

沙湖湿地生态修复前后浮游动物群落结构变化

帅泓名, 刘曼红*, 翟昊, 明霄阳, 刘笏旻

东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年12月2日; 录用日期: 2022年1月3日; 发布日期: 2022年1月17日

摘要

为研究生态修复对浮游动物生物多样性和群落结构的影响, 以宁夏沙湖(东经 $106^{\circ}19'6''\sim 106^{\circ}24'10''$, 北纬 $38^{\circ}45'17''\sim 38^{\circ}49'42''$)为研究对象, 根据湖泊的环境状况布设了8个采样点, 分别于2015年和2020年的7月与10月进行调查研究。应用数据分析工具(PAST326b)计算香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')、皮洛(Pielou)均匀度指数(J), 利用SPSS软件对各样点生物指数进行单因素方差分析, 应用电子表格软件(Excel)计算丰度、生物量、优势度指数; 分析沙湖生态修复前(2015年)、生态修复后(2020年)的浮游动物群落结构特征和生物多样性变化, 检验沙湖生态修复效果。研究结果显示, 生态修复后沙湖浮游动物种类和数量明显增加, 桡足类浮游动物最为显著; 浮游动物丰度与生物量均普遍升高, 分别可达 $5168.5 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $11.28495 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 优势种种数增多, 优势度指数相比于修复前升高; 生态修复后呈现香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')上升而皮洛(Pielou)均匀度指数(J)7月下降、10月上升的特点。上述调查结果表明, 在生态修复中沙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使得生态系统趋于稳定。

关键词

宁夏沙湖, 生态修复, 生物指数, 浮游动物

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

Hongming Shuai, Manhong Liu*, Hao Zhai, Xiaoyang Ming, Jiamin Liu

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

Received: Dec. 2nd, 2021; accepted: Jan. 3rd, 2022; published: Jan. 17th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 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. DOI: 10.12677/aep.2022.121001

Abstract

In order to study the effects of ecological restoration on zooplankton biodiversity and community structure, eight sampling sites were set up in the Shahu Lake, Ningxia ($106^{\circ}19'6''\sim 106^{\circ}24'10''\text{E}$, $38^{\circ}45'17''\sim 38^{\circ}49'42''\text{N}$). The survey was conducted in July 2015 and October 2020, respectively. Shannon-wiener diversity index (H') and Pielou evenness index (J) were calculated using data analysis tool (PAST 326B), and SPSS software was used to conduct one-way ANOVA for biological indices of various points. The abundance, biomass and dominance index were calculated by using Excel. The zooplankton community structure and biodiversity changes were analyzed before (2015) and after (2020) ecological restoration in the Shahu Lake, and the effect of ecological restoration was tested. The results showed that the species and quantity of zooplankton in Shahu Lake increased significantly after ecological restoration, especially copepods. The abundance and biomass of zooplankton increased to $5168.5 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ and $11.28495 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. The number of dominant types increased, and the dominance index increased compared with that before restoration. After ecological restoration, Shannon-Wiener diversity index (H') increased while Pielou evenness index (J) decreased in July and increased in October. The results indicated that the zooplankton community structure in Shahu Lake was not stable during ecological restoration, and it may require a long time of biological succession to stabilize the ecosystem.

Keywords

Shahu Lake in Ningxia, Ecological Restoration, Biological Index, Zooplankton

Copyright © 2022 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

湖泊湿地是陆地表面封闭洼地中积水形成的比较宽阔的水域，沙湖湿地公园位于宁夏，地理和气候条件决定当地水量少而蒸发量大，并且人为干扰使湖泊面积萎缩、水质恶化、生物多样性降低、形态结构破坏，导致湖泊湿地的生态功能逐渐退化[1] [2]。为减缓并控制这种趋势，恢复和稳定沙湖水域生态系统的结构和功能，从 2015~2020 年对沙湖已实行了一系列生态修复举措。通过自然和人工修复相结合的方式用于生态修复，改善沙湖水质并修复湿地生态。翟昊等对沙湖生态修复前后的浮游植物群落进行了研究表明，浮游植物群落和物种多样性发生很大变化[3]。

