

# 鸣翠湖湿地生态修复前后浮游植物群落结构变化

梁亚森<sup>1</sup>, 谭鹏<sup>2</sup>, 明霄阳<sup>3</sup>, 翟昊<sup>3</sup>, 刘曼红<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>黑龙江挠力河国家级自然保护区管理局建三江分局创业管理站, 黑龙江 富锦

<sup>2</sup>银川市湿地保护中心, 宁夏 银川

<sup>3</sup>东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

Email: \*manhong@nefu.edu.cn

收稿日期: 2021年7月18日; 录用日期: 2021年8月20日; 发布日期: 2021年8月27日

## 摘要

为研究生态修复对浮游植物群落结构的影响, 分别于2015年与2020年的夏季(7月)和秋季(10月)在宁夏鸣翠湖湿地选取6个样点开展调查。调查结果显示, 生态修复后鸣翠湖浮游植物种类增加, 绿藻、蓝藻门浮游植物最为显著; 藻类丰度与生物量均大幅升高, 最高分别可达65,152.78 ind·L<sup>-1</sup>和28.34 mg·L<sup>-1</sup>; 优势种种数减少, 优势度指数相较于生态修复前普遍升高; 生态修复后表现为Shannon-Wiener多样性指数(H')降低、Pielou均匀度指数(J)升高。上述结果表明鸣翠湖浮游植物群落依然处于演替之中, 生态系统趋于稳定还需要更长的时间。

## 关键词

鸣翠湖, 生态修复, 浮游植物, 生物指数

# Changes of Phytoplankton Community Structure before and after Ecological Restoration in Mingcui Lake

Yasen Liang<sup>1</sup>, Peng Tan<sup>2</sup>, Xiaoyang Ming<sup>3</sup>, Hao Zhai<sup>3</sup>, Manhong Liu<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Jiansanjiang Branch Chuangye Management Station, Heilongjiang Naolihe National Nature Reserve Administration, Fujin Heilongjiang

<sup>2</sup>Yinchuan Wetland Protection Center, Yinchuan Ningxia

<sup>3</sup>College of Wildlife and Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Email: \*manhong@nefu.edu.cn

Received: Jul. 18<sup>th</sup>, 2021; accepted: Aug. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Aug. 27<sup>th</sup>, 2021

\*通讯作者。

文章引用: 梁亚森, 谭鹏, 明霄阳, 翟昊, 刘曼红. 鸣翠湖湿地生态修复前后浮游植物群落结构变化[J]. 世界生态学, 2021, 10(3): 415-422. DOI: 10.12677/ije.2021.103046

## Abstract

In order to learn the effects of ecological restoration on phytoplankton community structure, six sample sites were selected in Mingcui Lake of Ningxia in summer (July) and autumn (October) in 2015 and 2020. The results showed that the phytoplankton species increased after ecological restoration, and chlorophyta and cyanophyta phytoplankton were the most significant. The algal abundance and biomass increased significantly, reaching the maximum of  $65,152.78 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $28.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively. The number of dominance decreased and the dominance index generally increased compared with that before ecological restoration. Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) decreased and Pielou evenness index ( $J$ ) increased after ecological restoration. These results indicate that the phytoplankton community is still in succession, and it will take a longer time for the ecosystem to stabilize.

## Keywords

Mingcui Lake, Ecological Restoration, Phytoplankton, Biotic Index

Copyright © 2021 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

我国对浮游植物群落的研究早期主要以形态学、分类学以及种群生态分布习性为主[1], 随着认知的深入, 整体的群落结构特征变为新切入点, 与此同时研究者发现浮游植物群落结构与环境因子的内在关系, 作为水体主要初级生产者的浮游植物对环境变化敏感, 因此浮游植物群落结构变化在一定程度上能够反映水质变化, 在此基础上发展出 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、藻类综合指数等[2]一系列描述浮游植物群落结构特征的方法以及对应的评价标准, 是水环境监测工作中的重要参考[3]。

