

# Study on Water Quality of Water Source for Ecological Restoration of Water Purification Fishery

Yuxi Zhao<sup>1</sup>, Xiaoyu Li<sup>1</sup>, Xu Sun<sup>1</sup>, Hongxian Yu<sup>1</sup>, Fangying Chai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Wildlife Resources, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

<sup>2</sup>Water Conservancy Bureau of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

Email: zhaoyuxi@nefu.edu.cn

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2019; accepted: Mar. 7<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 14<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The ecological restoration of water purification fishery mainly uses the absorption and metabolism function of aquatic organisms to transfer harmful substances from water body to improve water quality. It is an environmentally friendly, low-cost and high-benefit water quality protection and treatment technology. In this study, Xiquanyan Reservoir, a reserve water source in Harbin, was used as the research base to study the ecological restoration and water quality protection of water purification fishery. Through the development of water purification fishery, the Xiquanyan Water Source in Harbin City removed 42 600 tons of nitrogen fertilizer, 29,820 tons of phosphorus fertilizer and absorbed 145,550 tons of carbon dioxide in the four years from 2010 to 2013. After the removal of organic pollutants, the water quality of the reservoir has been improved significantly. Compared with 2009, the contents of ammonia nitrogen, total phosphorus and total nitrogen in the reservoir water decreased by 42.1%, 42.3% and 36.2% respectively in 2010. Purified water fishery can eliminate organic pollution, and at the same time, the carbon sink effect is also very obvious, which can play a role in mitigating the greenhouse effect.

## Keywords

Water Purification Fishery, Water Source, Water Quality, Ecological Restoration

---

# 净水渔业生态修复水源地水质研究

赵予熙<sup>1</sup>, 李晓钰<sup>1</sup>, 孙旭<sup>1</sup>, 于洪贤<sup>1</sup>, 柴方营<sup>2</sup>

<sup>1</sup>东北林业大学野生动物资源学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>2</sup>黑龙江省水利厅, 黑龙江 哈尔滨

Email: zhaoyuxi@nefu.edu.cn

收稿日期：2019年2月21日；录用日期：2019年3月7日；发布日期：2019年3月14日

## 摘要

净水渔业生态修复主要是利用水生生物的吸收、代谢功能将水体有害物质转化迁移出水体，达到改善水质的目的，是环保型、低成本、高效益的水质保护处理技术手段。本研究以哈尔滨市后备水源地西泉眼水库为研究基地进行了净水渔业生态修复保护水质研究。通过发展净水渔业，哈尔滨市西泉眼水源地在2010~2013年的四年内共清除氮肥42,600 t，磷肥29,820 t，吸收二氧化碳145,550 t。有机污染物清除后，水库水质改善效果明显，2010年水库水体氨氮、总磷和总氮含量相比2009年分别下降了42.1%、42.3%和36.2%。净水渔业在消除有机污染的同时，碳汇效果也十分明显，可起到缓解温室效应的作用。

## 关键词

净水渔业，水源地，水质，生态修复

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

随着人口增长和工农业生产的迅猛发展，我国水环境开始不断恶化，其中局部河流和湖泊的水质受到严重污染。水源地污染引起的社会问题相当突出，饮用水水源地保护问题已成为关系国计民生的重大问题。

生活污水、工业废水的大量排放，农药、化肥的大量使用等等，都对水源地水质保护构成严重威胁。水源地集雨面积一般高达几百甚至上千平方公里，一级保护区一般只能限定在几十平方公里内，鉴于我国目前国情，即使是在一级保护区内也很难做到完全消除面源污染。对一级保护区以外的几百乃至几千平方公里范围内的点源污染和面源污染治理，基本上是无能为力。

目前，河流和湖泊污染的程度不断加重，富营养化程度越来越高，饮用水安全受到极大威胁。在我国地表水环境质量标准(GB 3838-2002)中，依据地表水水域环境功能和保护目标，按功能高低依次划分为五类：I类主要适用于源头水、国家自然保护区；II类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产场、仔稚幼鱼的索饵场等；III类主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区；IV类主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区；V类主要适用于农业用水区及一般景观要求水域；劣V类水，污染程度已超过V类的水。根据《中国环境状况公报》，我国重点湖泊(水库)的I类水体由2009年的0%上升到2017年的5.4%，II类水体由3.8%上升到24.1%，III类水体由19.2%上升到33%，但是2017年IV类水体仍占19.6%，V类和劣V类水体仍占17.8%，见图1。

