

## 辽宁抚顺平山水库退役后河流浮游藻类季节动态及水质评价

王艳, 董锡瑞, 刘欣, 盖蕊萱, 艾乾凤 (沈阳师范大学生命学院, 辽宁沈阳 110034)

**摘要** 为了揭示辽宁省抚顺市平山水库退役后河道水体中藻类群落特征和水质状况, 分别于2018年3、5、7和10月调查分析了该河流浮游藻类的种类构成、优势度和生物多样性指数, 并测定了水体的一些理化指标。结果共记录到浮游植物藻类7门79种(属), 其中以硅藻门种类最多(34%), 其次是蓝藻门(32%), 再次是绿藻门(18%)。3月河流中藻类有60种, 是各季节中出现种类最多的。不同季节藻类丰度为 $1.6 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^6$  个/L。不同季节河流中的优势种存在明显变化, 3月最占优势的是硅藻门的羽纹藻(0.108), 5月最占优势的是多甲藻(0.194), 7月最占优势的是微囊藻(0.334), 10月则以裸藻属最占优势(0.220)。全年浮游藻类丰富度指数(D)在0.962~1.364, Shannon-Wiener多样性指数(H')在2.063~2.971。按生物多样性指标评价, 河流水体处于中-重污染水平。按照理化指标测定结果, 夏秋季水质为劣V类, 早春则为IV类水。污染超标的主要是总氮(TN), 这与水库退役后裸露库底的农耕施肥密切相关。

**关键词** 抚顺平山水库; 退役; 浮游藻类; 水质评价

中图分类号 S917.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)13-0058-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Seasonal Dynamics of Phytoplankton and Water Quality Evaluation of the River after Pingshan Reservoir Decommissioning in Fushun, Liaoning Province

WANG Yan, DONG Xi-rui, LIU Xin et al (Life Science College of Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning 110034)

**Abstract** The phytoplankton community, physical and chemical indicators were assessed in March, May, July and October, 2018 in order to investigate the seasonal dynamics of phytoplankton community and aquatic environment of the water after the Pingshan Reservoir decommissioning in Fushun, Liaoning Province. The result showed that total 79 species belonging 7 phyla were identified to be mainly composed of the Bacillariophyta, Cyanophyta and Chlorophyta in the proportion of 34%, 32% and 18%, respectively. The highest species number (60 species) occurred in March among 4 time samples. The abundances of algae were between  $1.6 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^6$  ind./L. The most dominant species changed obviously among different seasons and they were *Pinnularia* sp. in March (0.108), *Peridinium* sp. in May (0.194), *Microcystis ichthyoblabile* (0.334) in July and *Euglena* sp. (0.220) in October. The Margalef indexes were between 0.962-1.364, the Shannon-Wiener indexes were between 2.063-2.971. The water was middle to heavily polluted evaluated by the biological indexes. The water quality level belonged to bad V in summer and autumn and IV in early spring. The total nitrogen was the main excessive factor and it was caused by farming on the naked reservoir bottom after the decommissioning of Pingshan Reservoir.

**Key words** Pingshan Reservoir, Fushun; Decommissioning; Phytoplankton; Water quality assessment

水库在拦洪蓄水、调节径流、供水发电、灌溉养鱼等方面发挥了重要的作用, 但对于水分循环与河流生态系统的健康存在一定的不良影响, 因为水库大坝改变了水流运动方式, 影响了河流的自然形态和原有的水文条件, 水体的溶解氧和营养物质含量等都会发生明显的变化, 对于水体的生物种类、生物多样性等发生重要影响, 岸边的植被也会由于工程建设及水体形态和用途的改变而发生很大变化。为了恢复河流生态系统的结构和功能, 国内外都在一定程度上开展了水库拆坝的实践工作, 并对拆坝前后的河流变化开展了监测及研究工作, 其中浮游藻类监测是一项重要工作。藻类是水体中的初级生产者, 参与水环境中的物理、化学、生物过程, 对环境反应敏感, 其种类组成以及数量、生物多样性等能很好地反映水环境质量好坏及其变化, 是评价水域环境的重要指标<sup>[1]</sup>, 因此, 常被作为水体环境及生态系统健康的有效生物监测指标。