湖泊水质恶化是我国普遍存在的现实问题[4], 鸣翠湖湿地地处宁夏, 特殊的地理位置与气候所决定的高蒸发量与低降水量使其存在缺水现象, 除此之外鸣翠湖湿地作为国家湿地公园, 还承担着观光旅游、娱乐休闲的职能[5], 受人类活动干扰大, 出现水质恶化的趋势。为遏制这种趋势截至 2020 年鸣翠湖湿地已采取了一系列生态修复措施, 但修复效果很难明确。

生态修复是对水体的强烈干扰[6], 浮游植物群落结构必然会随之发生变化。本文通过对生态修复前后浮游植物群落结构特征的对比研究, 以期从浮游植物的角度探究生态修复对鸣翠湖湿地的影响。

## 2. 研究地概况与研究方法

### 2.1. 研究地概况

鸣翠湖湿地坐标为东经  $106^{\circ}21'19''\sim 106^{\circ}23'29''$ , 北纬  $38^{\circ}22'9''\sim 38^{\circ}24'7''$ , 位于银川市鸣翠湖国家湿地公园北部, 总面积  $133 \text{ hm}^2$ , 海拔  $1105 \text{ m}$ , 平均水深  $1.8 \text{ m}$ 。鸣翠湖国家湿地公园自 2006 年批准设立、2011 年国家验收以来, 以旅游观光、休闲娱乐的形式创造了巨大的社会、经济效益, 也较为完整地保存了鸣翠湖湿地自然地貌, 为丰富的动植物种如国家一级保护动物大鸨、国家二级保护动物大天鹅等提供了生存环境, 具有突出的生态效益。

鸣翠湖湿地在开发的同时也注重生态修复,到2020年为止已投入大量资金,用于补给黄河水、清淤疏浚、植被恢复、刈割芦苇以及生态放流等诸多生态修复手段。

## 2.2. 采样点设置

本研究根据鸣翠湖实地情况设置了6个采样点,分别于2015年与2020年的夏季(7月)和秋季(10月)进行采样,采样点分布见图1,采样点经纬度与环境特征如表1所示。

