

青铜峡库区湿地自然湿地与修复湿地浮游植物群落比较研究

徐磊, 刘笏旻, 明霄阳, 刘曼红*

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: 2022年5月11日; 录用日期: 2022年6月15日; 发布日期: 2022年6月22日

摘要

为探讨自然湿地与修复湿地浮游植物群落结构的差异,本研究于2021年春夏两季在青铜峡库区湿地自然保护区的自然湿地与修复湿地进行浮游植物的采集。对所得数据进行分析发现,本次调查共采集到浮游植物287种,其中绿藻门、硅藻门、裸藻门及蓝藻门物种数最多,分别占36.05%、29.59%、15.31%及8.16%。浮游植物优势种为旋转囊裸藻(*Trachelomonas volvocina*)、肘状针杆藻(*Synedra ulna*)和水华束丝藻(*Aphanizomenon flosaquae*)等;自然湿地和修复湿地Shannon-Wiener多样性指数(H')、Simpson多样性指数(D)和Pielou均匀度指数(J')均未呈现出显著的差异性。非度量多维尺度分析(Non-metric Multidimensional scaling, NMDS)与相似性分析(ANOSIM)结果表明,自然湿地与修复湿地浮游植物群落未表现出显著的空间差异性。本研究结果表明,自然湿地和修复湿地浮游植物群落结构无显著差异,修复湿地已形成稳定的浮游植物群落结构。

关键词

青铜峡库区湿地自然保护区, 浮游植物, 群落结构, 生物多样性

Comparison of Phytoplankton Communities in Natural and Restored Wetlands in the Qingtongxia Reservoir Area Wetland

Lei Xu, Jiamin Liu, Xiaoyang Ming, Manhong Liu*

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

Received: May 11th, 2022; accepted: Jun. 15th, 2022; published: Jun. 22nd, 2022

*通讯作者。

文章引用: 徐磊, 刘笏旻, 明霄阳, 刘曼红. 青铜峡库区湿地自然湿地与修复湿地浮游植物群落比较研究[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(3): 519-526. DOI: 10.12677/aep.2022.123069

Abstract

In order to explore the differences between natural wetlands and restored wetland phytoplankton flora, this study collected phytoplankton from natural wetlands and restored wetlands in Qingtongxia Reservoir Area wetland Nature Reserve in the spring and summer of 2021. The analysis of the obtained data found that a total of 287 species of phytoplankton were collected in this survey, and the number of species of green algae, diatom, naked algae and cyanobacteria accounted for 36.05%, 29.59%, 15.31% and 8.16% respectively. The dominant species of phytoplankton were *Trachelomonas volvocina*, *Synedra ulna* and *Aphanizomenon flosaquae*, while the Shannon-Wiener Diversity Index (H'), Simpson Diversity Index (D) and Pielou Evenness Index (J') of natural and restored wetlands did not show significant differences. The results of Non-Metric Multidimensional scaling (NMDS) and ANOSIM showed that there was no significant spatial difference between phytoplankton communities in natural wetlands and restored wetlands. The results of this study showed that there was no significant difference in the phytoplankton community structure between the natural and the restoration wetland, and the stable phytoplankton community structure had been formed in the restored wetland.

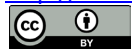
Keywords

Qingtongxia Reservoir Area Wetland, Phytoplankton, Community Structure, Biodiversity

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

青铜峡库区湿地自然保护区位于黄河上游宁夏段, 青铜峡水利枢纽工程建成后, 历经数十年的淤积形成集林区、湖泊和滩涂并存的湿地自然保护区, 是宁夏回族自治区最大的黄河滩涂湿地生态系统[1]。从二十世纪九十年代初开始, 中宁县和青铜峡市的一些农民开始进入鸟岛(保护区以鸟类多被称为鸟岛)内毁林修堤、开荒种田, 农田一度大约占整岛面积的 50%, 仅剩伊斯兰信托投资公司投资的库区林场内开发的中心湖和种植的部分林地, 这块天然湿地生态系统的生物多样性受到了严重破坏。青铜峡库区湿地自然保护区因此成立, 并采取了退耕还湿、设置围栏界碑和宣传牌、建立管护站等保护措施, 仅鸟岛就退耕还湿近 30 km², 为了减少干扰, 保护区设置围栏 20 余 km, 清理了大部分渔业和农业设施。