辽宁省开展了一些小型水库退役的工作, 抚顺平山水库(41°46'3"N, 124°01'43"E)就是一个于2016年退役的小II型水库, 该水库位于抚顺东洲区碾盘乡丁家村, 处于浑河的一

级支流东洲河上。笔者于2018年在水库的原库底位置河段进行了4次采样, 分别是3月(早春)、5月(春季)、7月(夏季)和10月(秋季), 研究其浮游藻类的种类、数量, 并通过生物多样性指数评价水环境质量, 以期退役水库的相关研究奠定一定的基础。

#### 1 研究方法

**1.1 水样采集与处理** 水库大坝拆开泄水后, 在裸露的库底形成了一条水深不足1m的小河, 因此调查主要采取定量样品的采集方法, 用采水器采集水下10cm深水样1L, 加入鲁哥氏液15mL, 将水样带回实验室后, 沉淀24~48h, 浓缩至50mL, 贮存于棕色瓶中。

**1.2 藻类鉴定与数量统计** 将浓缩水样摇匀, 用移液枪吸取0.1mL水样于浮游藻类计数框中, 盖上盖玻片后在10×40倍显微镜下鉴定<sup>[2-4]</sup>并计数。浮游藻类计数需观察至少2片计数框, 每片计数框观察50个视野, 取其平均值为最终结果, 若2片计数结果相差15%以上, 则进行第3片计数, 取其个数相近2片的平均值<sup>[5]</sup>。

藻类计数后根据下面公式计算出1L水中每种浮游藻类的丰度:

$$N = \frac{C_s}{F_s \times F_n} \times \frac{V}{U} \times P_n$$

式中,  $C_s$  为计数框面积( $\text{mm}^2$ );  $F_s$  为每个视野的面积( $\text{mm}^2$ );  $F_n$  为计数过的视野数;  $V$  为1L水样经沉淀浓缩后

**基金项目** 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07501-004); 沈阳师范大学大学生课题(201810166008)。

**作者简介** 王艳(1970—), 女, 辽宁昌图人, 副教授, 博士, 从事植物生态学研究。

**收稿日期** 2019-02-18

的体积(mL); $U$ 为计数框的体积(mL); $P_n$ 为计数出的浮游植物个数(个/L)。

**1.3 水体理化因子测定** 根据《中华人民共和国-地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中规定的基本项目,该研究测定的水质指标有pH、电导率(EC)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、总悬浮固体(TSS)、总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )。其中pH、EC、DO和TSS使用便携式多参数测量仪(奥立龙/ORION-520M-01A)测量。COD(重铬酸钾法)、TN(过硫酸钾氧化-紫外分光光度法)、TP(钼锑抗分光光度法)和 $\text{NH}_3\text{-N}$ (纳氏试剂比色法)等指标使用国标方法测定。

#### 1.4 藻类优势度及多样性指数

**1.4.1 Simpson 优势度指数( $Y$ )**。Simpson 优势度指数用于测定、筛选群落中比较占优势的物种,用下面的公式计算:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i$$

式中, $n_i$ 表示样品中第*i*种物种的个体数; $N$ 表示样品中所有种类的总个体数; $f_i$ 为第*i*种出现的频率,当 $Y \geq 0.02$ 时为优势种<sup>[6]</sup>。

**1.4.2 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )**。若Shannon-Wiener指数的数值大,则表示群落结构复杂,反馈调节功能较强,群落较稳定;数值小则相反,计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^s \left( \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N} \right)$$

式中, $N_i$ 表示第*i*种的藻类个体数; $N$ 表示藻类个体总数。其评价水质状况的标准:0~1为重污染,>1~3为中污染,>3为轻污染或无污染<sup>[7]</sup>。

**1.4.3 Margalef 多样性指数( $D$ )**。一般情况下,健康的水环境中,藻类种类较高;污染的水环境中,藻种类较少。Margalef指数主要反映群落物种的丰富度,计算公式为:

$$D = \frac{S-1}{\ln N}$$

式中, $S$ 表示藻类各类种类数; $N$ 表示藻类总个体数。具体评价水质的标准:<3为重污染,3~4为中污染,>4~5为轻污染,>5为无污染<sup>[7]</sup>。