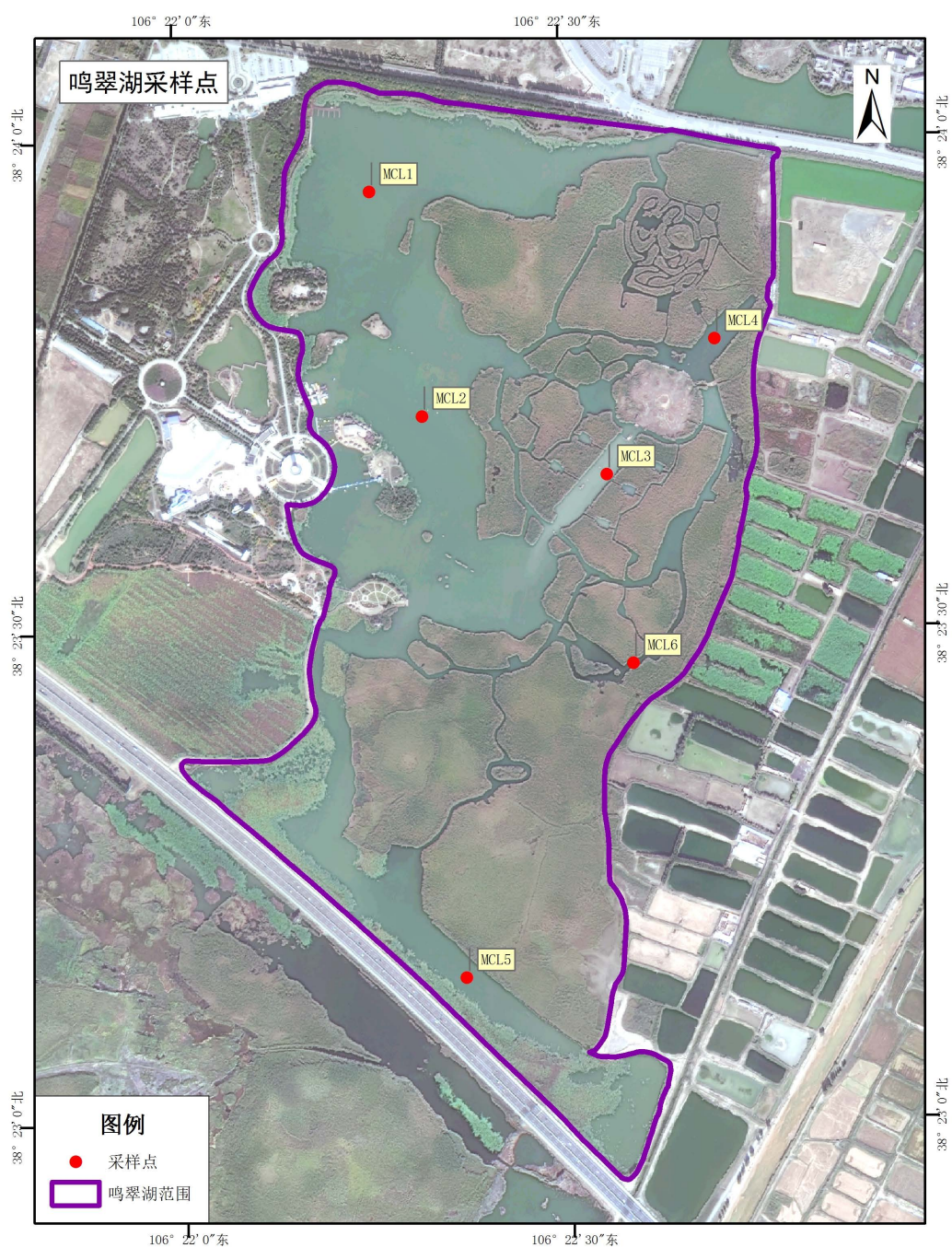


Figure 1. The geographical location of sampling sites  
图1. 采样点的地理位置示意图

**Table 1.** Distribution of sample sites in Mingcui Lake**表 1.** 鸣翠湖采样点设置

| 样点   | 经度            | 纬度           | 生境特征                   |
|------|---------------|--------------|------------------------|
| MCL1 | 106°22'15.14" | 38°23'56.85" | 淤泥底质, 距芦苇丛 20 m        |
| MCL2 | 106°22'19.01" | 38°23'43.09" | 淤泥底质, 距芦苇丛 20 m        |
| MCL3 | 106°22'33.30" | 38°23'39.40" | 附近为芦苇丛, 航道中心、水面宽约 50 m |
| MCL4 | 106°22'41.80" | 38°23'47.60" | 附近为芦苇丛, 航道中心、水面宽约 50 m |
| MCL5 | 106°22'21.85" | 38°23'8.750" | 附近为大面积芦苇, 湖道水面宽约 2 m   |
| MCL6 | 106°22'35.15" | 38°23'27.85" | 湖心敞水面区域                |

### 2.3. 数据处理与分析

浮游植物定量样品的采集选择用有机玻璃采水器在水面 0.5 m 和 1.5 m 处混匀后共采集 1 L 水样, 加入 10 ml 鲁哥氏碘液进行固定, 带回实验室静置 36~72 h, 使用虹吸管移走上清液, 将浓缩得到的 30 ml 样品摇匀, 用移液枪吸取 0.1 ml 于浮游植物计数框中, 在 10 × 40 倍显微镜下每片随机选取 100 个视野拍照, 随后对照相关参考文献[7]对各个样点浮游植物物种及个数分布进行鉴定和统计。

优势种是指群落中占优势的种类, 优势种发生的演替在一定程度上可以反映生态修复对浮游植物群落的影响。依据  $Y = \sum (ni/N)$  的公式(式中,  $Y$  为优势度,  $ni$  为样品中第  $i$  种浮游植物的个体数,  $N$  为样品中浮游植物总个体数,  $f_i$  为第  $i$  种浮游植物在各样点出现的频率)在 Excel 中计算各年份各季节浮游植物优势度, 优势度  $Y > 0.02$  的为优势种。

