

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20220810001

李娣, 李旭文, 吕学研, 等. 太湖流域水生生物群落结构与水生生态质量状况分析[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(1): 271-279

Li D, Li X W, Lv X Y, et al. Analysis of aquatic community structure and water ecological quality in Tai Lake Basin [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2023, 18(1): 271-279 (in Chinese)

太湖流域水生生物群落结构与水生生态质量状况分析

李娣¹, 李旭文¹, 吕学研¹, 姜晟¹, 蔡琨¹, 高占啟¹, 王甜甜¹, 蔡永久^{2,*}

1. 江苏省环境监测中心, 南京 210019

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008

收稿日期: 2022-08-10

录用日期: 2022-10-25

摘要: 研究水生态环境功能的整体性是树立一个生命共同体的基础。本研究于2020年,对江苏省太湖流域49个水生态环境功能区水生生态监控点位进行水质、底栖动物和浮游植物调查;评价了太湖流域水生态环境功能区底栖动物和浮游植物群落结构和其质量状况,分析了水质目标和水生态质量目标达标情况。研究结果表明,太湖流域57个点位共获得底栖动物物种94种,底栖动物群落前二位优势种为霍甫水丝蚓和河蚬,17个湖库点位共获得浮游植物物种247种,隶属7个门113属,硅藻门57种、蓝藻门51种、绿藻门107种、隐藻门7种、甲藻门9种、裸藻门15种和金藻门1种,优势种属于微囊藻属,太湖流域底栖动物、浮游植物群落结构呈向好发展趋势;太湖流域4个水生态功能分区中底栖动物、浮游藻类质量指数评价等级均为“一般”,均低于水质指数评价等级(“中”~“良”);对照2020年管理目标,太湖流域49个水生态环境功能分区水质目标达标率为81.6%,远高于水生态质量达标率(40.8%)。综上所述,本研究结果表明,水环境管理应尽快从水质目标管理向水质、水生态双重管理转变。

关键词: 太湖流域;底栖动物;浮游植物;水生态;管理

文章编号: 1673-5897(2023)1-271-09

中图分类号: X171.5

文献标识码: A

Analysis of Aquatic Community Structure and Water Ecological Quality in Tai Lake Basin

Li Di¹, Li Xuwen¹, Lv Xueyan¹, Jiang Sheng¹, Cai Kun¹, Gao Zhanqi¹, Wang Tiantian¹, Cai Yongjiu^{2,*}

1. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing 210019, China

2. Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Received 10 August 2022

accepted 25 October 2022

Abstract: Illustrating the integrity of aquatic ecological environment function is the basis of establishing a life community. In this study, water quality, benthos and phytoplankton were investigated at 49 aquatic ecological function zones in Tai Lake Basin of Jiangsu Province in 2020. The community structure and quality of benthos and phytoplankton in the water ecological environment functional area of Tai Lake Basin were evaluated, and the realization of water quality objectives and aquatic ecological quality objectives were analyzed. The results showed that

基金项目: 2018年度江苏省环保科研课题(2018002); 2019年度江苏省环保科研课题(2019010)

第一作者: 李娣(1983—), 女, 博士, 研究方向水生生态质量评价、环境监测等, E-mail: ld@jshb.gov.cn

* 通信作者(Corresponding author), E-mail: caiyj@niglas.ac.cn

94 species of benthos were identified from 57 sites in Tai Lake Basin, and the two predominant species of benthos community were *Limnodrilus hoffmeisteri* and *Corbicula fluminea*. 247 species of phytoplankton were identified from 17 sites, categorizing into 113 genera of 7 phyla, 57 species of Bacillariophyta, 51 species of Cyanophyta, 107 species of green algae, 7 species of Cryptophylum, 9 species of Dinoflagellata, 15 species of Euglenophyta and 1 species of Chrysophyta. The dominant species is *Microcystis*. The community structure of benthos and phytoplankton are developing in a good direction; the grade evaluated by quality indexes of benthos and phytoplankton are lower than the grade of water quality evaluation in all the four aquatic ecological functional zones of Tai Lake Basin. Referring to the water quality and aquatic ecological quality goals of 2020, 81.6% of the 49 aquatic ecological environment functional zones satisfy the water quality goal, which is much higher than ratio of the zones satisfying aquatic ecological quality (40.8%). This study implies that, water environment management should shift from focusing on sole water quality goal to considering both water quality and aquatic ecology.

