

柳溪湖生态修复前后浮游动物群落结构变化

杨东妮¹, 路文丽¹, 吴佳虹¹, 郑雅雯¹, 宋文杨¹, 赵佳瑞¹, 刘曼红^{1*}, 翟昊²

¹东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

²宁夏林业项目管理中心, 银川 宁夏

收稿日期: 2023年5月11日; 录用日期: 2023年6月13日; 发布日期: 2023年6月21日

摘要

为探究生态修复对浮游动物群落结构及水质的影响, 分别于2015年和2020年的7月与10月对宁夏柳溪湖(东经106°8'20"~106°9'32", 北纬37°58'58"~38°0'5")进行采样调查研究。根据柳溪湖的湖泊状况, 共设置了6个采样点。生态修复后柳溪湖浮游动物种类和数量均明显增加; 浮游动物丰度与生物量均普遍升高; 优势种数量增多, 优势度指数相比于生态修复前升高。夏季(7月)浮游动物丰度和生物量均高于秋季(10月)。生态修复后, Shannon-Wiener多样性指数(H')7月上升, 10月下降; Pielou均匀度指数(J)则出现相反现象, 为7月下降、10月上升。这表明, 生态修复后的柳溪湖环境可能更适合浮游动物生存, 但在生态修复中柳溪湖浮游动物群落结构并不稳定, 可能需要较长时间的生物演替才可使得浮游动物群落趋于更稳定状态。

关键词

宁夏柳溪湖, 生态修复, 生物指数, 浮游动物

Variation of Zooplankton Community Structure before and after Ecological Restoration in Liuxi Lake

Dongni Yang¹, Wenli Lu¹, Jiahong Wu¹, Yawen Zheng¹, Wenyang Song¹, Jiarui Zhao¹, Manhong Liu^{1*}, Hao Zhai²

¹College of Wildlife and Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Ningxia Forestry Project Management Center, Yinchuan Ningxia

Received: May 11th, 2023; accepted: Jun. 13th, 2023; published: Jun. 21st, 2023

*通讯作者。

文章引用: 杨东妮, 路文丽, 吴佳虹, 郑雅雯, 宋文杨, 赵佳瑞, 刘曼红, 翟昊. 柳溪湖生态修复前后浮游动物群落结构变化[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(3): 604-612. DOI: 10.12677/aep.2023.133074

Abstract

To investigate the impact of ecological restoration on the community structure and water quality of zooplankton, experiments were conducted in July and October of 2015 and 2020 on Liuxi Lake in Ningxia (East longitude 106°8'20"~106°9'32", North Latitude 37°58'58"~38°0'5"). Conduct sampling survey research. According to the lake conditions of Liuxi Lake, a total of 6 sampling points were set up. After ecological restoration, the species and quantity of zooplankton in Liuxi Lake have significantly increased; the abundance and biomass of zooplankton generally increase; the number of dominant species increased, and the dominance index increased compared with that before ecological restoration. The abundance and biomass of zooplankton in summer (July) are higher than in autumn (October). After ecological restoration, the Shannon Wiener diversity index (H') increased in July and decreased in October; the Pielou evenness index (J) showed the opposite phenomenon, with a decrease in July and an increase in October. This indicates that the environment of Liuxi Lake after ecological restoration may be more suitable for the survival of zooplankton, but the community structure of zooplankton in Liuxi Lake is not stable during ecological restoration, and it may take a long time for biological succession to make the zooplankton community tend to a more stable state.