浮游植物作为生产者, 对水质变化敏感。此外, 浮游植物还具有周期短、易采集等优点, 是水环境监测的理想类群[2] [3]。生态修复是对水生态环境的强烈干扰[4], 因浮游植物对环境变化的敏感性, 修复后的浮游植物群落在这种强扰动下势必发生变化[5] [6], 因此浮游植物群落结构特征是评价湿地恢复状况的重要指标[7]。本研究拟通过研究修复湿地与自然湿地浮游植物群落差异, 分析修复湿地的恢复情况, 以为青铜峡库区湿地自然保护区的保护与管理提供参考。

2. 研究方法

2.1. 研究地概况

2002 年 6 月 14 日宁夏回族自治区人民政府常务会议研究决定将青铜峡库区确定为自治区级自然保

保护区, 保护区位于宁夏回族自治区卫宁平原的西北部, 黄河上游下段的中宁县和青铜峡市之间, 地理位置: 东经 $105^{\circ}48'49.8''\sim 105^{\circ}58'58.8''$, 北纬 $37^{\circ}34'11.7''\sim 37^{\circ}47'50''$, 是由青铜峡水利枢纽工程历经数十年的淤积形成的原生湿地生态系统。2007年9月, 经自治区编委会批准, 青铜峡库区湿地保护建设管理局成立, 全面负责库区湿地自然保护区的管护、规划、建设、科研监测和宣传教育工作。

青铜峡库区湿地自然保护区总面积 196.99 km^2 , 其中核心区 76.72 km^2 , 包括黄河河道及河滩地、鸟岛内大部分湿地等生物多样性集中的地区, 占总面积的 38.9% ; 缓冲区 37.59 km^2 , 主要是核心区外围, 占总面积的 19.1% , 实验区 82.68 km^2 , 包括牛首山东西山地等, 占保护区总面积的 42.0% 。

2.2. 采样时间及采样地点设置

本研究于 2021 年 3 月(春季)及 6 月(夏季)在青铜峡库区湿地自然保护区的自然湿地于修复湿地各设置 9 个采样点, 进行浮游植物的采集, 其中自然湿地为 N1-N9, 位于黄河流经保护区的中下游, 修复湿地为 R1-R9, 位于黄河左岸, 河流、湖泊和泡沼湿地。详细位置参见图 1。

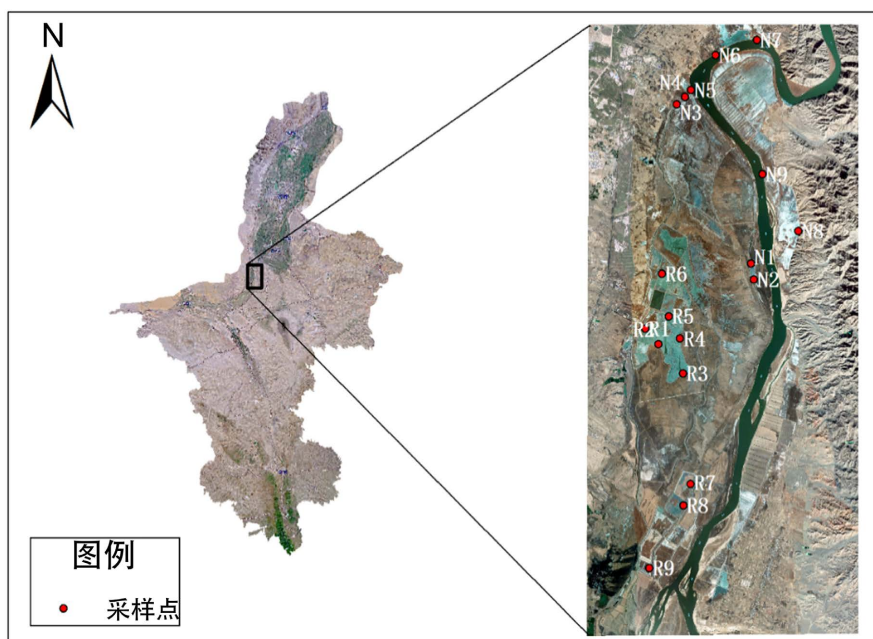


Figure 1. Sampling sites for the surveys of phytoplankton in Qingtongxia Reservoir Area Wetlands Nature Reserve