Keywords: Tai Lake Basin; benthos; phytoplankton; water ecology; administration

随着经济和人口的快速发展,水环境质量下降,水污染事件频发^[1]。2007年的太湖蓝藻水华事件,给当地居民饮用水安全造成了严重威胁,引起了当地政府高度重视,环境监测部门强化了太湖藻密度的监测力度,同时也得到了国内外学者的广泛关注^[2-4]。随着水环境保护研究的不断深入,水污染治理逐步从单一的理化指标浓度和总量控制向生物多样性^[5]、河流水生态质量评价^[6]乃至整个水生态系统功能健康转变^[7-8]。2012年10月,原环境保护部印发了《关于开展流域生态健康评估试点工作的通知》,在全国重点流域开展了水生态健康评估试点工作^[9],2016年4月,江苏省政府正式批复了《江苏省太湖流域水生态环境功能区划(试行)》^[10],将太湖流域水生态环境分区治理、水质目标和水生态目标并行的理念推上了一个新台阶。2017年,原江苏省环境保护厅印发了《关于开展太湖流域水生态环境功能区水生态健康监测工作的通知》(苏环办[2017]106号)^[11],而水生态功能分区水生态质量评价体系有待建立。2020年,江苏省生态环境厅正式发布了《太湖流域水生态环境功能区质量评估技术规范》(DB32/T 3871—2020),该技术规范规定了基于河流底栖动物、湖库浮游植物和底栖动物以及水质等评价指数的江苏省太湖流域水生态环境功能区水生态环境质量监测与评估技术要求。因此,有必要利用该技术规范科学地评估太湖流域水生态环境功能区质量状况。

本研究调查了江苏省49个太湖流域水生态环境功能区底栖动物、浮游植物群落以及水质状况,分析太湖流域水生生物群落结构特征和水污染现状,评价水生态环境功能区水生态质量状况与达标情

况,探讨影响对太湖流域水生态环境功能区水生态质量状况的潜在因素,研究结果有助于了解太湖流域水生生物群落结构特征、水生态质量状况,为水生生物物种保护和推进水生态目标管理提供科学依据。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 研究区域 (Study area)

太湖流域水生态环境功能区实行分级管控,划分生态Ⅰ级区(健全生态功能区)、生态Ⅱ级区(较健全生态功能区)、生态Ⅲ级区(一般生态功能区)、生态Ⅳ级区(较低生态功能区)。针对《江苏省太湖流域水生态环境功能区划(试行)》中划定的49个水生态环境功能区57个水生态监控点位(图1),开展水质和生物样品采集工作,其中河流点位40个、湖库点位17个;从设区市来看,南京市点位1个、无锡市点位18个、常州市点位15个、苏州市点位20个、镇江市点位3个;监测内容为河流水质和底栖动物,湖泊水质、底栖动物和浮游植物;从2020年国/省控断面分布来看,40个点位属于国控断面,17个点位属于省控断面。

1.2 采样与分析 (Sample and analysis)

2020年春秋两季各采集1次水生生物样品和水质样品,其中湖库点位水生生物样品包括底栖动物和浮游植物,河流点位水生生物样品为底栖动物。

底栖动物样品用采样面积为1/16 m²的Peterson采泥器采集,每个采样点每次采集3个平行样;每次抓得的样品都要现场用40目尼龙筛进行仔细地清洗和筛分,并将用70%的酒精保存剩余物,带回实验室,镜检分析^[12-14]。

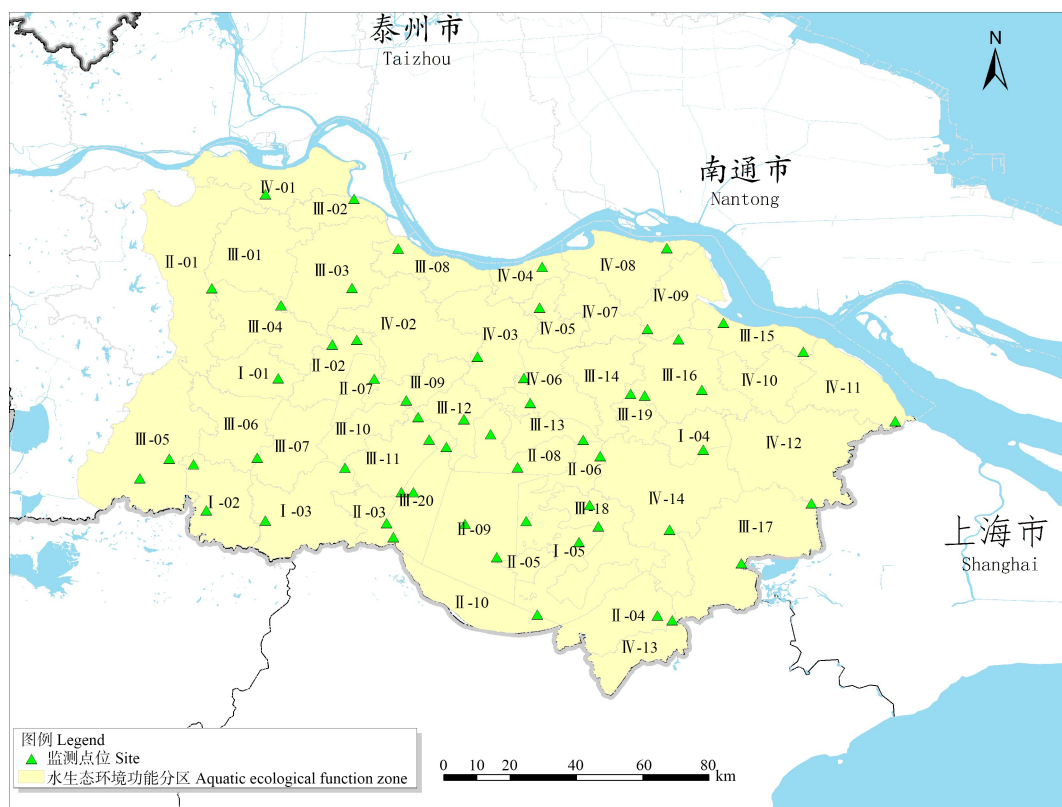


图1 太湖流域水生态环境功能区水生态监控断面情况

Fig. 1 Monitoring section of water ecological environment functional areas in Tai Lake