Keywords

Liuxi Lake, Ecological Restoration, Biotic Index, Zooplankton

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湖泊湿地是指包括湖泊水体本身的湖泊岸边或浅湖发生沼泽化过程形成的湿地，它是陆表系统各个要素相互作用的节点，是生态系统的重要组成部分，是地球上重要的淡水资源库、洪水调蓄库和物种基因库，与人类的生产与生活息息相关，具有维系生态平衡、防洪减灾、提供水产、水资源以及休闲旅游等多种生态服务功能[1]。

浮游动物是湖泊生态系统中的一个重要类群，他们体型较小，广泛分布于水体中，并且生长周期短，代谢旺盛，繁殖能力强、速度快，可迅速占领水环境中的空余生态位，是水生态系统食物网结构的关键环节[2]。浮游动物群落结构常受非生物因素和生物因素等多种因素的综合影响，浮游动物在不同自然地理环境、水体类型以及人类活动影响的条件下，因为其特殊的生活方式对水环境和水文变化非常敏感，其种类组成、数量变化、优势种及污染指示种的变化也有较大不同，能及时且准确地反映水体生态环境的质量状况，对环境变化起指示作用[3] [4] [5]。有研究表明，生物监测技术比传统的监测技术更加灵敏且具有综合性，通过对浮游动物的种类及其迁移位置的跟踪监测，可以判断不同地区的水体污染程度[6]。

柳溪湖湿地公园位于宁夏回族自治区，地处内陆，远离海洋，是典型的大陆性气候。宁夏回族自治区是中国水资源最少的省区，大气降水、地表水和地下水都十分贫乏。这里干旱少雨，全区多年平均年径流量仅为全国均值的 1/15，日照充足，蒸发量大，并且人为活动的干扰，使得柳溪湖丧失部分天然湿地，导致生态结构被破坏，生物多样性降低，湿地生态功能、社会效益锐减，抵御自然灾害能力减弱[3] [7]

[8]。从 2015~2020 年通过对柳溪湖进行自然和人工修复的生态修复方式来恢复和稳定柳溪湖水域生态系统的结构和功能。有关资料等表明,柳溪湖在生态修复后浮游植物多样性、丰富度和群落结构均发生了很大变化[2]。

为进一步了解宁夏柳溪湖湿地的水生态现状,本研究于生态修复前后对浮游生物开展调查,分析柳溪湖 2015 年(生态修复前)与 2020 年(生态修复后)浮游动物群落结构特征和生物多样性以及水体质量状况变化,对柳溪湖生态修复效果进行初步评估,为柳溪湖湿地水生态修复和水资源管理提供科学支撑。

2. 研究地概况与研究方法

2.1. 研究地概况

柳溪湖湿地面积 107 hm²,位于宁夏吴忠市利通区吴忠黄河国家湿地公园内,毗邻黄河,距离黄河 20 km,地理坐标为东经 106°8'20"~106°9'32",北纬 37°58'58"~38°0'5",属于中温带典型大陆性气候,海拔 1130 m。开阔水面、芦苇或香蒲丛群和有限人工痕迹的典型西北内陆干旱淡水浅水型湖泊景观,这些都是柳溪湖可作为银川平原典型湖泊的景观特征。为修复日渐萎缩的柳溪湖湿地,当地政府曾开展生态补水和水面补水、清淤疏浚、增殖放流、植被恢复以及退渔还湿等多项生态修复活动,并不断加强对湖泊湿地的保护力度。

根据吴忠市生态环境局柳溪湖断面水质报告,2018 年、2019 年、2020 年柳溪湖水质基本稳定在Ⅳ类,2020 柳溪湖水质 1、3 月份为Ⅲ类,有向好趋势。

2.2. 采样点设置

为了对比柳溪湖湿地生态修复前后浮游动物群落结构的变化,本研究以宁夏柳溪湖为研究对象,结合柳溪湖的生态状况,共设置了 6 个采样点,分别于 2015 年与 2020 年的夏季(7 月)、秋季(10 月)进行了 4 次采样。根据湖泊的地理状况,在湖心、调水航道中心、主要的进水口和出水口、湖泊沿岸带(水草根垫)、湖泊航道、湖泊底泥疏浚带等布设采样点。研究区各样点 GPS 定位及环境特征详见表 1,采样点位置如图 1 所示。