使用 Past326b 软件计算浮游植物生物多样性指数, 包括 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ ), 通过对比生态修复前后生物多样性指数来反映浮游植物群落多样性的变化。Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )指群落种类丰富度, 群落中生物种类增多代表了群落的复杂程度增高, 即  $H'$  值越大群落所含的信息量越大: 当  $H' \leq 1$  时, 物种组成较少; 当  $1 < H' \leq 3$  时, 物种组成适中; 当  $H' \geq 3$  时物种组成丰富。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。即各物种数量越接近, 均匀度就越大。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 生态修复对鸣翠湖浮游植物物种组成的影响

如图 2 所示, 2020 年生态修复后浮游植物种类普遍多于 2015 年生态修复前, 鸣翠湖 2015 年夏季共鉴定出浮游植物 7 门 32 种及其变种, 2020 年夏季共鉴定出浮游植物 8 门 133 种及其变种, 2015 年秋季共鉴定出浮游植物 7 门 44 种及其变种, 2020 年秋季共鉴定出浮游植物 8 门 82 种及其变种; 生态修复后绿藻门、蓝藻门、硅藻门、裸藻门植物种类显著增多, 金藻门浮游植物种类减少, 黄藻门浮游植物出现。

### 3.2. 生态修复前后浮游植物优势种变化

如表 2 所示, 经生态修复优势种的数量与种类发生了较大变化, 夏季优势种由 2015 年夏季优势种共 16 种, 2015 年秋季优势种共 15 种, 而 2020 年夏季优势种为 8 种; 2020 年秋季优势种为 7 种, 优势种种类总体上减少; 2015 年优势度指数在 0.02~0.092 之间波动, 2020 年优势度指数在 0.020~0.359 之间波动, 总体呈上升趋势。生态修复前优势种以蓝藻、硅藻、金藻、绿藻门浮游植物为主, 但生态修复后以蓝藻、绿藻和硅藻为主。