浮游动物由于生物本身个体小，生活周期较短、繁殖速度快等特点，极易受水环境中各种生态因子的影响而在较短时间内发生改变，其中一些种类对水环境变化比较敏感，一些对环境压力具有耐受性的种类本身能富集和代谢某些污染物质，在水体自净过程中发挥重要的生态作用[4]。Douglas D 等利用 1970 年和 1996 年对伊利湖浮游生物和营养状况的数据，建立了一个浮游生物完整性指数(P-IBI)来衡量湖泊生态系统健康的变化。使用判别分析来确定浮游植物和浮游动物群落特征(指标)以区分不同程度的损害[5]。波兰东北部湖泊群浮游动物的研究发现轮虫的群落结构可反应湖泊水质状况，且较敏感[6]。

浮游动物的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，因为其特殊的生活方式对水环境和水文变化非常敏感，水环境的改变直接影响浮游动物群落结构的不同程度变化。康斯坦茨湖为大型深水湖泊，生物量级及分布能综合表述不同时空梯度的生态系统状态[7]。在 Martin R. Perrow 等人的

研究中,表明浮游动物对大型水生植物的生长有帮助的作用,可以净化水质,并在大型植物群落内能通过浮游动物的昼夜迁移而介入开阔水域,其速度足以维持清澈的水面[8]。总之,湿地修复中浮游植物及浮游动物的群落结构等还不甚稳定,容易受到各方面的影响,且修复湿地的生物多样性及丰富度等方面很难恢复到与自然湿地一样的水平,需要很长时间。

为此,本研究以宁夏沙湖为研究对象,根据湖泊的地理状况布设了8个采样点,分别于2015年、2020年的7月份和10月份在沙湖湿地采样;应用古生物学统计分析(PAST)软件计算香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')、皮洛(Pielou)均匀度指数(J),应用统计产品和服务解决方案(SPSS)软件对各样点生物指数进行单因素方差分析,应用电子表格软件(Excel)计算丰度、生物量、优势度指数;分析沙湖生态修复前(2015年)、后(2020年)的浮游动物群落结构特征和生物多样性变化,检验沙湖生态修复效果。旨在为生态修复效果评价提供参考。

2. 研究地概况与研究方法

2.1. 研究地概况

宁夏沙湖地处贺兰山下、黄河岸边,距银川38 km,景区22.52 km²的沙漠与45 km²的水域毗邻而居,构成了西部罕见的沙漠湿地特色景观[9],属于典型的温带干旱半干旱气候,海拔1020 m,湿地面积1494 hm²,位于宁夏石嘴山市平罗县西南部沙湖自然保护区内,地理坐标为东经106°19'6"~106°24'10",北纬38°45'17"~38°49'42",土壤为风沙土、白僵土、盐土,主要植被为盐生、沙生、水生植被,主要分布的野生威管植物48科124属162种,其中藜科、豆科、菊科、禾本科占总种数的44.7%,处于优势地位。

宁夏沙湖具有银川平原典型湖泊的景观特征,是封闭型湖泊,常年无自然生态基流补水,无输水道;由于蒸发量大,每年都需要通过从黄河人工补水维持水位,多年沉积;同时,还受旅游开发与周边农业、工业活动的影响,水质逐渐恶化。在生态修复上分别建立了自然保护区等保护形式以加强保护,在保护的同时也开展了不同程度的生态旅游活动,修复工程。基于以上考虑,在沙湖开展湖泊湿地生态系统健康评价研究具有典型性和代表性。截至2021年,在国家政策、地方政府和相关部门的支持和指引下正在开展各种生态修复工程,如:建立绿化隔离沟、氧化塘,河底清淤,抽排受污染水补黄河水,退渔、退耕还湿等。

2.2. 采样点设置

为了对比沙湖湿地生态修复前后浮游动物群落结构的变化,本研究根据沙湖环境特点设置了8个采样点,分别于2015年与2020年的7月和10月进行采样,根据湖泊的地形位置,在湖泊的环沙运河入口和出口、湖泊中心、湖泊沿岸带(水草根垫)、航道等布设采样点,其中SL1位于环沙运河入口,SL2位于沙湖的东湖,湖里有沉水植物大茨藻 *Najas marina*, SL3位于沙湖的北湖,靠近沿岸植被,SL4位于沙湖的西码头,SL5位于沙湖西湖的入水口,SL6位于环沙运河出口,SL7位于靠近沙漠附近的采样点,SL8位于沙湖中心明水面区域。采样点分布见图1,各样点利用GPS定位和各样点环境特征详见表1。