图 1. 青铜峡库区湿地自然保护区浮游植物采样点

2.3. 样品采集与处理

浮游植物定量水样使用采水器在水深 0.5 m 处采水, 灌入 1000 mL 聚乙烯塑料瓶中保存, 现场贴上标签后添加 $10\sim 15\text{ ml}$ 鲁哥氏剂进行固定。采集到的水样静置 48 小时后, 通过虹吸浓缩至 30 mL 。在鉴定前将水样摇晃均匀, 用移液枪吸取 0.1 mL 水样滴至 0.1 mL 的计数框内, 放入显微镜下进行拍照。参考《中国淡水藻类: 系统、分类及生态》[8]进行浮游植物种类的鉴定工作, 尽量鉴定到“种”的水平。

2.4. 数据处理

2.4.1. 生物指数计算

通过计算各采样点物种的 Shannon-Wiener 多样性指数(H') [9]、Simpson 多样性指数(D) [10]和 Pielou

均匀度指数(J)及采样区域的浮游植物优势种来分析自然湿地与修复湿地浮游植物群落差异。

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数}(H'): H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i;$$

$$\text{Simpson 多样性指数}(D): D = 1 / \sum_{i=1}^n (n_i/N)^2;$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(J): J = H'/H_{\max};$$

式中: S 为样本中总种类数; p_i 为第 i 种的个体数(n_i)与总个体数(N)的比值(n_i/N)。

$$\text{优势度}(Y) = (n_i/N) \times f_i$$

式中, N 为浮游植物群落总个体数量; n_i 为第 i 物种的个体数; f_i 为该物种在各样点出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时, 为优势种。

2.4.2. 非度量多尺度分析与相似性分析

将数据分为春季自然湿地、夏季自然湿地、春季修复湿地及夏季修复湿地四组, 分别使用 R 软件 vegan 包中的“metaMDS”和“anosim”函数[11]对四组浮游植物群落进行非度量多尺度分析与相似性分析 (ANOSIM 分析组间的差异显著性)。

3. 结果与分析

3.1. 自然湿地和修复湿地浮游植物物种组成及优势种

本次调查共采集到浮游植物 287 种, 绿藻门种类最多, 共 106 种, 占总物种数的 36.05%; 硅藻门 87 种, 占总物种数的 29.59%; 裸藻门 45 种, 占总物种数的 15.31%; 蓝藻门 24 种, 占总物种数的 8.16%; 甲藻门 9 种, 占总物种数的 3.06%; 黄藻门和金藻门各 8 种, 黄藻门和金藻门均占总物种数的 2.72%; 隐藻门 7 种, 占总物种数的 2.38%。如图 2 所示, 夏季自然湿地和夏季修复湿地物种数最多、均为 194 种, 春季修复湿地次之、为 150 种, 春季自然湿地物种数最少、仅 122 种。夏季绿藻、蓝藻物种数多于春季, 春夏两季修复湿地的硅藻和裸藻均明显多于自然湿地。

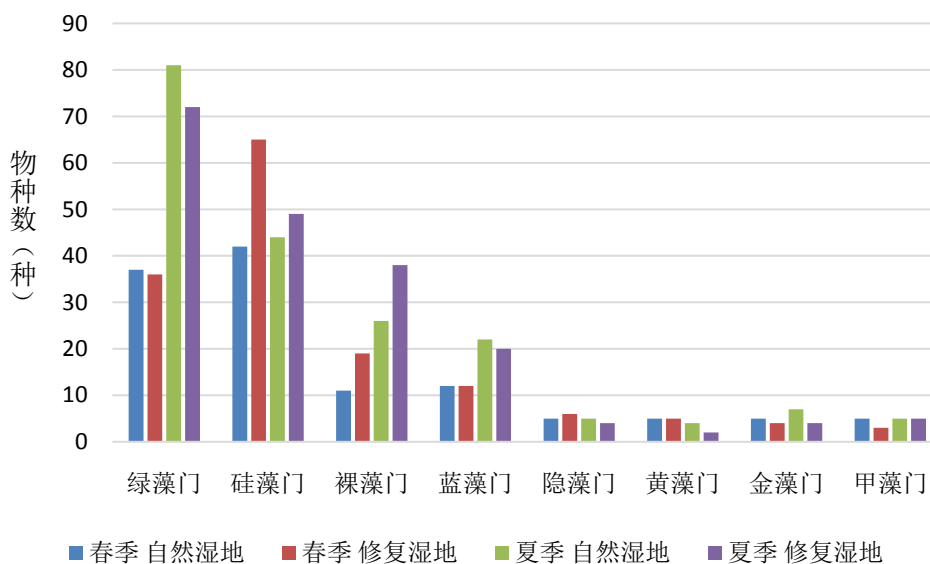


Figure 2. Species composition of phytoplankton in Qingtongxia Reservoir Area Wetland
图 2. 青铜峡库区湿地浮游植物物种组成