采集的浮游植物样品参考《水和废水监测分析方法》(第四版)^[15],并根据《中国常见淡水浮游生物图谱》^[16]进行分类鉴定,并计算出浮游植物细胞数量。

水质样品的采集和分析参考《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91—2002)、《环境水质监测质量保证手册(第二版)》^[17]有关要求。

1.3 数据处理(Data processing)

用优势度 Y 来表征优势物种,当 $Y > 0.02$ 时,则表示该物种为底栖动物/浮游植物群落的优势种;根据《太湖流域水生态环境功能区质量评估技术规范》(DB/T 3871—2020)给出的底栖动物科级敏感值,以及第一位优势种优势度和软体动物分类单元数计算方法,综合计算得到底栖动物质量指数,以及湖库浮游植物总分类单元、细胞密度、前三位优势种优势度计算方法,综合计算得到浮游植物质量指数以及水质指数综合评价太湖流域水生态环境功能区水生态状况,其中湖库通过水质综合营养状态指数、底栖动物和藻类指标综合评价,河流通过水质综合污染指数和底栖动物指标综合评价,评价结果分为5级,即“优”“良”“中”“一般”和“差”,用于表征水

生态功能区质量状况等级;并对照《江苏省太湖流域水生态环境功能区划(试行)》中2020年水质目标和水生态健康(质量)指数管理目标,进行达标评价,其中水质目标以水生态环境功能区中最高目标作为考核目标,实际水质类别采用水生态环境功能区中最差断面水质类别;用 Spearman 相关系数分析水质指标与水生态指数间的相关性。

2 结果(Results)

2.1 水生生物质量状况(Quality of aquatic organisms)

2.1.1 底栖动物群落

太湖流域水生态环境功能区共采集到底栖动物物种94种,其中昆虫纲29种(摇蚊类25种,其他类4种)、甲壳纲11种、瓣鳃纲19种、腹足纲14种、多毛纲9种、蛭纲4种和寡毛纲8种,平均密度为 $152 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 。根据物种优势度 $Y > 0.02$ 的标准,霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)优势度 Y 为0.05,为太湖流域底栖动物群落第一优势种;河蚬(*Corbicula fluminea*)优势度 Y 为0.04,为太湖流域底栖动物群落第二优势种。太湖流域不同生态分级区底栖动物

质量均值评价均处于“一般”水平(表 1),不同生态分级区底栖动物群落结构存在一定差异,其中生态Ⅰ级区和生态Ⅱ级区存在明显差异($P<0.05$),生态Ⅱ级区和生态Ⅳ级区底栖动物群落结构存在明显差异($P<0.05$),其他分区之间无显著差异。

2.1.2 浮游植物群落

在太湖流域 17 个湖库监测点位共采集到浮游植物物种 247 种,其中蓝藻门 51 种、绿藻门 107 种、硅藻门 57 种、隐藻门 7 种、裸藻门 15 种、甲藻门 9 种和金藻门 1 种,共七大门类。浮游植物平均密度为 $9.9 \times 10^7 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,优势种属于蓝藻门微囊藻属,优势度为 0.37,优势种密度百分比为 25.4%。17 个点位的浮游植物密度均值范围为 $4.6 \times 10^6 \sim 2.8 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,密度最大值出现在太滬运河区,密度最小值出现在胥湖心。浮游植物质量指数(P-IPI)均值评价等级处于“一般”水平(表 2),最低值出现在横山水库,为 0.17;最高值出现在胥湖心,为 0.61。

2.2 太湖流域水生态环境功能区水质状况(Water quality status in water ecological environment functional area of Tai Lake Basin)

太湖流域水生态环境功能区水质指数均值为 0.667,处于“中”级别,指数范围为 0.364 ~ 0.930(表 3 和表 4)。49 个水生态环境功能分区中有 36 个水质达到 2020 年水质目标要求,占比 73.5%。

2.3 太湖流域水生态环境功能区质量状况(Quality status of water ecological environment functional areas in Tai Lake basin)

从流域水生态环境功能区完整性评价,49 个水生态环境功能区中,水生态环境功能区质量指数均值为 0.53,评价等级为“中”,指数范围为 0.30 ~ 0.75,评价等级从“一般”到“良”(图 2);其中生态Ⅳ级区-02 常州市水环境维持-水文调节功能区评价等级为“中”,质量指数最低,为 0.30;生态Ⅱ级区-01 镇江东部水环境维持-水源涵养功能区水生态环境

表 1 太湖流域不同生态区大型底栖无脊椎动物质量状况
Table 1 Benthic index of biotic integrity in different ecological areas of Tai Lake Basin