2.3. 数据处理与分析

浮游动物的研究方法参考《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南(征求意见稿)》(2020 年),计数方法参照《淡水浮游生物研究方法》[9]和《水生生物学》中个体湿重的计算方法;轮虫的鉴定参照《中国淡水轮虫志》[10],枝角类鉴定参照《中国动物志》(淡水枝角类)[11],挠足类鉴定参照《中国动物志》(淡水烧足类)[12]。

Table 1. Coordinates of sampling points and environmental characteristics of aquatic organisms in Liuxi Lake
表 1. 柳溪湖水生生物调查采样点坐标及环境特征

样点	经度	纬度	采样点环境特征
LXL1	106°8'26.10"	37°59'20.20"	公路桥下,沙砾底质,水呈黄绿色
LXL2	106°8'31.00"	37°59'31.10"	地质以鹅卵石底为主,水呈黄绿色
LXL3	106°8'49.10"	37°59'39.60"	地质以鹅卵石底为主,水呈黄绿色
LXL4	106°9'0.03"	37°59'41.92"	地质以鹅卵石底为主,水呈黄绿色
LXL5	106°8'57.74"	37°59'52.53"	地质以鹅卵石底为主,水呈黄绿色
LXL6	106°9'13.54"	38°0'2.28"	水泥硬质堤岸附近,岸上植被覆盖率高