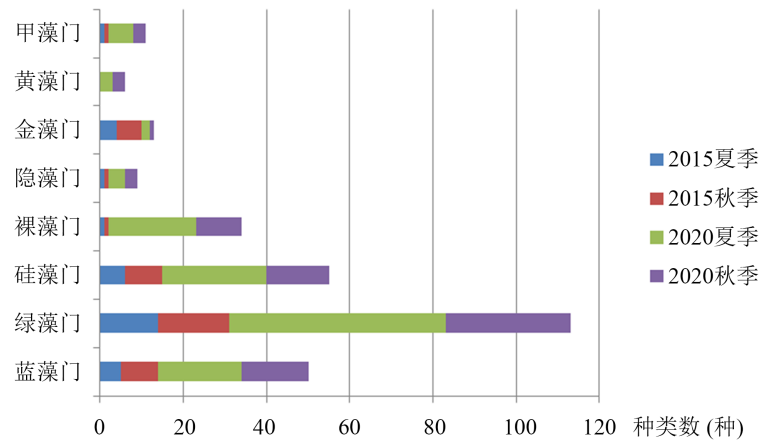


Figure 2. Phytoplankton species composition in Mingcui Lake

图 2. 鸣翠湖浮游植物物种组成

Table 2. Dominant species of phytoplankton in Mingcui Lake

表 2. 鸣翠湖浮游植物优势种

| 时间       | 优势种                 | 优势度                            |                            |
|----------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 2015 年夏季 | 马氏平裂藻               | <i>Merismopedia marssonii</i>  | 0.087                      |
|          | 短线脆杆藻               | <i>Fragilaria brevistriata</i> | 0.085                      |
|          | 钝脆杆藻                | <i>Fragilaria capucina</i>     | 0.072                      |
|          | 棕鞭藻属一种              | <i>Ochromonas sp.</i>          | 0.068                      |
|          | 尖针杆藻                | <i>Synedra acus</i>            | 0.057                      |
|          | 狭形纤维藻               | <i>Ankistrodesmus angustus</i> | 0.050                      |
|          | 四角十字藻               | <i>Crucigenia quadrata</i>     | 0.048                      |
|          | 四足十字藻               | <i>Crucigenia tetrapedia</i>   | 0.045                      |
|          | 固氮鱼腥藻               | <i>Anabaena azotica</i>        | 0.040                      |
|          | 阿氏席藻                | <i>Phormidium allorgei</i>     | 0.034                      |
|          | 华美色金藻               | <i>Chromulina elegans</i>      | 0.029                      |
|          | 纤细角星鼓藻              | <i>Staurastrum gracile</i>     | 0.029                      |
|          | 卵形衣藻                | <i>Chlamydomonas ovalis</i>    | 0.024                      |
|          | 球衣藻                 | <i>Chlamydomonas globosa</i>   | 0.024                      |
|          | 极小集胞藻               | <i>Synechocystis minuscula</i> | 0.024                      |
|          | 实球藻                 | <i>Pandorina morum</i>         | 0.021                      |
|          | 2015 年秋季            | 阿氏席藻                           | <i>Phormidium allorgei</i> |
| 固氮鱼腥藻    |                     | <i>Anabaena azotica</i>        | 0.077                      |
| 球衣藻      |                     | <i>Chlamydomonas globosa</i>   | 0.072                      |
| 钝脆杆藻     |                     | <i>Fragilaria capucina</i>     | 0.062                      |
| 极小集胞藻    |                     | <i>Synechocystis minuscula</i> | 0.046                      |
| 棕鞭藻属一种   |                     | <i>Ochromonas sp.</i>          | 0.046                      |
| 小三毛金藻    |                     | <i>Prymnesium parvum</i>       | 0.040                      |
| 狭形纤维藻    |                     | <i>Ankistrodesmus angustus</i> | 0.031                      |
| 尖针杆藻     | <i>Synedra acus</i> | 0.028                          |                            |

Continued

|           |           |                                  |                                 |       |
|-----------|-----------|----------------------------------|---------------------------------|-------|
|           | 鱼鳞藻属一种    | <i>Mallomonas sp.</i>            | 0.027                           |       |
|           | 分歧锥囊藻     | <i>Dinobryon divergens</i>       | 0.027                           |       |
|           | 空球藻       | <i>Eudorima elegans</i>          | 0.024                           |       |
|           | 短线脆杆藻     | <i>Fragilaria brevistriata</i>   | 0.020                           |       |
|           | 多棘栅藻      | <i>Scenedesmus spinosus</i>      | 0.020                           |       |
|           | 梅尼小环藻     | <i>Cyclotella meneghiniana</i>   | 0.020                           |       |
| 2020 年夏季  | 中华小尖头藻    | <i>Raphidiopsis sinensia</i>     | 0.359                           |       |
|           | 水华束丝藻     | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>  | 0.178                           |       |
|           | 伪鱼腥藻      | <i>Pseudoanabaena schmidlei</i>  | 0.055                           |       |
|           | 肘状针杆藻     | <i>Synedra ulna</i>              | 0.049                           |       |
|           | 卷曲纤维藻     | <i>Ankistrodesmus convolutus</i> | 0.047                           |       |
|           | 尖针杆藻      | <i>Synedra acus</i>              | 0.041                           |       |
|           | 肘状针杆藻狭细变种 | <i>Synedra ulna var.danica</i>   | 0.021                           |       |
|           | 微小平裂藻     | <i>Oscillatoria tenuissima</i>   | 0.021                           |       |
|           | 2020 年秋季  | 水华束丝藻                            | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> | 0.319 |
|           |           | 钝顶螺旋藻                            | <i>Spirulina platensis</i>      | 0.133 |
| 中华小尖头藻    |           | <i>Raphidiopsis sinensia</i>     | 0.115                           |       |
| 尖针杆藻      |           | <i>Synedra acus</i>              | 0.044                           |       |
| 肘状针杆藻狭细变种 |           | <i>Synedra ulna var.danica</i>   | 0.034                           |       |
| 肘状针杆藻     |           | <i>Synedra ulna</i>              | 0.028                           |       |
| 伪鱼腥藻      |           | <i>Pseudoanabaena schmidlei</i>  | 0.021                           |       |