如表 1 所示, 青铜峡库区浮游植物优势种为 18 种, 分属绿藻门、硅藻门、裸藻门与蓝藻门。肘状针杆藻(*Synedra ulna*)和尖针杆藻(*Synedra acus*)和旋转囊裸藻(*Trachelomonas volvocina*)是修复湿地和自然湿地春夏两季共有的优势种。春季自然湿地优势种 7 种, 优势度在 0.021~0.154 之间波动, 旋转囊裸藻(*Trachelomonas volvocina*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)和肘状针杆藻(*Synedra ulna*)等为优势种; 春季修复湿地优势种 8 种, 优势度在 0.026~0.205 之间波动, 旋转囊裸藻、尖针杆藻和肘状针杆藻等为优势种; 夏季自然湿地优势种 10 种, 优势度在 0.022~0.096 之间波动, 中华小尖头藻(*Raphidiopsis sinensia*)、尖针杆藻、旋转囊裸藻等为优势种; 夏季修复湿地优势种 6 种, 优势度在 0.026~0.095 之间波动, 旋转囊裸藻、肘状针杆藻和尖针杆藻等为优势种。

Table 1. Dominant species and dominance of phytoplankton

表 1. 浮游植物优势种及优势度

优势种(拉丁学名)	优势度			
	春季 自然湿地	春季 修复湿地	夏季 自然湿地	夏季 修复湿地
被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>			0.028	
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	0.022			
微小四角藻 <i>Tetraedron minimum</i>			0.025	
卷曲纤维藻 <i>Ankistrodesmus convolutus</i>	0.025			
蹄形藻 <i>Kirchneriella lunaris</i>			0.031	
卵形衣藻 <i>Chamydomonas ovalis</i>	0.038	0.050		
肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>	0.053	0.084	0.032	0.089
尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>	0.134	0.084	0.076	0.069
钝脆杆藻 <i>Fragilaria capucina</i>	0.021			
短小舟形藻 <i>Navicula exigua</i>		0.028		
旋转囊裸藻 <i>Trachelomonas volvocina</i>	0.154	0.205	0.059	0.095
矩圆囊裸藻 <i>Trachelomonas oblonga</i>		0.032		
水华束丝藻 <i>Aphanizomenon flosaquae</i>		0.041	0.058	0.045
中华小尖头藻 <i>Raphidiopsis sinensia</i>			0.096	0.043
具缘微囊藻 <i>Microcystis marginata</i>		0.026		
小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>			0.022	
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>			0.029	
水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i>				0.026

3.2. 自然湿地和修复湿地浮游植物生物多样性

Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数及 Pielou 均匀度指数越高, 代表浮游植物群落越完善、越稳定。如表 2 所示, 三种指数在自然湿地和修复湿地以及季节间相差不大。相似性分析结果同样表明, 自然湿地与修复湿地以及季节间均无显著差($p > 0.05$)。

Table 2. Biodiversity index of phytoplankton in Qingtongxia Reservoir Area Wetland
表 2. 青铜峡库区湿地浮游植物生物多样性指数

生物多样性指数	春季自然湿地	春季修复湿地	夏季自然湿地	夏季修复湿地
Shannon-Wiener 多样性指数(H')	0.9 ± 0.08	0.92 ± 0.03	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.04
Simpson 多样性指数(D)	2.98 ± 0.43	3.18 ± 0.3	3.64 ± 0.24	3.45 ± 0.44
Pielou 均匀度指数(J')	0.56 ± 0.14	0.53 ± 0.11	0.51 ± 0.08	0.46 ± 0.11