保护水源地，如果采用物理和化学方法控制富营养化会对水体产生污染，而采用生物方法控制富营养化是极为有效的，同时可以带来巨大的经济效益、社会效益和生态效益。如果饮用水水源地水质较差或污染较为严重，则自来水厂后期的处理会加大化学药品的使用剂量，势必造成饮用水的二次污染或产生较大的副作用。所以，除利用法律和行政手段尽量消除水源地一级保护区内点源和面源污染，作为第一道水质保

护屏障外,还应该利用先进的技术手段,设置一系列后续保护屏障,即利用净水渔业对水质进行生态修复,在饮用水水质基本合格后,再输送到自来水厂进行必要的处理,实现对饮用水的高标准要求。

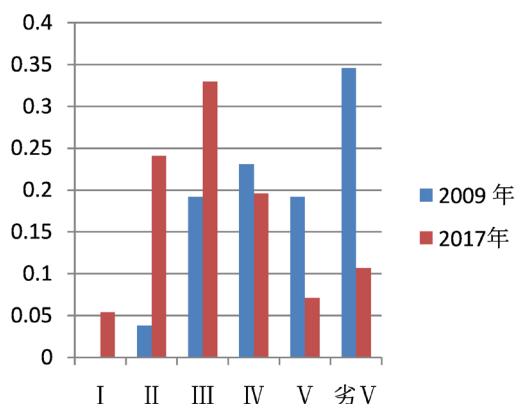


Figure 1. Water quality changes in 2009-2017

图 1. 2009~2017 年各类水体变化情况

净水渔业生态修复主要是利用水生生物的吸收、代谢功能将水体有害物质转化迁出水体,达到改善水质的目的,是环保型、低成本、高效益的水质保护处理技术手段,符合循环经济的理论要求。

本研究以哈尔滨市后备水源地西泉眼水库为研究基地进行了净水渔业生态修复保护水质研究。西泉眼水库是哈尔滨市的第二大饮用水水源地,肩负全市人民的饮水安全,保护西泉眼水库具有重要的意义。

## 2. 研究基地概况

### 2.1. 地理位置

西泉眼水库坐落于哈尔滨市阿城区平山镇境内,位于松花江南岸一级支流阿什河上游,地理坐标为东经 127°22'至 127°31',北纬 45°04'至 45°33'之间。西泉眼水库地处阿城、尚志、五常三市(区)交界处,距离哈尔滨市 112 公里。阿什河发源于尚志市帽儿山,流经尚志市、阿城市、五常市、哈尔滨市,于哈尔滨市水泥厂附近汇入松花江,流域面积 1151 km<sup>2</sup>。西泉眼水库控制流域面积占全流域面积的 32%。

### 2.2. 自然地理环境

西泉眼水库所处区域属于温带大陆性气候。春季风大少雨干旱,夏季湿热多雨,秋季冷凉早霜,冬季漫长寒冷。全年无霜期 120 d~140 d,年平均气温 3.4°C,年日照时数 2400 h~2700 h,有效积温 2500°C~2800°C。年平均降雨量为 565 mm,坝址以上多年平均降雨量为 690 mm。6~9 月份降水占全年降水量的 70%,流域内径流丰枯变化主要受降雨量的影响,夏季降雨量较丰富,冬季枯水。11 月初开始冰冻,冰厚 0.7 m~1 m,4 月上旬解冻。

### 2.3. 工程概况

西泉眼水库工程是以防洪、灌溉为主,兼顾除涝、养鱼、发电、旅游、城市供水等综合利用的水利枢纽工程。国家计委于 1991 年 2 月将西泉眼水库项目正式批准立项,1996 年 10 月主体工程竣工,2000 年 10 月通过验收。西泉眼水库是阿什河流域的第一个控制性工程,为大(II)型水库,库容量为 4.78 × 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>,正常蓄水位高程为 209.9 m。底质为壤土、砂壤土、草甸土和淋溶腐殖土。属丘陵型水库。水库左岸

多为耕地和山林，右岸除局部为缓坡沟谷外，多为陡峭的山体，植被茂盛。西泉眼水库建成后淹没了大量农田、耕地、林地和沼泽，大量有机质溶解进入水体。

### 3. 研究基地污染情况

根据哈尔滨工业大学市政环境工程学院和东北农业大学资源与环境学院 2000~2003 年的研究报告，西泉眼水库的主要污染物是氮和磷，属有机污染型[1] [2] [3]。

西泉眼水库输入营养物质的污染源有五类。一是工业企业和城镇形成的点污染源；二是流域面积内农田、林地等地表径流形成的面源污染源；三是受到污染的河流形成的径流水污染源；四是大气降水、降尘污染源；五是库区周围旅游业形成的污染源。