数据统一用Excel2007进行统计处理。

## 2 结果与分析

**2.1 浮游藻类物种数及构成** 4次采样共统计到藻类79种,其中硅藻门27种,占总种类数的34%;蓝藻门25种,占总种类数的32%;绿藻门14种,占总种类数的18%;裸藻门和甲藻门各6种,各约占总种数的7%;隐藻门和金藻门各1种。各门在不同采用时间的种类数及各门分布如表1所示。由表1可知,3月河流中藻类的种类数最多(60种),其他时间水样中的藻类种类数接近。

**2.2 藻类丰度分析** 水体中丰度较高的藻类在不同季节有一定的变化,3月各种藻的细胞丰度是 $1.6 \times 10^4 \sim 3.9 \times 10^5$ 个/L,其中丰度较高的有蓝藻门的隐杆藻(*Aphanothece* sp.,  $3.9 \times 10^5$ 个/L)、水华微囊藻(*Microcystis flosaquae*,  $3.1 \times 10^5$ 个/L)、绿藻门的鼓藻(*Cosmarium* sp.,  $2.4 \times 10^5$ 个/L),硅

藻门中舟形藻(*Navicula* sp.,  $4.4 \times 10^5$ 个/L)、羽纹藻(*Pinnularia* sp.,  $2.2 \times 10^5$ 个/L)、针杆藻(*Synedra* sp.,  $2.0 \times 10^5$ 个/L)、线形双菱藻(*Surirella linearis*,  $1.3 \times 10^5$ 个/L),甲藻门中的多甲藻(*Peridinium* sp.,  $3.5 \times 10^5$ 个/L);5月各种藻类细胞丰度为 $1.6 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^5$ 个/L,其中丰度较高的有蓝藻门中的隐杆藻(*Aphanothece* sp.,  $1.2 \times 10^5$ 个/L)、束丝藻(*Aphanizomenon* sp.,  $7.8 \times 10^4$ 个/L),绿藻门中小球藻(*Chlorella* sp.,  $9.4 \times 10^4$ 个/L),硅藻门羽纹藻( $4.2 \times 10^5$ 个/L)、针杆藻( $1.6 \times 10^5$ 个/L)、根管藻(*Rhizosolenia* sp.,  $1.4 \times 10^5$ 个/L),裸藻门中的裸藻(*Euglena* sp.,  $2.0 \times 10^5$ 个/L),甲藻门的多甲藻( $6.0 \times 10^5$ 个/L);7月各种藻类细胞丰度为 $1.6 \times 10^4 \sim 6.9 \times 10^5$ 个/L,其中丰度较高的藻类有蓝藻门中的微囊藻(*Microcystis ichthyoblable*,  $2.2 \times 10^6$ 个/L)、隐球藻(*Aphanocapsa* sp.,  $1.1 \times 10^5$ 个/L),硅藻门的菱形藻(*Nitzschia* sp.,  $1.6 \times 10^5$ 个/L)、舟形藻(*Navicula* sp.,  $1.4 \times 10^5$ 个/L),隐藻门中的隐藻(*Cryptomonas* sp.,  $1.3 \times 10^5$ 个/L),甲藻门中的多甲藻( $6.9 \times 10^5$ 个/L);10月水体中各种藻类细胞丰度为 $1.6 \times 10^4 \sim 1.2 \times 10^6$ 个/L,其中丰度较高的藻类有蓝藻门中的黏球藻(*Gloeocapsa* sp.,  $3.6 \times 10^5$ 个/L)、绿色微囊藻(*Microcystis viridis*,  $2.4 \times 10^5$ 个/L)、水华微囊藻(*Microcystis flosaquae*,  $1.6 \times 10^5$ 个/L),硅藻门的直链藻(*Melosira* sp.,  $1.9 \times 10^5$ )、舟形藻( $1.7 \times 10^5$ 个/L)、肋缝藻(*Frustulia* sp.,  $1.6 \times 10^5$ 个/L)、针杆藻( $1.2 \times 10^5$ 个/L),裸藻门的裸藻( $1.2 \times 10^6$ 个/L),甲藻门的多甲藻( $5.6 \times 10^5$ 个/L)。