### 3.3. 生态修复对鸣翠湖浮游植物丰度与生物量的影响

如图 3, 生态修复后鸣翠湖浮游植物丰度与生物量均呈现增长趋势, 夏季鸣翠湖藻类丰度由  $1364.4 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$  增加到  $65,152.78 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ , 增加约 48 倍, 秋季藻类丰度由  $1910.2 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$  增加到  $6005.21 \text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 夏季鸣翠湖生物量由  $5.59 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增加到  $28.34 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 增加了 5 倍, 秋季生物量由  $3.59 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  增加到  $5.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

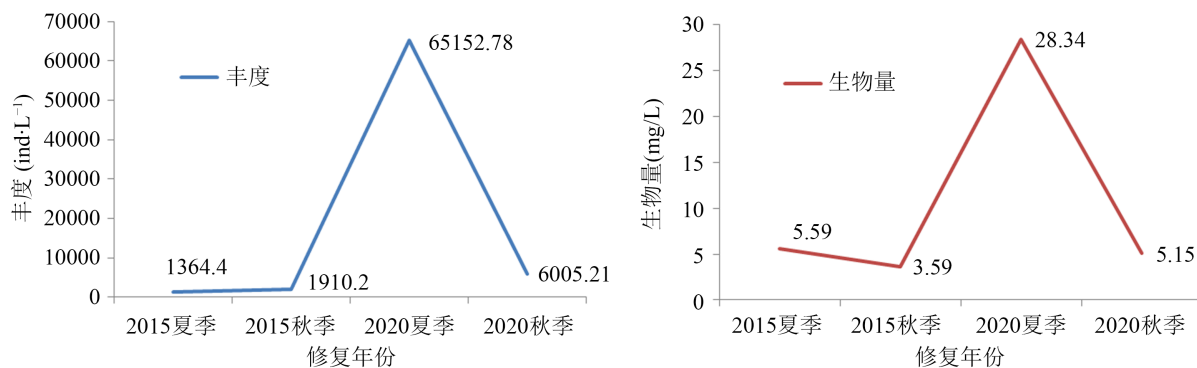


Figure 3. The abundance and biomass of phytoplankton in Mingcui Lake

图 3. 鸣翠湖浮游植物丰度与生物量

### 3.4. 生态修复对鸣翠湖浮游植物生物多样性的影响

单因素方差分析显示鸣翠湖各样点间生物多样性指数无显著差异( $P > 0.05$ )。如表 3 所示,生态修复前后鸣翠湖夏季 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )由 3.3098 下降为 2.6427, Pielou 均匀度指数( $J$ )由 0.3775 上升为 0.5953; 秋季 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )由 3.8705 下降为 2.7030, Pielou 均匀度指数( $J$ )由 0.4680 上升为 0.7122。鸣翠湖总体呈现 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )下降、Pielou 均匀度指数( $J$ )上升的特点,生态修复后浮游植物丰富度下降,但仍处在较高水平。

**Table 3.** Biodiversity index of phytoplankton in Mingcui Lake

**表 3.** 鸣翠湖浮游植物生物多样性指数

| 湖泊  | 采样时间     | $H'$   |       | $J$    |       |
|-----|----------|--------|-------|--------|-------|
|     |          | 平均值    | 标准偏差  | 平均值    | 标准偏差  |
| 鸣翠湖 | 2015 年夏季 | 3.3098 | 0.123 | 0.3775 | 0.012 |
|     | 2015 年秋季 | 3.8705 | 0.270 | 0.4680 | 0.038 |
|     | 2020 年夏季 | 2.6427 | 0.203 | 0.5953 | 0.051 |
|     | 2020 年秋季 | 2.7030 | 0.374 | 0.7122 | 0.075 |

