

“十三五”期间洪泽湖底栖动物多样性调查及趋势分析

杨广利,王芹,杨子毅

(江苏省淮安环境监测中心,江苏 淮安 223001)

摘要:基于2015—2020年洪泽湖底栖动物监测数据,利用生物多样性指数模型方法对洪泽湖底栖动物的种类组成及多样性进行分析,并对水质污染状况进行评价,结合广义线性模型方法对洪泽湖生态变化趋势进行预测。结果表明,“十三五”期间洪泽湖底栖动物种类数总体呈上升趋势,生物多样性有所改善,底栖动物优势种均为河蚬。Goodnight-whitely修正指数(GBI)、生物学污染指数(BPI)、生物指数(BI)以及生物耐污敏感性指标指数(BMWP)4种污染状况评价指数对洪泽湖水质评价结果表明,“十三五”期间洪泽湖生态系统状况基本平稳,水质污染状况介于清洁至轻污染之间,龙集镇北的水质状况应引起重视。模型预测结果显示,“十四五”末洪泽湖生物多样性无明显变化,水质持续保持稳定。研究结论可为水生生物多样性保护提供科学依据。

关键词:底栖动物;生物多样性;生物监测;洪泽湖

中图分类号:Q958.8;X824

文献标志码:A

文章编号:1674-6732(2022)04-0019-05

A Survey on the Dynamic of Benthic Macroinvertebrate Biodiversity of Hongze Lake during 13th Five-Year Plan Period and Its Tendency Prediction

YANG Guang-li, WANG Qin, YANG Zi-yi

(Jiangsu Huai'an Environmental Monitoring Center, Huai'an, Jiangsu 223001, China)

Abstract: According to the biological data of Hongze Lake during 2015—2020, the species composition and diversity of benthos in Hongze Lake are analyzed, and the water quality is evaluated. At the same time, a generalized linear model was constructed to predict the ecological change trend of Hongze Lake. The results show that the number of benthic animal species in Hongze Lake generally shows an upward trend. The diversity of benthic animals in Hongze Lake has improved. River clam is the dominant species. The four ecological environment evaluation indexes, including GBI, BPI, BI and BMWP, also prove that the ecosystem of Hongze Lake is basically stable in recent years and water quality is in the class between clear and light pollution. The prediction model shows that there will be no significant change in biodiversity and the water quality will remain stable in the future. The current conclusion provides scientific basis for protection of benthos biodiversity.

Key words: Benthic macroinvertebrates; Biodiversity; Biomonitoring; Hongze Lake

洪泽湖(118°10'~118°52' E, 33°6'~33°40' N)属于平原浅水型湖泊,水域面积达1 597 km²,是中国五大淡水湖之一、江苏省第二大淡水湖,具有丰富的自然资源以及重要生态系统服务价值。作为苏北地区的重要水源地以及南水北调东线的重要调蓄库,洪泽湖水域生物在物质循环与水生生物链作用中扮演着重要角色,也是生态系统中不可或缺

的一部分。而近年来受粗放式发展模式的影响,洪泽湖非法侵占水域,生物多样性、水体质量下降等生态环境问题较为严重^[1],削弱了洪泽湖生态服务功能的发挥,洪泽湖水生态系统健康遭受严重威胁。

底栖动物是水生态系统中的重要组成部分,同时也是监测环境健康状况与评价的重要指示物

收稿日期:2022-01-05;修订日期:2022-04-12

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(1904)

作者简介:杨广利(1967—),女,高级工程师,硕士,从事环境监测工作。

种^[2],有学者从底栖动物调查^[3]、群落演替^[4]、生物多样性^[5]、生物完整性^[6-9]等角度开展了研究,但针对中长时间序底栖动物生态评价与变化趋势的研究相对较少。现利用“十三五”期间洪泽湖底栖动物监测数据,选取香农威纳指数(H')评价洪泽湖底栖动物物种丰富程度,利用 Goodnight-whitely 修正指数(GBI)、生物学污染指数(BPI)、生物指数(BI)以及生物耐污敏感性指标(BMWP)数值对洪泽湖生态污染状况进行了分析,在此基础上构建广义线性模型对底栖动物多样性进行分析及预测^[10],为洪泽湖流域的合理开发利用与可持续发展提供基础资料。

