J].环境科学,2020,41(3):1246-1255.
- [3]代培,阎明军,周游,等.太湖五里湖沿岸带浮游植物群落生态特征(2014~2015年)[J].长江流域资源与环境,

2018(10):2348-2357.

- [4]高永年,高俊峰.太湖流域水生态功能分区[J].地理研究,2010(1):111-117.
- [5]高永年,高俊峰,陈炯烽,等.太湖流域水生态功能三级分区[J].地理研究,2012(11):1941-1951.
- [6]常闻捷,龚利雪,陆嘉昂,等.水生态分区管理国际经验与太湖流域应用研究[J].环境监控与预警,2020(6):59-62.
- [7]曹方意.太湖流域浮游藻类特征及对水生态功能分区的指示意义[D].南京工业大学,2015.
- [8]李优迈,韩留玉,陈绵润,等.大亚湾中型浮游动物群落结构和植食性[J].海洋与湖沼,2018,49(4):839-850.
- [9]夏品华,林陶.百花湖水库后生浮游动物群落结构时空分布特征及水质评价[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2018(1):45-50.
- [10]许栋,杨海滔,及春宁,等.梯级水库影响下南渡江干流浮游生物群落沿程变化[J].水生态学杂志,2018,39(4):63-72.
- [11]王站付,吴波,罗永婷,等.西太湖流域浮游动物群落结构及分布调查研究[J].安全与环境学报,2012(6):150-156.
- [12]王家楫等.中国淡水轮虫志[M].科学出版社,1961.
- [13]VOIGT. Rotatoria[M]. Gebrüder Borntraeger, 1978.
- [14]章宗涉,等.淡水浮游生物研究方法[M].科学出版社,1991.
- [15]中国科学院中国动物志编辑委员会.中国动物志-节肢动物门甲壳纲淡水枝角类[M].科学出版社,1979.
- [16]中国科学院动物研究所甲壳动物研究组.中国动物志-节肢动物门甲壳纲淡水桡足类[M].科学出版社,1979.
- [17]水和废水监测分析方法(第四版)[J].中国环境科学出版社,2002.
- [18]董志军,杨青,孙婷婷,等.黄河口邻近海域浮游动物群落时空变化特征[J].生态学报,2017(2):659-667.
- [19]杜明勇,于洋,阳振,等.太湖流域2012年枯水期浮游生物群落结构特征[J].湖泊科学,2014,26(5):724-734.
- [20]代培,刘凯,周彦锋,等.太湖五里湖湖滨带浮游动物群落结构特征[J].水生态学杂志,2019,40(1):55-63.
- [21]LEMAN N, RAMLI M F, KHIROTDIN R P K. GIS-based integrated evaluation of environmentally sensitive areas (ESAs) for land use planning in Langkawi, Malaysia[J]. Ecological Indicators, 2016, 61:293-308.
- [22]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.

-
- [23] 杨洋, 张玮, 潘宏博, 等. 漏湖轮虫群落结构及其与水环境因子的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6):832-840.
- [24] 陈立婧, 顾静, 彭自然, 等. 漏湖轮虫群落结构与水质生态学评价[J]. 动物学杂志, 2008, 43(3):7-16.
- [25] 朱冲冲, 李秋华, 陈文生, 等. 贵州普定水库后生浮游动物群落结构特征及其水质指示作用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3):273-277.
- [26] 余文生, 詹文荣, 聂雪, 等. 枯水季节赣江近岸水洼与浅滩中浮游动物的群落差异[J]. 水生生物学报, 2018, 42(2):382-391.
- [27] 刘珍妮, 夏霆, 孙淑文, 等. 苏北运东水网区浮游植物群落结构特征与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(6):45-53.
- [28] 陈学超, 黄瑛, 穆希岩, 等. 夏季和冬季南黄海浮游动物分布特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018(A1):50-56.
- [29] 吴利, 周明辉, 沈章军, 等. 巢湖及其支流浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 动物学杂志, 2017, 52(5):792-811.
- [30] 方艳红, 方红伦, 王文君, 等. 岷江上游秋季浮游动物群落结构及水平分布特征[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(6):30-36.
- [31] 刘军会, 高吉喜, 马苏, 等. 内蒙古生态环境敏感性综合评价[J]. 中国环境科学, 2015, 35(2):591-598.