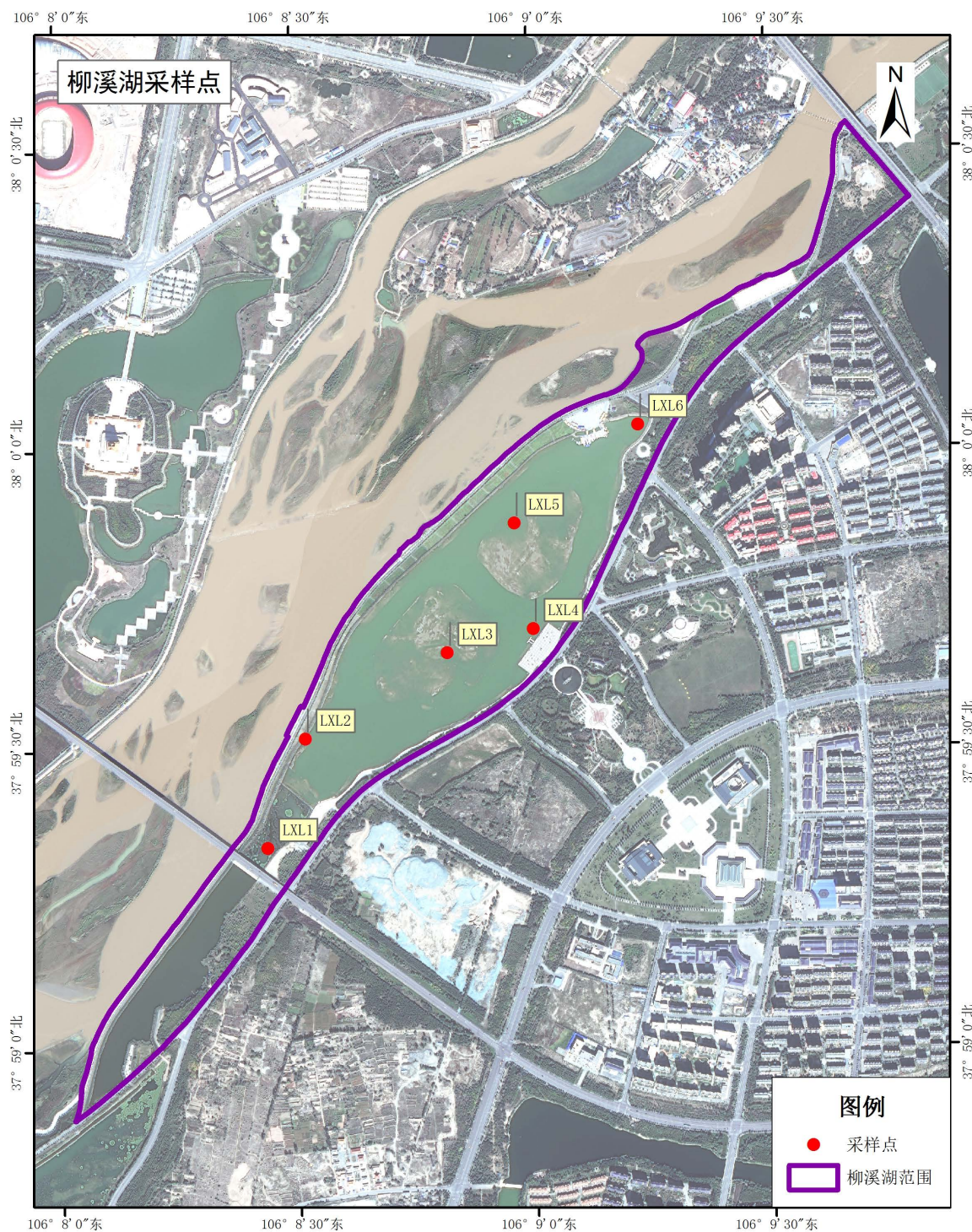


Figure 1. The geographical location of sampling sites
图 1. 采样点的地理位置示意图

采用 SPSS 22.0 统计软件中 one-way ANOVA 对所得数据进行单因素方差分析, 检测物种多样性之间是否存在组间差异。采用统计分析软件(PAST)计算 Shannon-Wiener 多样性指数(H') [13]、Margalef 丰富度指数(D) [14]以及 Pielou 均匀度指数(J) [15]优势度指数(Y)进行生物多样性分析。

$$\text{重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对盖度} + \text{相对密度})/3$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数: } H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 指数: } J = H'/\ln S$$

$$\text{优势度指数: } Y = f_i n_i / N$$

式中, S 为样方种出现的物种总数; P_i 为第 i 种的相对重要值。当 $Y > 0.02$ 时, 该物种为群落的优势种。

3. 结果与分析

3.1. 生态修复对柳溪湖浮游动物物种组成的影响

如表 2 所示, 柳溪湖 2015 年(生态修复前)7 月鉴定出浮游动物 17 种, 10 月鉴定出浮游动物 15 种, 轮虫在四种浮游动物中种类最多, 均为 8 种, 分别占物种总数的 47% 与 53%; 2020 年(生态修复后) 7 月鉴定出浮游动物共 63 种, 10 月鉴定出 13 种, 轮虫依旧占据优势地位, 分别占物种总数的 46% 与 62%。值得注意的是, 2020 年 7 月桡足类虽不及轮虫占比多, 但仍占有较大比重, 达到 36%。2020 年(生态修复后)与 2015 年(生态修复前)相比, 浮游动物种类明显增多, 特别是在 7 月, 前者为后者 3 倍之多。这说明生态修复对浮游动物存在较大影响, 物种丰富度明显增加。

Table 2. Zooplankton species composition in Liuxi Lake

表 2. 柳溪湖浮游动物物种组成

采样时间	原生动物		轮虫		枝角类		桡足类	
	种类数	比例	种类数	比例	种类数	比例	种类数	比例
2015 年 7 月	5	29%	8	47%	1	6%	3	18%
2015 年 10 月	4	27%	8	53%	0	0%	3	20%
2020 年 7 月	8	13%	29	46%	3	5%	23	36%
2020 年 10 月	1	8%	8	62%	0	0%	4	30%

3.2. 生态修复对柳溪湖浮游动物丰度与生物量的影响

生态修复后浮游动物丰度和生物量普遍远大于生态修复前。如表 3 所示 2020 年 7 月柳溪湖浮游动物平均丰度为 $14783.4 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$, 是 2015 年 7 月的 128.67 倍; 2020 年 7 月柳溪湖浮游动物平均生物量为 $34.44965 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 是 2015 年的 749.56 倍。从健康评价状况看, 湖泊生态系统健康状况由 2015 年的中、差, 改善为 2020 年优、优。说明柳溪湖在生态修复后, 水体质量变好, 浮游动物群落丰度与生物量有明显增加。