Table 1. Coordinates of sampling points and environmental characteristics of aquatic organisms in Shahu Lake

表 1. 沙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
SL1	106°22'47.20"	38°47'35.60"	环沙运河入口
SL2	106°22'32.20"	38°48'47.40"	沙湖的东湖,湖里有沉水植物
SL3	106°21'47.70"	38°49'25.70"	沙湖的北湖,距沿岸植被不足20 m

Continued

SL4	106°20'54.90"	38°49'25.90"	湖泊的西码头
SL5	106°20'28.90"	38°48'54.90"	沙湖的西湖，为入水口
SL6	106°20'29.90"	38°47'54.30"	环沙运河出口
SL7	106°21'31.70"	38°48'10.50"	靠近沙漠附近
SL8	106°21'38.70"	38°48'52.60"	湖心明水面区域

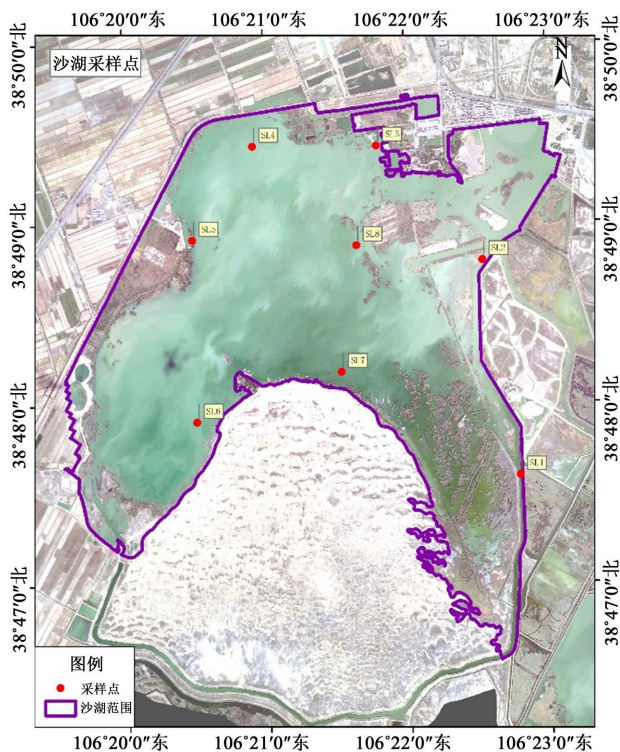


Figure 1. The geographical location of sampling sites

图 1. 采样点的地理位置示意图

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》[10]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》[11], 枝角类鉴定参照《中国动物志》(淡水枝角类) [12], 桡足类鉴定参照《中国动物志》(淡水桡足类) [13]。

应用统计产品和服务解决方案(SPSS)软件对各样点生物指数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。对于不能同时满足方差同质性和分布正态性的变量, 进行对数转换 $[\lg(1+x)]$ 或用非参数 Kruskal-Wallis 检验。应用古生物学统计分析(PAST)软件计算浮游动物生物多样性指数, 香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H') [14]、Margalef 丰富度指数(D) [15]以及皮洛(Pielou)均匀度指数(J) [16]进行生物多样性分析。

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

$$\text{Pielou 指数: } J = H' / \ln S$$

上述公式中, S 为样方种出现的物种总数; P_i 为第 i 种的个体数量在总个体数量中所占的比例。

优势度(y)计算公式为: $y = f_i \times P_i$

在上述公式中, y 为优势度, f_i 为第 i 种出现的频率; P_i 为第 i 种的个体数量在总个体数量中所占的比例。当 $y > 0.02$ 时, 将该种类确定为优势种。