1 研究方法

1.1 采样时间

2015—2020 年每年春、秋季对各个点位进行一次采样。

1.2 采样点位

在洪泽湖共设置 9 个点位,分别为国控点 6 个(龙集镇北、成河乡中、临淮乡、老山乡、高良涧镇、蒋坝镇),另增设 3 个点位(成河乡东、成河乡北、成河乡西),具体监测点位示意图 1。

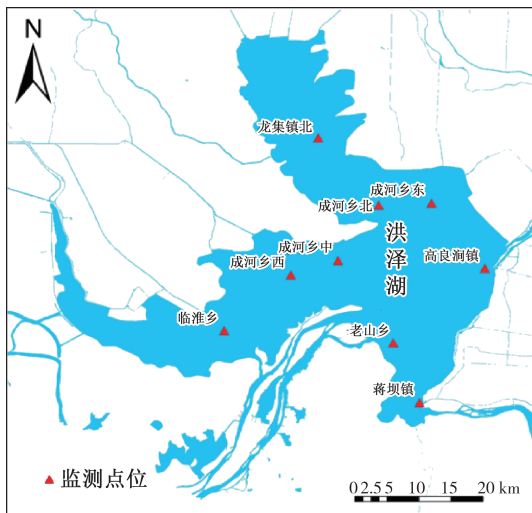


图 1 洪泽湖监测点位示意

1.3 样品采集与处理

底栖动物的采集与分析均按照《水和废水监测分析方法》(第四版)进行。采样时使用开口为 $1/16 \text{ m}^2$ 的采泥器采集 4 个样方,40 目筛网筛洗后装入自封袋,4℃ 冷藏保存,并在一定时间内完成活

体挑拣。挑拣出的个体用浓度为 70% 的乙醇溶液固定,在实验室进行分类鉴定和计数,并按湿重称量法测量生物量,对鉴定好的物种按照采样面积计算其密度。

1.4 数据处理与分析

采用香农威纳指数(H')对底栖动物多样性进行评价,计算公式如下:

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

式中: P_i ——物种 i 所占点位总密度百分比。 H' 值的大小意味着群落多样性的高低,其值越大,物种多样性越高,反之多样性越低。

H' 对应评价标准如下: $H' > 3$,物种丰富; $2 < H' \leq 3$,较丰富; $1 < H' \leq 2$,多样性一般; $0 < H' \leq 1$,贫乏; $H' = 0$,极贫乏。

利用 GBI、BPI、BI 以及 BMWP 指数对洪泽湖生态状况进行评价,计算公式如下:

$$GBI = \frac{N - N_{oli}}{N} \quad (2)$$

$$BPI = \frac{\log(N_1 + 2)}{\log(N_2 + 2) + \log(N_3 + 2)} \quad (3)$$

$$BI = \sum (T_i)(N_i) / N \quad (4)$$

$$BMWP = \sum T_i \quad (5)$$

式中: N ——样品中底栖动物总数; N_{oli} ——样品中寡毛类总数; N_1 ——寡毛类、蛭类和摇蚊幼虫个体数,个/ m^2 ; N_2 ——多毛类、甲壳类、除摇蚊幼虫以外的其他水生昆虫的个体数,个/ m^2 ; N_3 ——软体类个体数,个/ m^2 ; N_i ——第 i 个分类单元的个体数,个; T_i ——第 i 个分类单元的质量值,g。

GBI 对应评价标准如下: $0.4 < GBI \leq 1$,水质清洁至轻污染; $0.2 < GBI \leq 0.4$,中污染; $0 < GBI \leq 0.2$,重污染; $GBI = 0$,严重污染且样品中无底栖动物生存。