Table 3. The abundance, biomass of zooplankton in Liuxi Lake and health evaluation condition

表 3. 柳溪湖浮游动物丰度、生物量及其健康评价状况

年份	时间	丰度($\text{ind}\cdot\text{L}^{-1}$)	生物量($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
2015	7 月	114.9	0.04596
	10 月	35.1	0.01404
2020	7 月	14783.4	34.44965
	10 月	730.0	1.79100

3.3. 生态修复前后浮游动物优势种变化

优势度可表示为一个种在群落中的地位与作用, 优势度指数越大, 说明群落内物种数量分布越不均匀, 优势种的地位越突出。浮游动物作为水生态中的重要组成部分, 其优势物种的优势度指数也是为水生生态系统中生物构成的重要指标, 当物种生态状态较好时, 优势种会表现出较高的物种优势度[3]。由表 4 可见: 生态修复后柳溪湖湿地夏季(7 月)浮游动物优势种从 2015 年的 3 种增加至 2020 年的 9 种, 其中轮虫从 1 种增加至 7 种; 秋季(10 月)浮游动物优势种从 2015 年的 2 种增加至 2020 年的 3 种, 其中轮虫从 1 种增加至 3 种。2015 年发现的 1 种原生动物“绿急游虫”在 2020 年未发现。总体来说, 柳溪湖经过生态修复后, 浮游动物优势种增加, 浮游动物群落结构趋于更加完善。

Table 4. Dominant species of zooplankton in Liuxi Lake

表 4. 柳溪湖浮游动物优势种

时间 Time	所属类群	优势种 Dominant species	优势度 Dominant Y	
2015	原生动物	绿急游虫 <i>Strombidium viride</i>		
	7 月	轮虫	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	
		桡足类	爪哇小剑水蚤 <i>Microcyclops javanus</i>	
2020	10 月	原生动物	绿急游虫 <i>Strombidium viride</i>	
		轮虫	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	
2020	7 月		裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	0.1464
			萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.2961
			角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	0.0338
			花筐臂尾轮虫 <i>Brachionus capsuliflorus</i>	0.0480
			长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	0.0294
			针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.0294
			前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	0.0730
2020	10 月	枝角类	长额象鼻溞 <i>Bosmina coregoni</i>	0.0263
		桡足类	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.0407
		轮虫	裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	0.4130
		萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.2065	
		剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	0.0652	

3.4. 生态修复对柳溪湖浮游动物生物多样性的影响

单因素方差分析显示, 柳溪湖各样点间生物多样性指数无显著差异($P > 0.05$)。如表 5 所示, 柳溪湖 2015 年(生态修复前)和 2020 年(生态修复后)相比, 夏季(7 月)时 Shannon-Wiener 多样性指数(H')由 2.625 上升为 3.5421, Pielou 均匀度指数(J)由 0.737 下降为 0.705; 秋季(10 月) Shannon-Wiener 多样性指数(H')由 2.270 下降为 2.188, Pielou 均匀度指数(J)由 0.749 上升为 0.862。生态修复后, 柳溪湖 Shannon-Wiener 多样性指数(H')7 月上升、10 月下降, 而 Pielou 均匀度指数(J)则相反, 为 7 月下降、10 月上升。

Table 5. Biodiversity index of zooplankton in Liuxi Lake
表 5. 柳溪湖浮游动物生物多样性指数

采样时间	H'		J	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
2015 年 7 月	2.625	0.334	0.737	0.117
2015 年 10 月	2.270	0.363	0.749	0.055
2020 年 7 月	3.542	0.492	0.705	0.084
2020 年 10 月	2.188	0.511	0.862	0.057