利用 Excel2020 进行数据整理; 采用 Duncan 检验方法, 利用 SPSS 22.0 对多样性指数进行多重比较, 使用 Excel2020 作图。

Margalef 指数(D)反映指一个群落或多寡, 即生物物种的丰富度程度; 香农 - 威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')大小意味着群落多样性的高低, 可以预测群落中下一个采集到的样本属于哪一种, 如果群落的多样性越高, 采集的不定性就越大, 故 H' 值越大, 多样性越高, 反之物种多样性越低。如: 当 $H' \leq 1$ 时, 物种组成较少; 当 $1 < H' \leq 3$ 时, 物种组成适中; 当 $H' \geq 3$ 时物种组成高。皮洛(Pielou)均匀度指数(J)指某一群落或生境中全部物种个体数目的分配状况, 其反映了各物种个体数目分配的均匀程度。若各物种个体数越接近, 均匀度就越大[17]。

3. 结果与分析

3.1. 生态修复对沙湖浮游动物物种组成的影响

如表 2 所示, 2015 年沙湖 7 月和 10 月共鉴定出浮游动物 15 种和 14 种, 其中轮虫最多, 分别占总物种数的 60% 和 36%。生态修复后 2020 年沙湖浮游动物种类明显增多, 7 月和 10 月共鉴定出浮游动物 40 种和 24 种, 其中 7 月轮虫最多, 为 17 种, 占总物种数的 42%, 10 月轮虫与桡足类各 11 种, 均占总物种数的 46%。2020 年沙湖浮游动物物种数比 2015 年多 14 种, 说明生态修复后沙湖湿地浮游动物物种丰富度明显增加。生态修复过程中沙湖浮游动物种类随季节变化而变化, 生态修复前后 7 月出现的物种数均多于 10 月。

Table 2. Zooplankton species composition in Shahu Lake

表 2. 沙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	2	13%	9	60%	1	7%	3	20%
2015 年 10 月	4	29%	5	36%	2	14%	3	21%
2020 年 7 月	4	10%	17	42%	3	8%	16	40%
2020 年 10 月	1	4%	11	46%	1	4%	11	46%

3.2. 生态修复前后浮游动物优势种变化

浮游动物优势物种优势度为水生态系统生物构成重要指标, 生态状况较好时物种优势物种的优势度较高。由表 3 可见: 生态修复前后, 沙湖 7 月浮游动物优势种由 2015 年的 3 种(如: 陀螺侠盗虫 *Strombidium velox*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla* 和爪哇小剑水蚤 *Microcyclops javanus*)变为 2020 年的 8 种(如: 裂足臂尾轮虫 *Brachionus diversicornis*、萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*、广布中剑水蚤 *Mesocyclops leuckarti*、双刺沙居剑水蚤 *Psammophilocyclops bispinosus*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla*、汤匙华哲水蚤 *Sinocalanus dorrii*、长额象鼻溞 *Bosmina coregoni*、长尾小剑水蚤 *Microcyclops longiramus*); 10 月浮游动物优势种由 2015 年的 1 种(矩形臂尾轮虫 *Brachionus levdigi*)变为 2020 年的 3 种(如: 英勇剑水蚤 *Cyclops*

strenuuss、双刺沙居剑水蚤 *Psammophilocyclops bispinosus*、长额象鼻溞 *Bosmina coregoni*)。根据优势种组成可看, 2015 年 10 月唯一的优势种矩形臂尾轮虫(*Brachionus levdigi*)经生态修复不再是优势物种。2015 年优势度指数在 0.026~0.091 之间波动, 2020 年优势度指数在 0.020~0.257 之间波动, 整体呈现上升趋势。

Table 3. Dominant species of zooplankton in Shahu Lake

表 3. 沙湖浮游植物优势种

时间 Time	优势种 Dominant species	优势度 Dominant Y	
2015 年	陀螺侠盗虫 <i>Strombidium velox</i>	0.0572	
	7 月	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.0301
		爪哇小剑水蚤 <i>Microcyclops javanus</i>	0.0264
10 月	矩形臂尾轮虫 <i>Brachionus levdigi</i>	0.0916	
2020 年	裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	0.2579	
	萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	0.0948	
	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.0865	
	7 月	双刺沙居剑水蚤 <i>Psammophilocyclops bispinosus</i>	0.0379
		针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.0349
		汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	0.0335
		长额象鼻溞 <i>Bosmina coregoni</i>	0.0322
		长尾小剑水蚤 <i>Microcyclops longiramus</i>	0.0291
		英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuuss</i>	0.1700
	10 月	双刺沙居剑水蚤 <i>Psammophilocyclops bispinosus</i>	0.0200
	长额象鼻溞 <i>Bosmina coregoni</i>	0.0200	