	生态Ⅰ级区 Ecological level I	生态Ⅱ级区 Ecological level II	生态Ⅲ级区 Ecological level III	生态Ⅳ级区 Ecological level IV
大型底栖无脊椎动物质量指数(B-IBI)均值 Mean value of benthic index of biotic integrity (B-IBI)	0.350	0.397	0.439	0.310
大型底栖无脊椎动物质量指数评价等级 Index rating	一般 General	一般 General	一般 General	一般 General

表 2 太湖流域不同生态区浮游藻类质量状况
Table 2 Phytoplankton index of phytoplanktic integrity in different ecological areas of Tai Lake Basin

	生态Ⅰ级区 Ecological level I	生态Ⅱ级区 Ecological level II	生态Ⅲ级区 Ecological level III	生态Ⅳ级区 Ecological level IV
浮游藻类质量指数(P-IPI)均值 Mean value of phytoplankton index of phytoplanktic integrity (P-IPI)	0.440	0.282	0.374	/
浮游藻类质量指数评价等级 Index rating	一般 General	一般 General	一般 General	/

表 3 太湖流域水生态环境功能区水质指标情况
Table 3 The water quality of ecological environment functional area in Tai Lake Basin

	溶解氧 Dissolved oxygen	氨氮 Ammonia nitrogen	高锰酸盐指数 Permanganate index	总磷 Total phosphorus	总氮 Total nitrogen
浓度范围/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Concentration range/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	3.0 ~ 12.5	0.01 ~ 1.29	1.6 ~ 7.4	0.02 ~ 0.28	0.10 ~ 5.54

表 4 太湖流域不同生态区水质综合污染/营养指数 (TLI) 状况
Table 4 Tucker-Lewis index in different ecological areas of Tai Lake Basin

	生态 I 级区 Ecological level I	生态 II 级区 Ecological level II	生态 III 级区 Ecological level III	生态 IV 级区 Ecological level IV
水质综合污染/营养指数(TLI)均值 Mean value of Tucker-Lewis index (TLI)	0.765	0.652	0.678	0.609
水质综合污染/营养指数评价等级 Index rating	良 Good	中 Medium	中 Medium	中 Medium

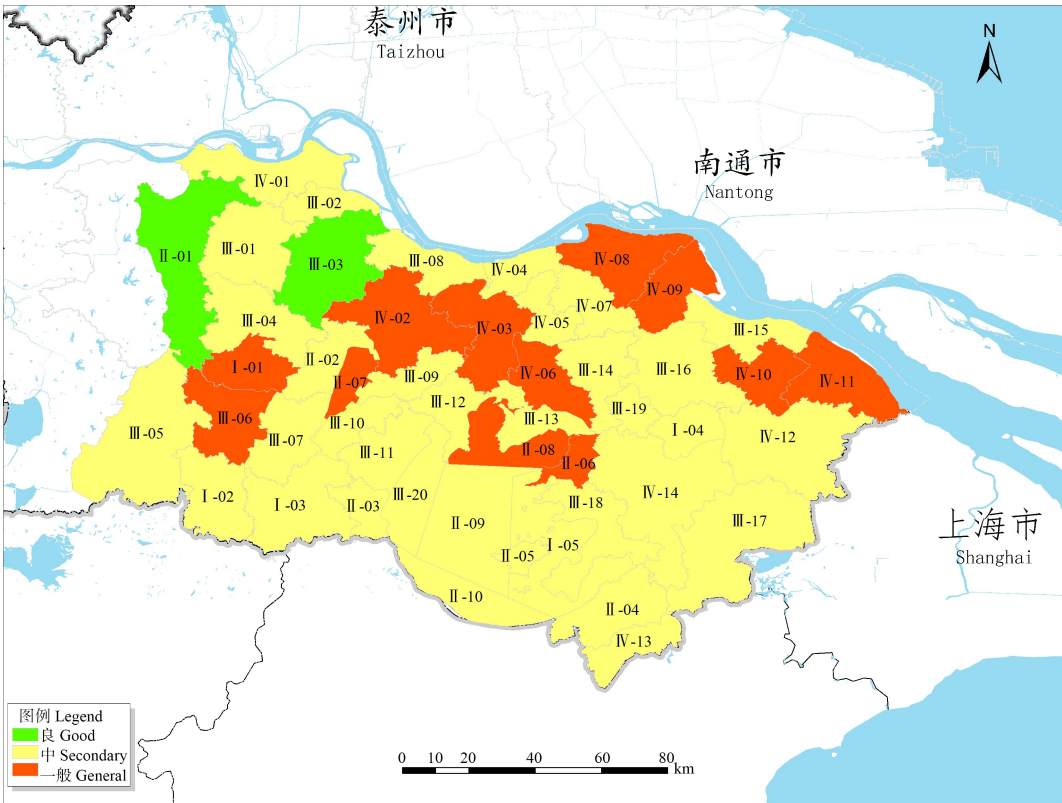


图 2 2020 年太湖流域水生态环境功能区质量分级情况
Fig. 2 The quality classification of water ecological environment functional areas in Tai Lake Basin in 2020