BPI 对应评价标准如下: $BPI \leq 0.1$,水质清洁; $0.1 < BPI \leq 0.5$,轻污染; $0.5 < BPI \leq 1.5$, α -中污染; $1.5 < BPI \leq 5.0$, β -中污染; $BPI > 5.0$,重污染。

BI 对应评价标准如下: $BI < 5.40$,水质极清洁; $5.40 \leq BI < 6.44$,清洁; $6.44 \leq BI < 7.48$,轻污染; $7.48 \leq BI \leq 8.51$,中污染; $BI > 8.51$,重污染。

BMWP 对应评价标准如下: $BMWP \geq 43$,水质极清洁; $32 \leq BMWP < 43$,清洁; $22 \leq BMWP < 32$,轻

污染; $11 \leq \text{BMWP} < 22$, 中污染; $\text{BMWP} < 11$, 重污染。

通过广义线性模型方法构建生物指标与环境变量间的预测模型。采用 Origin 8.0 和 Excel 对底栖动物群落结构以及水环境因子进行统计, 利用 SPSS 20 构建广义线性模型。

2 结果与分析

2.1 底栖动物种类组成及趋势分析

2015—2020 年洪泽湖底栖动物主要种类组成见图 2。由图 2 可见, 2015 年共发现底栖动物 13 种, 其中软体动物门 8 种, 环节动物门 3 种, 节肢动物门 2 种; 2016 年共发现底栖动物 9 种, 其中软体动物门 4 种, 环节动物门 3 种, 节肢动物门 2 种; 2017 年共发现底栖动物 10 种, 其中软体动物门 4 种, 环节动物门 4 种, 节肢动物门 2 种; 2018 年共发现底栖动物 5 种, 其中软体动物门 1 种, 环节动物门 2 种, 节肢动物门 2 种; 2019 年共发现底栖动物 7 种, 其中软体动物门 1 种, 环节动物门 3 种, 节肢动物门 3 种; 2020 年共发现底栖动物 22 种, 其中软体动物门 7 种, 环节动物门 7 种, 节肢动物门 7 种。2015—2020 年底栖动物优势种均为河蚬。

2015—2020 年洪泽湖底栖动物、软体动物种类数变化趋势见图 3。由图 3 可见, 2015—2020 年底栖动物种类数变化范围为 5~22, 其中 2015—2017 年种类数基本维持稳定, 2018—2019 年有所减少, 2020 年生物种类数增加。洪泽湖底栖动物种类数总体来说呈上升趋势。其中对水质要求较高的软体动物种类数在 2015—2020 年基本稳定。主要原因为“十三五”以来, 江苏省和淮安市两级政府加强了洪泽湖生态环境保护, 印发了《关于加强洪泽湖生态保护和科学利用的实施意见》《江苏

省洪泽湖保护规划》等一系列政策文件。2020 年以来, 淮安市政府投入 30 亿元实施“两船”整治与渔民上岸工程。生态文明建设的刚性约束, 大大降低了洪泽湖外源污染的输入, 初步控制了农业面源污染, 减少了渔业资源捕捞, 丰富了生物多样性, 使得底栖动物物种数在 2020 年有了较大幅度的提高。