3.3. 生态修复对沙湖浮游动物丰度与生物量的影响

丰度和生物量是构成浮游动物群落特征的重要指标, 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 4 所示 2015 年 7 月沙湖浮游动物平均丰度为 19.5 ind·L⁻¹、而 2020 年 7 月沙湖浮游动物平均丰度高达 69.6 ind·L⁻¹, 为 2015 年的 3.57 倍; 2015 年 7 月沙湖浮游动物平均生物量为 0.00780 mg·L⁻¹、而 2020 年 7 月沙湖浮游动物平均生物量高达 0.02784 mg·L⁻¹, 为 2015 年的 3.57 倍。生态修复后, 浮游动物季节波动大, 浮游动物的丰度和生物量 10 月低于 7 月, 说明水环境的变化对浮游动物群落结构有影响。

Table 4. The abundance and biomass of zooplankton in Shahu Lake

表 4. 沙湖浮游动物丰度与生物量

年份	时间	丰度(ind·L ⁻¹)	生物量(mg·L ⁻¹)
2015	7 月	19.5	0.0078
	10 月	69.6	0.0278
2020	7 月	5168.5	11.2850
	10 月	146.6	0.4011

3.4. 生态修复对沙湖浮游动物生物多样性的影响

单因素方差分析显示沙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,生态修复前后沙湖 7 月香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')由 2.1993 上升为 3.2288,皮洛(Pielou)均匀度指数(J)由 0.8746 下降为 0.8130; 10 月香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')由 1.4228 上升为 2.1752,皮洛(Pielou)均匀度指数(J)由 0.6908 上升为 0.8991。沙湖呈现香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')上升而皮洛(Pielou)均匀度指数(J)7 月下降、10 月上升的特点(表 5)。

Table 5. Biodiversity index of zooplankton in Shahu Lake

表 5. 沙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	2.1993	0.400	0.8746	0.062
2015 年 10 月	1.4228	0.565	0.6908	0.262
2020 年 7 月	3.2288	0.226	0.813	0.051
2020 年 10 月	2.1752	0.702	0.8991	0.058

4. 讨论

一些研究表明,浮游动物的丰度、生物量会随水体的富营养化水平升高而降低,具有反向相关关系,其中枝角类的种类和数量偶尔会因水体富营养化水平升高而变小,但桡足类丰度不会因为水体富营养化水平升高而改变[18]。沙湖湿地浮游动物的种类主要由枝角类、桡足类和轮虫组成。其中,轮虫种类和数量在生态修复前后均占据主导地位,2020 年沙湖桡足类种类和数量占比明显增加,轮虫占比相对减少,这可能与水体的营养化程度降低有关,一些研究表明水体营养化的降低会导致蓝藻门物种数量和生物量大幅减少,从而导致轮虫数量也随之减少。

同时浮游动物优势种常用来指示水质状态[19]。波兰东北部湖泊群浮游动物的研究发现轮虫的群落结构可反应湖泊水质状况,并且敏感[20],与本研究发现轮虫相对减少的结果相一致。

本次研究利用香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')和皮洛(Pielou)均匀度指数(J)评价湖泊的水质质量。香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')结果显示,2015 年沙湖 7 月和 10 月均为中污染,2020 年 7 月均为轻污染,10 月均为中污染。这可能与 2015 年以来开展的湖泊多项综合治理措施有关,7 月湖泊水体状况明显好转。

浮游动物的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,因为特殊的生活方式对水环境和水文变化非常敏感,水环境的改变直接影响到浮游动物群落结构的不同程度变化。总之,湿地恢复中浮游植物及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,且在湿地的生物多样性及丰富度等方面很难恢复到与自然湿地同等水平的状态,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生物群落结构特点和多样性的重要指标,常被用于评价湖泊水体健康状况,但也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,如密度、生物量、优势种以及理化因子等条件,才能得出全面的结论[21][22]。但本研究可以为沙湖水体健康状况的评价提供一定的参考。