功能区质量指数最高,为 0.75。

对照 2020 年管理目标要求,太湖流域 49 个水生态环境功能区中,太湖流域 49 个水生态环境功能区中,有 20 个达标,达标率为 40.8% (图 3),远低于水质达标率(81.6%)。

2.4 水质指标与水生态环境功能区质量指数相关性(Correlation between water quality index and water ecological environment function area quality index)

水质指标与水生态环境功能区质量指数间相关性如表 5 所示,溶解氧与水生态环境功能区质量指数呈显著正相关,氨氮、高锰酸钾指数、总磷、总氮与

水生态环境功能区质量指数呈显著负相关,同时溶解氧与氨氮、高锰酸钾指数、总磷和总氮呈显著负相关,溶解氧和水质综合污染/营养指数(TLI)呈显著正相关。

3 讨论 (Discussion)

太湖流域底栖动物物种正向好发展。通常在生态状况较好时,底栖动物优势种为较清洁物种,对应的科级敏感值较高。与前期数据相比较,如王业耀^[18]2011 年调查结果和陈桥等^[19]2013 年调查结果均表明太湖流域河流底栖动物群落近年间有向好发

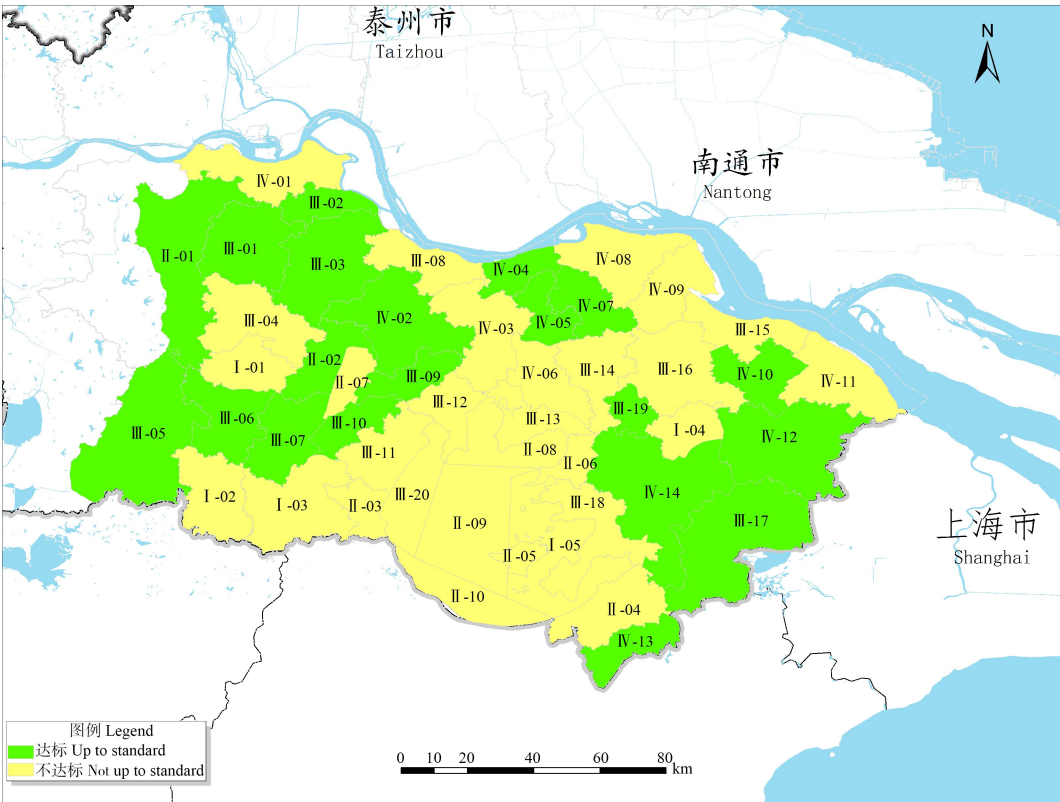


图 3 2020 年太湖流域水生态环境功能区水生态质量达标情况

Fig. 3 The water ecological quality of water ecological environment functional area in Tai Lake Basin in 2020

表 5 太湖流域水生态环境功能区质量指数与水质指标间 Spearman 相关性

Table 5 Spearman correlation between quality index and water quality index of water ecological environment functional area in Tai Lake Basin

	溶解氧 Dissolved oxygen	氨氮 Ammonia nitrogen	高锰酸盐指数 Permanganate index	总磷 Total phosphorus	总氮 Total nitrogen	大型底栖无脊椎动物质量指数 B-IBI index	水质综合污染/营养指数 TLI index
氨氮 Ammonia nitrogen	-0.600***	—	—	—	—	—	—
高锰酸盐指数 Permanganate index	-0.246*	0.262*	—	—	—	—	—
总磷 Total phosphorus	-0.564***	0.398***	0.227*	—	—	—	—
总氮 Total nitrogen	-0.632***	0.559***	0.167	0.574***	—	—	—
大型底栖无脊椎动物质量指数 B-IBI index	0.155	-0.042	0.027	-0.093	-0.170	—	—
水质综合污染/营养指数 TLI index	0.564***	-0.559***	-0.541***	-0.604***	-0.663***	0.042	—
水生态环境功能区质量指数 Quality classification index	0.469***	-0.340***	-0.224*	-0.445***	-0.535***	0.780***	0.524***

注: * $P<0.05$, *** $P<0.0005$ 。

Note: * $P<0.05$, *** $P<0.0005$.