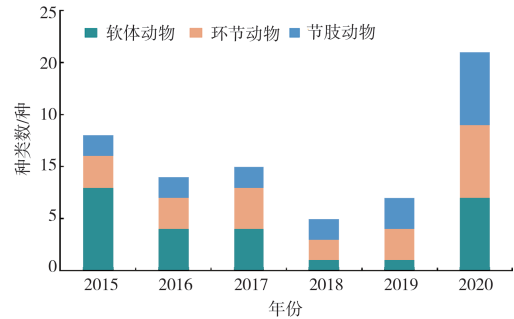


图 2 2015—2020 年洪泽湖底栖动物主要种类组成

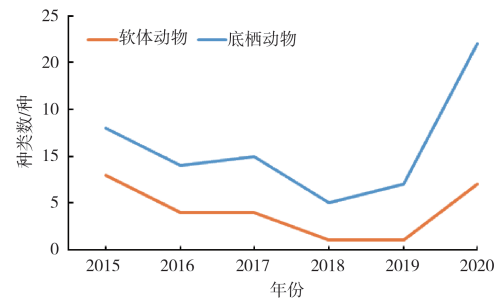


图 3 2015—2020 年洪泽湖底栖动物、软体动物种类数变化趋势

2.2 底栖动物多样性分析

2015—2020 年洪泽湖底栖动物生物多样性监测结果见表 1。

表 1 2015—2020 年洪泽湖底栖动物生物多样性监测结果

点位	2015 年		2016 年		2017 年		2018 年		2019 年		2020 年	
	H'指数值	评价结果	H'指数值	评价结果	H'指数值	评价结果	H'指数值	评价结果	H'指数值	评价结果	H'指数值	评价结果
高良涧镇	2.58	较丰富	2.86	较丰富	2.36	较丰富	2.39	较丰富	2.66	较丰富	3.31	丰富
蒋坝镇	2.44	较丰富	2.31	较丰富	2.29	较丰富	1.73	一般	1.77	一般	2.11	较丰富
老山乡	2.53	较丰富	3.16	丰富	2.55	较丰富	2.55	较丰富	2.36	较丰富	1.67	一般
临淮乡	2.43	较丰富	1.98	一般	1.99	一般	0.45	贫乏	2.27	较丰富	3.84	丰富
成河乡中	2.45	较丰富	1.96	一般	1.92	一般	0.95	贫乏	1.32	一般	2.60	较丰富
成河乡北	2.59	较丰富	1.70	一般	1.81	一般					1.54	一般
龙集镇北	2.64	较丰富	1.34	一般	1.58	一般	0.25	贫乏	1.42	一般	1.29	一般
成河乡东	2.78	较丰富	1.97	一般	2.07	较丰富					1.53	一般
成河乡西	2.58	较丰富	2.86	较丰富	2.36	较丰富	2.39	较丰富	2.66	较丰富	3.31	丰富

由表 1 可见,2015—2020 年底栖动物多样性在一般至较丰富之间,高良涧镇、临淮乡和成河乡西生物多样性趋好,蒋坝镇、成河乡中、成河乡西、成河乡北、龙集镇北、成河乡东生物多样性基本稳定。2018 年有 3 个点位的生物多样性贫乏,推测原因可能与当年度干旱引起水位降低,物种多样性减少有关。