4. 讨论

浮游动物通常以浮游植物为食，在水生态系统生物链中处于第二营养级，具有承上启下的作用[16]。相关研究表明，柳溪湖在进行生态修复后，浮游植物丰度和生物量普遍增加，并且呈现夏季高于秋季的季节的特点[17]。本研究结果显示在生态修复后，浮游动物的丰度和生物量显著增加，这可能是由于浮游植物生物量的增加为浮游动物提供了更多食物来源。浮游植物和浮游动物在夏季和秋季的变化相关性较强，进一步验证了此推论。柳溪湖生态修复过程中曾进行过生态补水 and 水面补水。水位变化是影响水生态系统状态变化的主要因素，水位波动较强的浮游动物优势类群及丰度在不同时期有着显著性差异，而在水位波动不明显时浮游动物群落无显著性变化。这可能也是浮游动物丰度和生物量显著变化的原因之一。此外，柳溪湖湿地还曾进行增殖放流、退渔还湿等生态修复活动，通过人工方法直接向柳溪湖水域投放或移入渔业生物的卵子、幼体或成体，以恢复或增加种群的数量，改善和优化水体的群落结构。浮游动物作为初级消费者和水生食物链的关键环节，通过“上行效应”和“下行效应”制约初级生产者和高营养水平消费者的群落结构。相对应的，水域中高营养水平消费者的种类及数量也会影响浮游动物的群落结构。柳溪湖浮游动物的种类主要为轮虫、原生动物和桡足类，轮虫占据主导地位。这是由于轮虫具有独特的孤雌生殖方式，能在很短的时间内达到很高的丰度，且能快速适应水体水质条件的改变和水文条件的波动，因此，浮游动物群落结构中通常以轮虫群落为主[18]。

本次研究通过分析生态修复前后浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)对柳溪湖的水体状况进行评价。Shannon-Wiener 多样性指数(H')结果显示：2015 年柳溪湖夏季和秋季均为轻污染，2020 年夏季为无污染，秋季为轻污染。这可能与 2015 年以来开展的湿地生态修复措施有关，如：生态补水、水面补水、清淤疏浚等措施可通过提高水体流动性，加大水环境容量及自净能力，从而使湖泊水体健康状况好转。

影响浮游动物群落结构的因素有很多，包括温度、营养盐、pH、叶绿素 a、透明度等非生物因素，以及竞争、捕食等非生物因素。由于浮游动物特殊的浮游生活方式，它们没有可在水中活动的游泳器官，普遍没有游泳能力，有些种类有鞭毛，能靠摆动鞭毛在水中移动，运动速度缓慢、运动距离也不长，对水环境变化非常敏感[19]。在湿地生态修复过程中，浮游动物的群落结构等还不够稳定，容易受到各方面的影响，即便达到群落结构稳定，也需要很长时间。

浮游动物物种多样性指数是反映浮游动物种类和数量的重要指标，多样性指数越高，反应群落物种越丰富，数量分布越均匀，常被用于评价湖泊水体健康状况[20]。虽然有研究者表示仅利用生物多样性指数并不能准确地评价水质，应当综合考虑相关因素才能得出全面的结论[21] [22]，但本研究对柳溪湖生态修复效果进行初步评估，为柳溪湖湿地生态修复和水资源管理提供一定的参考依据。

5. 结论

1) 柳溪湖 2015 年(生态修复前)7 月鉴定出浮游动物 17 种, 10 月鉴定出浮游动物 15 种; 2020 年(生态修复后)7 月鉴定出浮游动物共 63 种, 10 月鉴定出 13 种。轮虫一直处于优势地位;

2) 柳溪湖 7 月浮游动物优势种由 2015 年(生态修复前)的 3 种增至 2020 年(生态修复后)的 9 种; 10 月浮游动物优势种由 2015 年(生态修复前)的 2 种增至 2020 年(生态修复后)的 3 种。生态修复后浮游动物的优势种增多且优势度整体呈现上升趋势;

3) 柳溪湖 2020 年(生态修复后)7 月浮游动物平均丰度为 2015 年(生态修复前)的 128.67 倍; 2020 年(生态修复后)7 月浮游动物平均生物量为 2015 年(生态修复前)的 749.56 倍。说明生态修复后柳溪湖浮游动物的丰度和生物量均增加, 并且季节的变化对浮游动物群落结构有影响;