展的趋势(表 6),从原来的敏感值为 1 的耐污种霍甫水丝蚓(*L. hoffmeisteri*)为绝对优势种转变为耐污种和敏感种并行的群落结构,湖库底栖动物群落第一优势种从原来的耐污种霍甫水丝蚓(*L. hoffmeisteri*)转变为以敏感值为 6 的较清洁敏感种河蚬(*C. fluminea*);河流底栖动物群落优势种从霍甫水丝蚓(绝对优势种)转变为霍甫水丝蚓、太湖大螯蜚、梨形环棱螺和铜锈环棱螺,涵盖了耐污种寡毛纲、甲壳纲和多毛纲。

2007 年起,太湖浮游植物群落结构在向好的方向转变(表 7)。太湖流域浮游植物密度在 1960 年代为 $6.6 \times 10^5 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,数值较低,随着经济不断发展,从 1980 年代起以 5.8 倍的速度增长,2007 年 5 月,太湖发生大面积(面积超过 1 000 km^2)蓝藻水华事件,严重影响了当地居民饮用水安全^[20]。2008 年 6 月梅梁湖浮游植物密度高达 $3.7 \times 10^9 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[21]。随着政府部门加大力度和强度开展太湖水污染治理^[22],太湖蓝藻水华面积没有进一步扩大,目前监测到的蓝藻水华面积均在 1 000 km^2 以下^[23],Li 等^[24]研究发现太湖 2015 年浮游植物密度最大值下降到 $7.4 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,优势物种微囊藻属的优势度为 0.80,均高于本研究发现的浮游植物密度最大值 $2.8 \times 10^8 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,优势物种微囊藻属的优势度 0.37。

一般来说,污染物浓度大,水质综合营养/污染指数(TLI)低时,水生态环境功能区水生态质量指数也低。本研究结果显示水质指数与水生态环境功能区质量指数呈显著正相关,总氮、总磷与水生态环境功能区质量指数呈显著负相关,陈志宁等^[25]发现总氮指标是影响太湖流域上游溇湖底栖动物群落结构的重要因子。太湖流域水生态环境功能区质量等级评价为“一般”且未达到 2020 年管理目标的功能区主要集中在长江干流沿线、太湖入湖上游和湖体(图 1 和图 2),长江干流沿线开发强度大,大大小小的化工企业众多,区域生态问题突出^[26],从上游到下游水生生物多样性呈现下降趋势^[27],长江面临水生生物资源衰退,水生态功能受到威胁^[28]。而太湖湖体入湖河流接纳大量氮磷营养盐^[29],使得浮游藻类大量繁殖,藻类水华频发,浮游藻类指数较低,最终导致水生态环境功能区质量指数降低,胡丽条等^[30]研究发现太湖流域水生态环境功能区需优化政策管控,不然太湖湖体分区的水生态质量指数较难达到管理目标要求。

表 6 不同研究时间底栖动物群落优势种情况
Table 6 Dominant species of benthos community at different study times

研究时间 Year	优势物种 Dominant species	研究者 Researchers
2011	绝对优势种为霍甫水丝蚓 Absolute dominant species: <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	王业耀等 ^[18] Wang et al ^[18]
	绝对优势种为霍甫水丝蚓 Absolute dominant species: <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	陈桥等 ^[19] Chen et al ^[19]
2020	第一优势种霍甫水丝蚓, 第二优势种河蚬 First dominant species <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> and subdominant species <i>Corbicula fluminea</i>	本研究 This study

表 7 不同研究时间浮游植物群落密度情况
Table 7 Phytoplankton community density at different study times

研究时间 Year	浮游植物密度/($\text{cell} \cdot \text{L}^{-1}$) Community density/($\text{cell} \cdot \text{L}^{-1}$)	研究者 Researchers
2008	3.7×10^9	孟顺龙等 ^[21] Meng et al ^[21]
2015	7.4×10^8	Li 等 ^[24] Li et al ^[24]
2020	2.8×10^8	本研究 This study

太湖流域在流域经济社会发展中发挥着极其重要的作用,它属于平原河网区域,河网发达,水系纵横^[31]。近年来,受经济活动和人口增长的影响,流域水体污染严重,平原河网地区河道流速缓慢,且流向顺逆不定,环太湖口门建港设闸,河道未拓浚疏通,如生态Ⅲ级区-11 太湖西岸水环境维持-水文调节功能区无锡宜兴市漕桥河漕桥段在进行河道整治,筑坝断流使得太湖与周围水体的连通性有所降低,降低了水体自净能力和水环境承载能力;生态Ⅲ级区-04 金坛城镇重要生境维持-水质净化功能区常州市境内金坛区夏溪河(尧塘河)太平桥段水质质量等级为“中”,采样期间上游河段水体因河道整治干涸,可能是导致水体的自净能力下降,该点底栖动物质量等级为“一般”的主要原因。这表明生物的特殊性使得其在修复过程较水质理化指标的改善有一定的滞后性,很难短时间内看出成效^[32]。目前太湖流域很多河道有清淤现象,如“小流域河道整治”“农