## 4. 讨论

对生态修复前后鸣翠湖浮游植物群落结构特征进行比较发现:2020 年鸣翠湖浮游植物种类较 2015 年增多,绿藻、蓝藻门浮游植物种类显著增加;2020 年优势种种类较 2015 年减少,但优势度指数呈现增大趋势;2020 年浮游植物丰度、生物量相较于生态修复前也呈增长趋势;生物多样性指数总体呈现 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )下降、Pielou 均匀度指数( $J$ )上升的特点。虽然生态修复后浮游植物种类增多,但优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )、Pielou 均匀度指数( $J$ )的变化均反映着浮游植物群落存在着均一化趋势,有占绝对优势地位的优势种出现,如中华小尖头藻(*Raphidiopsis sinensia*)、水华束丝藻(*Aphanizomenon flosaquae*)等,在夏季大量发生,经计算约占夏季浮游植物总丰度的 54%。虽然群落信息含量大,但均匀度较高,这种现象说明生态修复后鸣翠湖浮游植物群落仍处于不稳定的状态。

究其原因,浮游植物尤其中华小尖头藻和水华束丝藻数量十分巨大,一方面由于蓝藻门[8]、绿藻门[9]浮游植物适宜在较高的气温下生长繁殖,夏季较高的气温是其大量发生的诱因之一;另一方面有研究表明对底泥的疏浚在短时间内会降低水中的 N、P 含量,起到清洁水体的作用,但随着时间的推移,N、P 重新沉积,疏浚的效果会减弱,出现污染回复甚至较修复前更甚的现象[10][11]。生态修复后鸣翠湖浮游植物优势度指数上升,可能生态修复中的疏浚活动使底泥中 N、P 等营养物质大量释放,在一定程度上加快了浮游植物群落演化的进程;而修复后沙湖中浮游植物丰度与生物量均大幅增加,也说明湖泊营养负荷高,存在着富营养化现象:除此之外,大型水生植物与浮游植物构成竞争关系,不仅竞争营养物质、阳光、生存空间等[12],有研究表明芦苇、香蒲等植物还会释放特殊化学物质抑制浮游植物生长[13]。生态修复手段中又割水草一项可能减小了浮游植物的生存压力,也是鸣翠湖浮游植物大量发生的原因之一。

## 5. 结论

本次调查研究发现,生态修复后鸣翠湖浮游植物种类增多,Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )仍处于较高水平,说明生态修复后浮游植物群落丰富度较高;但受大量发生的中华小尖头藻、水华束丝藻等优势种的影响,优势度指数普遍增大,Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )下降,Pielou 均匀度指数( $J$ )升高,这

些现象均说明群落出现均匀化趋势；大幅增加的浮游植物丰度、生物量数据说明鸣翠湖水体可能存在富营养化现象。综上所述生态修复后鸣翠湖浮游植物群落仍是处于不稳定的状态，处于何种恢复阶段仍需要进一步的监测与研究。

## 参考文献

- [1] 孙军, 刘东艳, 杨世民, 郭健, 钱树本. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(5): 461-471.
- [2] 刘慧. 呼伦湖浮游生物资源调查分析[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海洋大学, 2020.
- [3] 舒金华. 我国主要湖泊富营养化程度的评价[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 616-620.
- [4] 濮培民, 王国祥, 胡春华, 等. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗? [J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 269-279.
- [5] 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪. 鸣翠湖轮虫群落特征及其与水环境因子的关系[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2012, 33(1): 62-68.
- [6] 刘冬燕, 赵建夫, 张亚雷, 等. 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.
- [7] 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: 1-1042.
- [8] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 589-595.
- [9] 谭啸, 孔繁翔, 于洋, 等. 升温过程对藻类复苏和群落演替的影响[J]. 中国环境科学, 2009, 29(6): 578-582.
- [10] Li, Y., Wang, L.G., Yan, Z.W., *et al.* (2020) Effectiveness of Dredging on Internal Phosphorus Loading in a Typical Aquacultural Lake. *Science of the Total Environment*, 744, Article ID: 140883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140883>
- [11] 范成新, 张路, 王建军, 郑超海, 高光, 王苏民. 湖泊底泥疏浚对内源释放影响的过程与机理[J]. 科学通报, 2004, 49(15): 1523-1528.
- [12] 张娉杨. 两种挺水植物对铜绿微囊藻抑制作用的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- [13] Bansal, S., *et al.* (2019) Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management. *Wetlands*, 39, 645-684. <https://doi.org/10.1007/s13157-019-01174-7>