表1 2018年不同季节水样中浮游藻类种类数及其在各门的分布

Table 1 Distribution of alga species number in different divisions during different seasons in 2018

门 Phylum	3月 March	5月 May	7月 July	10月 October
蓝藻门 Cyanophyta	20	11	7	12
硅藻门 Bacillariophyta	21	10	10	12
绿藻门 Chlorophyta	8	4	5	1
裸藻门 Euglenophyta	4	4	3	2
隐藻门 Cryptophyta	1	0	1	1
甲藻门 Pyrrophyta	5	4	2	3
金藻门 Chrysophyta	1	2	0	1
合计 Total	60	35	28	32

**2.3 不同季节的优势种** 通过Simpson优势度指数分析,3月河流中优势度较高的有硅藻门的羽纹藻(Simpson优势度指数为0.108)、针杆藻(0.092)、透明双肋藻(*Amphipleura* sp., 0.046)和甲藻门的多甲藻(0.052);5月优势度较高的种为甲藻门的多甲藻(0.194),蓝藻门的隐杆藻(0.097),硅藻门的针杆藻(0.095)、脆杆藻(0.082)和直链藻(0.063);7月优势度较高的种为蓝藻门的微囊藻(0.334),硅藻门的舟形藻(0.247)、菱形藻(0.163)、针杆藻(0.096),甲藻门的多甲藻(0.063);10月优势度较高的种为裸藻门的裸藻(0.220),蓝藻门的黏球藻(0.150),硅藻门的直链藻(0.080)。由以上结果可见,河流中的优势藻类随着季节变化而有明显更替。从优势度分析,平山水库退役后东洲河库底段浮游藻类群落

结构在早春(3月)呈现硅藻型,春末(5月)为甲藻-蓝藻-硅藻型,夏季(7月)呈蓝藻-硅藻-甲藻型,秋季(10月)则为裸藻-蓝藻-硅藻型。

温度及营养物质等多种因素可以影响水体中浮游植物群落结构的季节变化<sup>[8]</sup>。该研究发现蓝藻门的微囊藻属藻类在夏季(7月)是较重要的优势种,这一方面与蓝藻能够适应高温水体有关,另外与库底农田的化肥施用有关。蓝藻尤其是微囊藻属是耐污性比较强的藻类,其藻细胞密度越高,水体富营养化程度越严重<sup>[9-10]</sup>。多甲藻在3月和5月为优势种,它也是污染指示藻类,可产生多种毒素,导致鱼类死亡。

硅藻适应低温能力强,易在春季形成优势<sup>[2]</sup>,这在该研究中有很好体现。该研究结果还表明,各季节中硅藻不论是在种类还是优势度方面都是比较重要的类群。邓建明等<sup>[11]</sup>研究发现洪湖浮游植物以硅藻为主,杨宋琪等<sup>[12]</sup>对黑河张掖段浮游植物群落结构的研究结果也与此研究结论相似。

**2.4 藻类多样性指数分析** 多样性指数结果如表2所示。按照 Margalef 多样性指数结果判断,各时期的水体均呈重污

染状态;按照 Shannon-Wiener 多样性指数,各季节则均处于中污染状态。因此,东洲河该段水体基本呈中-重污染状态。

表2 藻类物种多样性指数及水质评价

Table 2 Alga diversity indexes and assessment of water quality

月份 Month	$H'$	$D$
3	2.971/中污染	1.364/重污染
5	2.313/中污染	1.150/重污染
7	2.188/中污染	1.200/重污染
10	2.063/中污染	0.962/重污染