村环境综合整治”,水生生物栖息地遭到一定程度的破坏,影响水生植被的恢复,底栖动物用于躲避捕食的场所减少,如甲壳纲物种减少,造成底栖动物的死亡,并短期内难以恢复^[33]。如生态Ⅳ级区-03 锡武城镇水环境维持-水质净化功能区锡澄运河锡澄铁路桥测点和生态Ⅳ级区-08 张家港城镇重要生境维持-水质净化功能区苏州张家港市二千河十一圩闸测点底栖动物质量指数几乎为0。太湖流域水生态环境功能区水质质量优于水生生物质量,表明水质综合营养/污染指数无法客观反映水体水生态环境状况^[5]。

综上,太湖流域水生生物群落结构向好发展,水生态环境功能区水生生物质量偏低是影响水生态环境质量管理目标的主要因素,建议在实施《江苏省太湖流域水生态环境功能区(试行)》的基础上,逐步将水生态管理目标纳入日常生态环境管理中。

通信作者简介:蔡永久(1985—),男,博士,副研究员,主要研究方向为流域水生态评价。

参考文献 (References):

- [1] 童克难. “十年治太”成效与流域氮磷污染变化特征解析[N]. 中国环境报, 2020-07-09(1)
- [2] Duan H T, Loiselle S A, Zhu L, et al. Distribution and incidence of algal blooms in Lake Taihu [J]. *Aquatic Sciences*, 2015, 77(1): 9-16
- [3] Qin B Q, Xu P Z, Wu Q L, et al. Environmental issues of Lake Taihu, China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581(1): 3-14
- [4] Paerl H W, Xu H, McCarthy M J, et al. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hyper-eutrophic lake (Lake Taihu, China): The need for a dual nutrient (N & P) management strategy [J]. *Water Research*, 2011, 45(5): 1973-1983
- [5] 李娣, 李旭文, 牛志春, 等. 江苏省不同营养状况湖泊底栖动物群落结构与多样性比较[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(1): 163-172
Li D, Li X W, Niu Z C, et al. A comparative study on macrobenthic community structure and diversity in different trophic status lakes of Jiangsu Province [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(1): 163-172 (in Chinese)
- [6] 王业耀, 阴琨, 杨琦, 等. 河流水生态环境质量评价方法研究与应用进展[J]. *中国环境监测*, 2014, 30(4): 1-9
Wang Y Y, Yin K, Yang Q, et al. Research and application progress of assessment for river water ecosystem quality [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, 30(4): 1-9 (in Chinese)
- [7] 金小伟, 王业耀, 王备新, 等. 我国流域水生态完整性评价方法构建[J]. *中国环境监测*, 2017, 33(1): 75-81
Jin X W, Wang Y Y, Wang B X, et al. Methods development for monitoring and assessment of ecological integrity of surface waters in China [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2017, 33(1): 75-81 (in Chinese)
- [8] 胡开明, 陆嘉昂, 冯彬, 等. 太湖流域水生态功能分区研究[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(19): 98-104
Hu K M, Lu J A, Feng B, et al. Study on aquatic ecological function regionalization in Lake Taihu Basin [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2019, 25(19): 98-104 (in Chinese)
- [9] 李继影, 牛志春, 陈桥, 等. 江苏省太湖流域水生态环境评估的初步实践及展望[J]. *环境监测管理与技术*, 2018, 30(5): 1-3, 7
Li J Y, Niu Z C, Chen Q, et al. Preliminary practice and prospect of water ecological health assessment in Taihu Lake basin of Jiangsu [J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2018, 30(5): 1-3, 7 (in Chinese)
- [10] 江苏省环境保护厅. 江苏省太湖流域水生态环境功能区划(试行)[R]. 南京: 江苏省环境保护厅, 2016
- [11] 江苏省环境保护厅. 关于开展太湖流域水生态环境功能区水生态健康监测工作的通知[R]. 南京: 江苏省环境保护厅, 2017
- [12] 魏崇德. 浙江动物志-甲壳类[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 16
- [13] 尹文英, 梁彦龄, 王洪铸, 等. 中国土壤动物检索图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 90-98, 476-480
- [14] 陈义, 高哲生, 叶正昌, 等. 中国动物图谱-环节动物[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 21-28
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 5-58
- [16] 翁建中. 中国常见淡水浮游生物图谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010: 1-59
- [17] 中国环境监测总站. 环境水质监测质量保证手册[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2019: 3-50
- [18] 王业耀. 中国流域常见水生生物图集(上册) [M]. 北京: 科学出版社, 2020
- [19] 陈桥, 张翔, 沈丽娟, 等. 太湖流域江苏片区底栖大型无脊椎动物群落结构及物种多样性[J]. *湖泊科学*, 2017, 29(6): 1398-1411
Chen Q, Zhang X, Shen L J, et al. Community structure and species diversity of benthic macroinvertebrates in Taihu Basin of Jiangsu Province [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2017, 29(6): 1398-1411 (in Chinese)
- [20] Qin B Q, Zhu G W, Gao G, et al. A drinking water crisis