4) Shannon-Wiener 多样性指数(H')全年平均值从 2015 年(生态修复前)的 2.448 上升到 2020 年(生态修复后)的 2.865, 说明生态修复后柳溪湖浮游动物生物多样性明显向好。

参考文献

- [1] 李析男, 谢平, 张翔, 肖洋, 朱志龙, 柯航. 湖泊湿地功能评价模型的建立与应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2013, 46(5): 551-556.
- [2] 濮梦圆, 徐锦前, 胡恺源, 彭凯, 龚志军, 蔡永久, 项贤领. 洪泽湖湖滨带浮游动物群落结构及驱动因素[J]. 湖泊科学, 2023, 35(2): 610-623.
- [3] 帅泓名, 刘曼红, 翟昊, 明霄阳, 刘笏旻. 沙湖湿地生态修复前后浮游动物群落结构变化[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(1): 1-9.
- [4] 杨佳, 周健, 秦伯强, 权秋梅, 黎云祥. 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.
- [5] 杨阳, 张亦. 我国湿地研究现状与进展[J]. 环境工程, 2014, 32(7): 43-48+78.
- [6] 齐鑫. 浅谈生物技术在水环境监测中的应用[J]. 科技与创新, 2019(24): 158-159.
- [7] Crossetti, L.O. and Bicudo, C.E.M. (2008) Phytoplankton as a Monitoring Tool in a Tropical Urban Shallow Reservoir (Garças Pond): The Assemblage Index Application. *Hydrobiologia*, **610**, 161-173. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9431-z>
- [8] Figueredo, C.C., Pinto-Coelho, R.M., Lopes, A.M.M.B., Lima, P.H.O., Gucker, B. and Giani, A. (2016) From Intermittent to Persistent Cyanobacterial Blooms: Identifying the Main Drivers in an Urban Tropical Reservoir. *Journal of Limnology*, **75**, 3675-3686. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1330>
- [9] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [10] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [11] 蒋燮治, 堵南山. 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, 1979.
- [12] 沈嘉瑞, 戴爱云, 宋人祥. 中国动物志·节肢动物门 甲壳纲 淡水烧足类[J]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [13] Claude, E. and Shannon, W.W. (1964) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [14] Ramon, M. (1951) Diversidad de Especies en las comunidades naturales. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, No. 9, 5-27.
- [15] 商淋友, 刘笏旻, 徐磊, 刘曼红. 三环泡自然保护区大型底栖动物生物多样性研究[J]. 世界生态学, 2020, 9(4): 345-351.
- [16] 杜婷婷. 永定河浮游动物群落多样性与环境因子的关系[J]. 北京水务, 2022, 227(6): 37-43.
- [17] 梁亚森, 姜海霞, 谭鹏, 翟昊, 刘曼红. 柳溪湖湿地生态修复前后浮游植物群落结构变化[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(4): 856-863.
- [18] 吴转璋, 朱超, 唐萍, 杨晓冉, 王欢, 张付海. 巢湖湖区浮游动物群落结构及其水质评价[J]. 能源环境保护, 2022, 36(4): 109-116.
- [19] 吴斌, 朱玉麟, 赖乾, 等. 赣北稻田水体中浮游动物群落特征[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(2): 393-402.

- [20] 傅侃, 柴夏, 万陆军, 赵兵, 薛焯飞, 唐坦. 兴隆湖水生态修复前后浮游动物群落演变及水质评价[J]. 环境生态学, 2023, 5(3): 75-80.
- [21] 曾阳, 付秀娥, 苗明升, 等. 基于大型浮游动物多样性与水质参数相关性分析的温榆河水质评价[J]. 生态毒理学报, 2012, 7(2): 162-170.
- [22] 林海, 王源, 李冰. 北京市妫水河浮游动物群落结构与水质评价[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7583-7591.