**2.5 水环境理化因子结果分析** 根据我国地表水环境质量标准(GB3838—2002)和该研究测定的理化指标结果(表3),该水体的水质在夏季和秋季为劣V类,早春为IV类,导致水质差的主要因素是TN指标偏高,而这主要是由于水库退役后,露出的库底不淹水的部分变成了农田,而农田施用的氮肥随地表径流进入河流导致水体污染。早春时(3月)农田尚未开始耕作,所以水质略好于其他季节。

表3 2018年水质理化指标监测结果

Table 3 Physical and chemical indicators of water in 2018

月份 Month	pH	EC μs/cm	COD mg/L	TN mg/L	TP mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	TSS mg/L	等级评价 Grade evaluation
3	7.5	270	27	1.2	0.1	0.26	58	IV类
7	7.8	312	22	2.7	0.16	0.04	15	劣V
10	7.9	301	13	4.3	0.16	0.08	11	劣V

### 3 讨论

水库大坝的建设阻断了河流的自然流动,影响了河道中生物的自然交流,对于下游水体中水的流量、水中生物群落构成都会产生重要影响。水库拆坝退役的目的有很多,有从安全角度考虑,有从其他实用性角度考虑,但其中一个重要的方面是使被水库阻断的河流水体恢复自然流动,使其下游的水量和水质得到提升,并恢复其生物多样性及上下游的生物交流。

该研究从浮游藻类角度开展了相关研究,初步揭示了退役水库库底段河流中浮游藻类群落构成及季节动态,对其水质状况进行了初步的评价,发现河流水质呈中-重度污染,理化指标也揭示了其水体的主要污染物是TN。如果不进行控制,将对该段河流水体及其下游水体造成重要影响,对河流的生物多样性恢复必将产生不良影响。孙卫红等<sup>[13]</sup>研究发现太湖入湖河流中,52.8%断面的水为V类和劣V类,而太湖80%以上的污染物都由入湖河流输入,多数太湖入湖河流中TN、NH<sub>3</sub>-N是造成水质恶化的主要原因。结合该研究结果,无论是水库还是河流的污染都与人类的活动息息相关。水库退役后其生态系统恢复是一个长期的过程,但人为积极而正向的干预将发挥重要作用,库底农田的退耕、河岸带植被恢复是相关决策部门应该采取的对策。

### 参考文献

- [1] 李德亮,张婷,肖调义,等.大通湖浮游植物群落结构及其与环境因子关系[J].应用生态学报,2012,23(8):2107-2113.
- [2] 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.
- [3] 《浙江省主要常见淡水藻类图集(饮用水水源)》编委会.浙江省主要常见淡水藻类图集(饮用水水源)[M].北京:中国环境科学出版社,2010.
- [4] 福建省环境监测中心站.福建省大中型水库常见淡水藻类图集[M].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [5] 孟顺龙,陈家长,范立民,等.2007年太湖五里湖浮游植物生态学特征[J].湖泊科学,2009,21(6):845-854.
- [6] LAMPITT R S, WISHNER K F, TURLEY C M, et al. Marine snow studies in the Northeast Atlantic Ocean: Distribution, composition and role as a food source for migrating plankton[J]. Marine biology, 1993, 116(4): 689-702.
- [7] 马永红,曾燊,任丽萍,等.嘉陵江四川段藻类植物群落结构及水质评价[J].应用生态学报,2012,23(9):2573-2579.
- [8] 张云,马徐发,郭飞飞,等.湖北金沙河水库浮游植物群落结构及其与水环境因子的关系[J].湖泊科学,2015,27(5):902-910.
- [9] 王瑜,刘录三,舒俭民,等.白洋淀浮游植物群落结构与水质评价[J].湖泊科学,2011,23(4):575-580.
- [10] 王朝晖,林奇奇,胡韧,等.广东省水库的蓝藻污染状况与水质评价[J].热带亚热带植物学报,2004,12(2):117-123.
- [11] 邓建明,蔡永久,陈宗伟,等.洪湖浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,2010,22(1):70-78.
- [12] 杨宋琪,祖廷勤,王怀斌,等.黑河张掖段浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,2019,31(1):159-170.
- [13] 孙卫红,程伟,崔云霞,等.太湖流域主要入湖河流水环境综合治理[J].中国资源综合利用,2009,27(11):39-42.