- in Lake Taihu, China: Linkage to climatic variability and lake management [J]. *Environmental Management*, 2010, 45(1): 105-112
- [21] 孟顺龙, 陈家长, 胡庚东, 等. 2008 年太湖梅梁湾浮游植物群落周年变化[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(4): 577-584
Meng S L, Chen J Z, Hu G D, et al. Annual dynamics of phytoplankton community in Meiliang Bay, Lake Taihu, 2008 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(4): 577-584 (in Chinese)
- [22] Stone R. Ecology. China aims to turn tide against toxic lake pollution [J]. *Science*, 2011, 333(6047): 1210-1211
- [23] 秦伯强, 杨桂军, 马健荣, 等. 太湖蓝藻水华“暴发”的动态特征及其机制[J]. *科学通报*, 2016, 61(7): 759-770
Qin B Q, Yang G J, Ma J R, et al. Dynamics of variability and mechanism of harmful cyanobacteria bloom in Lake Taihu, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2016, 61(7): 759-770 (in Chinese)
- [24] Li D, Wu N C, Tang S, et al. Factors associated with blooms of cyanobacteria in a large shallow lake, China [J]. *Environmental Sciences Europe*, 2018, 30(1): 27
- [25] 陈志宁, 张红高, 周崑, 等. 太湖大型底栖动物群落分布和氮磷因子的相关分析[J]. *环境监控与预警*, 2016, 8(1): 45-50, 59
Chen Z N, Zhang H G, Zhou W, et al. Analysis on the relationship between the distribution of macrobenthos community and nitrogen-phosphorus factor in the Gehu Lake [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2016, 8(1): 45-50, 59 (in Chinese)
- [26] 姚瑞华, 赵越, 王东, 等. 长江中下游流域水环境现状及污染防治对策[J]. *人民长江*, 2014, 45(S1): 45-47
Yao R H, Zhao Y, Wang D, et al. Present situation of water environment in the middle and lower reaches of the Yangtze River and pollution prevention countermeasures [J]. *Yangtze River*, 2014, 45(S1): 45-47 (in Chinese)
- [27] 李娣, 牛志春, 王霞, 等. 长江江苏段底栖动物群落结构与多样性分析[J]. *应用与环境生物学报*, 2015, 21(1): 96-100
Li D, Niu Z C, Wang X, et al. Distribution and diversity of macrobenthic communities in the Jiangsu Reach of the Yangtze River [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2015, 21(1): 96-100 (in Chinese)
- [28] 刘录三, 黄国鲜, 王璠, 等. 长江流域水生态环境安全主要问题、形势与对策[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(5): 1081-1090
Liu L S, Huang G X, Wang F, et al. Main problems, situation and countermeasures of water eco-environment security in the Yangtze River Basin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2020, 33(5): 1081-1090 (in Chinese)
- [29] 范清华, 沈红军, 张涛, 等. 1987—2016 年太湖总氮浓度变化趋势分析[J]. *环境监控与预警*, 2017, 9(6): 8-13
Fan Q H, Shen H J, Zhang T, et al. Changes of total nitrogen concentration in Taihu Lake during 1987—2016 [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2017, 9(6): 8-13 (in Chinese)
- [30] 胡丽条, 黄琴, 毕军, 等. 太湖流域水生态环境功能分区管理指标达成效率评估和预警研究[J]. *环境监控与预警*, 2021, 13(4): 6-13, 29
Hu L T, Huang Q, Bi J, et al. Achievement of efficiency evaluation and early-warning of the management indicators of aquatic ecological environment functional zoning in the Taihu Basin [J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2021, 13(4): 6-13, 29 (in Chinese)
- [31] 陆志华, 蔡梅, 王元元, 等. 浅谈平原河网地区生态友好型调度——以太湖流域为例[J]. *浙江水利科技*, 2017, 45(5): 1-3, 12
Lu Z H, Cai M, Wang Y Y, et al. Discussion on the eco-friendly regulation of water conservancy project in plain river network region: A case of Taihu Basin [J]. *Zhejiang Hydraulics*, 2017, 45(5): 1-3, 12 (in Chinese)
- [32] 张瑞斌, 王乐阳, 潘卓兮, 等. 昆山市牛湾泾黑臭河道治理与生态修复[J]. *中国给水排水*, 2022, 38(8): 133-138
Zhang R B, Wang L Y, Pan Z X, et al. Treatment and ecological restoration of black and odorous water of Niwanjing River in Kunshan [J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(8): 133-138 (in Chinese)
- [33] 陈静, 潘保柱, 武大勇, 等. 洪泽湖底栖动物群落结构及影响因素研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(2): 326-335
Chen J, Pan B Z, Wu D Y, et al. Macroinvertebrate community structure and its relationships with environmental factors in Hongze Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(2): 326-335 (in Chinese)