2.3 底栖动物水质评价

选用 GBI、BPI、BI、BMWP 4 种指数对各监测点位的水质状况进行评价,2015—2020 年洪泽湖各点位指数变化情况见图 4(a)(b)(c)(d)。

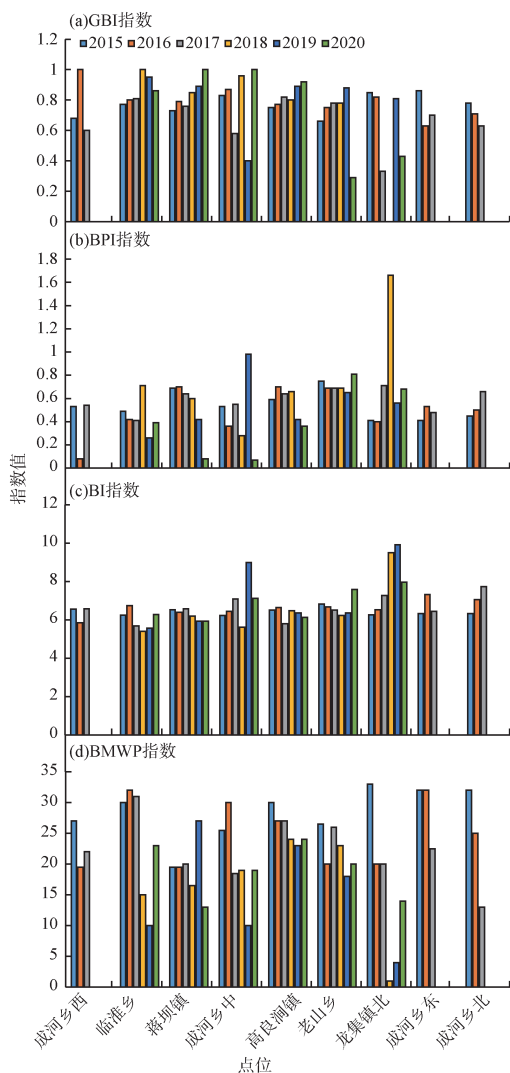


图 4 2015—2020 年洪泽湖各点位指数变化情况

由图 4(a) 可见, GBI 指数法显示各监测点位在不同年度均处在清洁至轻污染之间, 点位间和年度间变化均不大, 龙集镇北在 2017 和 2018 年分别

为中污染和严重污染等级; 由图 4(b) 可见, BPI 指数法显示多数点位在不同年度均处在轻污染至 α -中污染之间, 仅 2018 年在龙集镇北出现了 β -中污染; 由图 4(c) 可见, BI 指数法显示多数点位在不同年度均处在清洁至轻污染之间, 仅成河乡中(2019 年) 和龙集镇北(2018、2019 年) 个别年度为重污染; 由图 4(d) 可见, BMWP 指数法显示多数点位在不同年度均处在清洁至中污染之间, 临淮乡(2019 年)、成河乡中(2019 年) 和龙集镇北(2018、2019 年) 个别年度为重污染。总体而言, “十三五” 期间洪泽湖污染状况介于清洁至轻污染之间, 龙集镇北、成河乡中和临淮乡在 2018—2019 年评价结果出现 1~2 次重污染, 可能与当年洪泽湖流域出现大面积干旱引起的物种种类减少有关。成河乡东、成河乡西和成河乡北由于不是国控点位, 2018—2020 年以来未做采样分析, 因此缺少相关数据。

2.4 生物多样性趋势分析

2.4.1 模型构建

采用广义线性模型方法构建预测模型^[11] 来预测洪泽湖底栖动物生物多样性的变化趋势。底栖动物多样性指数作为应变量, 水质理化变量 pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮和总磷浓度作为模型的预测变量。

以底栖动物 H' 指数作为被预测变量, 得到初步的预测模型如下:

$$Y = 1.761 - 0.179X_1 + 0.013X_2 + 0.147X_3 + 0.105X_4 - 0.098X_5 + 1.197X_6$$

以底栖动物 Simpson 物种多样性指数(D) 作为被预测变量, 得到初步的预测模型如下:

$$Y = 0.632 - 0.046X_1 + 0.008X_2 + 0.054X_3 + 0.031X_4 + 0.021X_5 + 0.495X_6$$

以底栖动物 Pielou 均匀度指数(J) 作为被预测变量, 得到初步的预测模型如下:

$$Y = 0.665 - 0.004X_1 + 0.006X_2 + 0.027X_3 + 0.007X_4 - 0.161X_5 + 0.306X_6$$

式中: X_1 ——pH 值; X_2 ——溶解氧质量浓度, mg/L; X_3 ——高锰酸盐指数, mg/L; X_4 ——五日生化需氧量, mg/L; X_5 ——氨氮质量浓度, mg/L; X_6 ——总磷质量浓度, mg/L。

2.4.2 模型验证

使用 2021 年上半年对北京路水厂取水口、戴楼衡阳、洪金、淮河大桥等共 8 个点位的理化指标

实际监测值代入预测模型,对洪泽湖底栖动物生物多样性进行预测,洪泽湖底栖动物多样性指数预测值与实际值对比结果见表2。

表2 洪泽湖底栖动物多样性指数预测值与实际值对比

点位	H'		D		J	
	实际值	预测值	实际值	预测值	实际值	预测值
北京路水厂取水口	1.304	0.805	0.675	0.638	0.810	0.810
戴楼衡阳	1.375	0.675	0.666	0.568	0.661	0.776
洪金	1.477	0.880	0.707	0.747	0.759	0.864
淮河大桥	1.642	0.817	0.711	0.661	0.713	0.799
淮阴区取水口	2.173	0.820	0.835	0.643	0.823	0.812
唐曹	1.521	0.846	0.765	0.699	0.849	0.736
五叉河口	1.493	0.690	0.670	0.592	0.582	0.781
总渠苏嘴	1.475	0.806	0.735	0.611	0.917	0.788