3.3. 自然湿地与修复湿地浮游植物非度量多维度分析

图 3 中采样点间距的远近代表了采样点浮游植物差异的大小, 春季与夏季自然湿地和修复湿地的采样点分别聚合, 春夏两季的采样点距离较远。春季与夏季的置信椭圆几乎不重叠, 除夏季修复湿地的 R7 采样点出现在春季修复湿地的置信椭圆上以外, 两个季节间无其他重叠采样点。各季节自然湿地与修复湿地的置信椭圆重合面积较大, 大量采样点出现在置信椭圆的重叠区域。

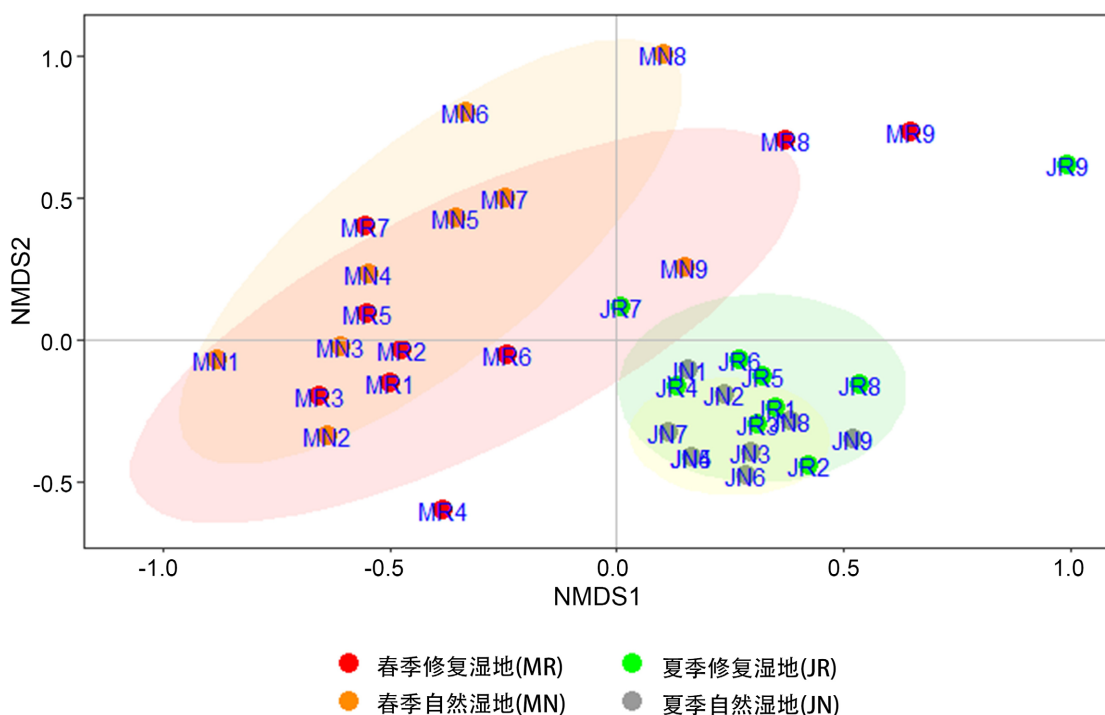


Figure 3. Non-metric multidimensional analysis of phytoplankton community in Qingtongxia Reservoir Area Wetland

图 3. 青铜峡库区湿地浮游植物群落非度量多维度分析

ANOSIM 分析结果表明, 浮游植物群落在春夏两个季节间差异显著($p < 0.05$), 而自然湿地和修复湿地之间的浮游植物群落结构差异不显著($p > 0.05$)。非度量多维度分析结果与相似性结果一致。

4. 讨论

4.1. 青铜峡库区湿地浮游植物群落季节特征

浮游植物作为水生态系统的重要组成部分, 其群落结构通常呈现一定的季节性变化规律。季节对水环境的最直接影响为水温的变化, 而水温直接影响浮游植物生长和代谢过程, 是影响浮游植物物种组成、

丰度和多样性指数的关键因素。青铜峡库区湿地春季和夏季浮游植物物种组成存在显著差异,在春季,喜欢低温的硅藻类物种数最多,尖针杆藻和肘状针杆藻等为主要优势种;而喜欢高温的蓝藻在夏季物种数最多,小形色球藻、微小平裂藻和水华微囊藻为主要优势种。浮游植物的季节性演替模型(Plankton Ecology Group, PEG)认为春季以硅藻类占优势,夏季蓝藻占优势[12],青铜峡库区湿地春季和夏季浮游植物也符合 PEG 模型。