5. 结论

- 1) 沙湖浮游动物物种数 2020 年比 2015 年多 14 种,生态修复前后 7 月出现的物种数均多于 10 月,

说明生态修复后沙湖湿地浮游动物物种丰富度明显增加, 并且沙湖浮游动物种类夏季多于秋季。

2) 沙湖 7 月浮游动物优势种由 2015 年的 3 种变为 2020 年的 8 种, 10 月浮游动物优势种由 2015 年的 1 种变为 2020 年的 3 种, 2015 年优势度指数在 0.026~0.091 之间波动, 2020 年优势度指数在 0.020~0.257 之间波动。因此, 生态修复后沙湖浮游动物的优势种增多并且优势度整体呈现上升趋势。

3) 2020 年沙湖浮游动物平均丰度为 2015 年的 3.57 倍; 2020 年沙湖浮游动物平均生物量为 2015 年的 3.57 倍, 浮游动物的丰度和生物量 10 月低于 7 月, 说明生态修复后沙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) 香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数(H')全年平均值从 2015 年的 1.8110 上升到 2020 年的 2.7020, 说明生态修复后沙湖浮游动物生物多样性明显向好。

参考文献

- [1] Crossetti, L.O. and Carlos, C.E. (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>
- [2] Figueredo, C.C., Pinto-Coelho, R.M., Lopes, A., et al. (2016) From Intermittent to Persistent Cyanobacterial Blooms: Identifying the Main Drivers in an Urban Tropical Reservoir. *Journal of Limnology*, **75**, 445-454.
<https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1330>
- [3] 翟昊, 刘曼红, 明霄阳, 刘笳旻, 商淋友, 徐磊, 于洪贤. 宁夏沙湖生态修复前后浮游植物群落结构变化与水质评价[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(8): 84-89.
- [4] 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.
- [5] Kane, D.D., Gordon, S.I., Munawar, M., Charlton, M.N. and Culver, D.A. (2009) The Planktonic Index of Biotic Integrity (P-IBI): An Approach for Assessing Lake Ecosystem Health. *Ecological Indicators*, **9**, 1234-1247.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.03.014>
- [6] Ejsmont-Karabin, J. (2012) The Usefulness of Zooplankton as Lake Ecosystem Indicators: Rotifer Trophic State Index. *Polish Journal of Ecology*, **60**, 339-350.
- [7] 崔安琪, 翟昊, 于洪贤. 宁夏沙湖浮游动物群落结构及多样性[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(9): 121-124.
- [8] 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.
- [9] Mäemets, A. (1983) Rotifers as Indicators of Lake Types in Estonia. *Hydrobiologia*, **104**, 357-361.
<https://doi.org/10.1007/BF00045991>
- [10] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [11] Perrow, M.R., Jowitt, A.J.D., Stansfield, J.H. and Phillips, G.L. (1999) The Practical Importance of the Interactions between Fish, Zooplankton and Macrophytes in Shallow Lake Restoration. *Hydrobiologia*, **395-396**, 199-210.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-3282-6_19
- [12] 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.
- [13] 沈嘉瑞, 戴爱云, 宋人祥. 中国动物志, 节肢动物门, 甲壳纲, 淡水桡足类[J]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [14] Claude, E. and Shannon, W.W. (1964) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- [15] Ramon, M. (1951) Diversidad de Especies en las comunidades naturales. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, **9**, 5-27.
- [16] 商淋友, 刘笳旻, 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.
- [17] 孙军, 刘东艳. 赤潮生物浮游弯角藻名称小记[J]. 海洋科学, 2003, 27(6): 45-46.
- [18] 安睿. 三江平原典型湿地浮游生物群落特征及其与环境因子的关系[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [19] 杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖浮游动物群落结构的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(3): 319-324.
- [20] 刘存歧, 邢晓光, 王军霞, 等. 白洋淀轮虫群落结构特征[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 4948-4959.

-
- [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.