由表2可见,D和J指数模型的预测值和实际值更接近,而H'指数模型的预测值与实际值相差较大。因此选择D与J指数模型进行进一步预测。

2.4.3 2025年生物多样性指数预测

高良涧镇、蒋坝镇和老山乡3个点位“十四五”末(2025年)的洪泽湖底栖动物生物多样性指数预测结果见表3。

表3 洪泽湖底栖动物生物多样性指数预测值

点位	年份	D	J
高良涧镇	2021	0.512 8	0.779 2
高良涧镇	2025	0.506 6	0.781 9
蒋坝镇	2021	0.503 4	0.780 9
蒋坝镇	2025	0.493 6	0.772 4
老山乡	2021	0.515 5	0.786 5
老山乡	2025	0.512 1	0.784 5

由表3可见,2025年预测值与2021年实际测量值基本持平,水质基本稳定,底栖动物生物多样性无明显变化。

3 结论

(1)2015—2020年洪泽湖底栖动物类群主要有软体动物门、环节动物门和节肢动物门,优势种均为河蚬,底栖动物种类数介于5~22种,2020年最多。从年度变化趋势来看,“十三五”期间底栖

动物种类数略有波动,但总体上呈上升趋势,生物多样性有所改善。

(2)用4种指数方法对2015—2020年洪泽湖水水质污染状况评价的结果基本一致,除龙集镇北点位以外,其他点位在不同年度水质污染状况均处在清洁至轻污染之间,时间和空间上变化均不大。龙集镇北在4种指数计算中结果为中污染至重污染,应引起足够重视。

(3)预测模型结果显示,“十四五”末(2025年)洪泽湖底栖动物生物多样性与2021年相比基本无变化,水质稳定。

[参考文献]

- [1] 严维辉,潘元潮,郝忱,等.洪泽湖底栖生物调查报告[J].水利渔业,2007(3):65-66.
- [2] BLASCO J,DRAKE P M. An integrative approach using benthos to evaluate environmental quality of the Sancti-Petri saltmarsh area[J]. Marine Environmental Research, 2008, 66(1): 200-205.
- [3] 章飞军,童春富,谢志发,等.长江口潮间带大型底栖动物群落演替[J].生态学报,2007,27(12):4944-4952.
- [4] 余骥,马长安,吕巍巍,等.崇明东滩潮间带大型底栖动物的空间分布与历史演变[J].海洋与湖沼,2013,44(4): 1078-1085.
- [5] 安传光,赵云龙,林凌,等.崇明岛潮间带夏季大型底栖动物多样性[J].生态学报,2008,28(2):577-586.
- [6] 刘录三,郑丙辉,李宝泉,等.长江口大型底栖动物群落的演变过程及原因探讨[J].海洋学报(中文版),2012,34(3): 134-145.
- [7] 徐宗学,刘麟菲.渭河流域水生态系统健康评价[J].人民黄河,2021,43(10):40-43,50.
- [8] 杨晓明,韩雪梅,梁子安,等.人类活动干扰下大型底栖动物功能多样性评价[J].河南师范大学学报(自然科学版),2020,48(4):96-102.
- [9] 蔡永久,张祯,唐荣桂,等.洪泽湖生态系统健康状况评价和保护[J].江苏水利,2020(7):1-7,13.
- [10] 张超文,张堂林,朱挺兵,等.洪泽湖大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系[J].水生态学杂志,2012,33(3): 27-33.
- [11] 陈希孺.广义线性模型(一)[J].数理统计与管理,2002(5): 54-61.

栏目编辑 王 湜 谭 艳