本研究表明,青铜峡库区湿地浮游植物春季和夏季群落结构差异显著,物种组成上以绿藻和硅藻占比最大,这与近年来我国内陆河流中优势类群为绿藻和硅藻的调查结果相适应[13],也与洪松等[14]的结论一致,青铜峡库区湿地浮游植物物种组成与典型河流浮游植物物种组成特征相似。

4.2. 自然湿地与修复湿地浮游植物群落特征对比

自然湿地与修复湿地浮游植物群落存在差异。相关研究表明,优势度指数越低、物种越丰富,表示水质状况越好[15]。春季修复湿地优势度指数较自然湿地高,优势物种数相近;夏季修复湿地与自然湿地优势度指数波动范围相近,但自然湿地优势种数多于修复湿地。这说明自然湿地水质状况优于修复湿地,具有更稳定的浮游植物群落。

但自然湿地与修复湿地浮游植物群落差异性并不显著。自然湿地与修复湿地主要优势种均为肘状针杆藻和尖针杆藻;自然湿地与修复湿地 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数及 Pielou 均匀度指数均无显著差异;ANOSIM 分析结果显示自然湿地和修复湿地之间的浮游植物群落结构差异不显著,均表明修复湿地在向更稳定的方向发展。

5. 结论

本次调查共采集到浮游植物 287 种,绿藻门、硅藻门、裸藻门及蓝藻门物种数最多,分别占 36.05%、29.59%、15.31%及 8.16%。优势种、生物多样性指数、ANOSIM 分析及非度量多维度分析结果表明,自然湿地与修复湿地浮游植物群落无显著差异。

参考文献

- [1] 魏海燕, 吴忠市湿地保护工作存在问题及建议[J]. 林业经济, 2017, 39(8): 97-100.
- [2] Zhang, Y., Gao, W., Li, Y., Jiang, Y., Chen, X., Yao, Y., et al. (2021) Characteristics of the Phytoplankton Community Structure and Water Quality Evaluation in Autumn in the Huaihe River (China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article No. 12092. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212092>
- [3] 翟昊, 刘曼红, 明霄阳, 刘筋旻, 商淋友, 徐磊, 等. 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] 刘冬燕, 赵建夫, 张亚雷, 杨永川. 富营养水体生物修复中浮游植物的群落特征[J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 177-183.
- [5] 孟睿, 何连生, 过龙根, 席北斗, 李中强, 舒俭民, 等. 长江中下游草型湖泊浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析[J]. 环境科学, 2013, 34(7): 2588-2596.
- [6] 孙婷婷, 陈俭勇, 张亚, 魏朝军, 张聪, 李红涛, 等. 金沙江上游叶巴滩至苏洼龙段浮游植物群落特征及影响因素分析[J]. 淡水渔业, 2022, 52(2): 57-65.
- [7] Rao, K., Zhang, X., Wang, M., Liu, J., Guo, W., Huang, G., et al. (2021) The Relative Importance of Environmental Factors in Predicting Phytoplankton Shifting and Cyanobacteria Abundance in Regulated Shallow Lakes. *Environmental Pollution*, **286**, Article ID: 117555. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117555>
- [8] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] Shannon, C.E. (1997) The Mathematical Theory of Communication. *M.D. Computing*, **14**, 306-317.
- [10] Chutter, F.M. (1972) An Empirical Biotic Index of the Quality of Water in South African Streams and Rivers. *Water Research*, **6**, 19-30. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(72\)90170-4](https://doi.org/10.1016/0043-1354(72)90170-4)

- [11] 刘丹丹, 武海涛, 芦康乐, 杨萌尧, 管强, 赵文元, 等. 空间和环境因子对黄河口自然和淡水恢复湿地底栖动物群落的差异影响[J]. 生态学报, 2021, 41(14): 6893-6903.
- [12] Tomasso, J.R. (1986) Comparative Toxicity of Nitrite to Freshwater Fishes. *Aquatic Toxicology*, **8**, 129-137. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(86\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0166-445X(86)90059-7)
- [13] 任辉, 田恬, 杨宇峰, 王庆. 珠江口南沙河涌浮游植物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7729-7739. <https://doi.org/10.5846/stxb201609131852>
- [14] 洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨[J]. 水生生物学报, 2002, 26(3): 295-305.
- [15] 宋辞, 于洪贤. 镜泊湖浮游植物多样性分析及水质评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(4): 40-42.