#### 3.1. 流域内各类污染源情况

##### 3.1.1. 点源污染

###### 1) 帽儿山钢铁厂

帽儿山钢铁厂年产值 17,000 万元，该厂通过利用炉渣和附近的石灰石、黏土资源，采用立窑生产水泥。该厂有职工 2200 人，家属 5800 人左右，家属区与厂区相连，废水一并排入阿什河。日排放废水量 1400 t 左右，其中生产废水 760 t/d，生活废水 640 t/d。年废水排放总量为 50 多万 t。如表 1 所示，废水中主要污染物为化学需氧量、总氮、总磷。

**Table 1.** Monitoring statistics of wastewater in Maoershan iron and steel works

**表 1.** 帽儿山钢铁厂废水监测统计值

指标	总氮	总磷	化学需氧量
平均值(mg/L)	33.3	3.8	91
排放总量(t/a)	14	1.6	38

资料来源：王越等，2005 年。

###### 2) 帽儿山镇和平山镇

2000 年第五次人口普查，帽儿山镇 23,285 人，平山镇 25,132 人。如表 2 所示，帽儿山镇和平山镇两个生活污水点源均无排水管网，生活污水未经任何处理直接向流域内天然沟、河中排放。

**Table 2.** Estimation of nitrogen and phosphorus emissions from Maoershan town and Pingshan town (Unit: t/a)

**表 2.** 帽儿山镇和平山镇排放氮、磷估算值(单位: t/a)

指标	帽儿山镇	平山镇	合计
总氮	71.2	37.9	109.1
总磷	8.2	4.4	12.6

资料来源：刘阳等，2011 年。

##### 3.1.2. 面源污染

西泉眼水库集水面积 1151 km<sup>2</sup>，其中林地约 991 km<sup>2</sup>，农田约 149 km<sup>2</sup>，草地约 20 km<sup>2</sup>，乡镇占地约 11.8 km<sup>2</sup>。除林地、农田、草地、乡镇占地外，还有河流、水库等水域面积。如表 3 所示，集水面积内年使用氮肥约 926 t，磷肥约 384 t。

**Table 3.** Nitrogen and phosphorus concentration parameter (Unit: mg/L)**表 3.** 氮、磷浓度参数  $\alpha_i$  (单位: mg/L)

土地利用类型	农田	林地	草地	乡镇
总氮	8.21	3.01	3.08	4.12
总磷	0.87	0.068	0.12	0.50

资料来源: 刘阳等, 2011 年。

根据面源基本情况和单位负荷法[2], 推算西泉眼水库集水面积内各种土地利用类型的污染负荷见表 4。由表 4 可见, 林地占面源输入水库的氮素中的比重最大, 其次是农田; 磷元素是农田占的比重最大, 其次是林地。所以农田和林地是主要的面污染源。磷是决定湖库水质富营养化的关键性限制因素, 面源输入水库的磷素一半以上来自农田。从这方面讲, 农田是西泉眼水库首要面污染源。

**Table 4.** Loads of different non-point source pollution**表 4.** 不同面源污染负荷

土地利用类型	农田	林地	草地	乡镇	合计
$X, \text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	462.9	203.6	156.3	464.1	1286.9
总氮污染负荷(kg/a)	68,879	201,768	3126	5476	279,249
负荷比(%)	24.67	72.25	1.12	1.96	100
$X, \text{kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$	49.06	4.601	6.089	56.39	116.14
总磷污染负荷(kg/a)	7300	4559	121.8	665.4	12,646
负荷比(%)	57.72	36.06	0.96	5.26	100

资料来源: 刘阳等, 2011 年。

### 3.1.3. 径流水污染源

阿什河和黄泥河是汇入西泉眼水库的两条河流。阿什河有一条较大支流一二道河。在二道河入阿什河口内、阿什河二道河口上、阿什河入西泉眼水库口内和黄泥河入西泉眼水库口内分别设置了水质监测断面。根据东北农业大学资源与环境学院刘阳等人 2010 年的监测, 入库河流主要指标见表 5。

**Table 5.** Statistical of average value of river water quality monitoring (Unit: mg/L)**表 5.** 河流水质监测平均值统计表(单位: mg/L)

项目	二道河断面	阿什河支流断面	汇合处断面	黄泥河断面
总氮	1.3	1.14	1.23	1.05
总磷	0.059	0.049	0.053	0.076

资料来源: 刘阳等, 2011 年。

### 3.1.4. 大气降水降尘污染污染源

大气降水降尘的污染可根据多年平均降水量和降水、降尘的总氮、总磷实测值估算, 以此计算直接入库的降水和降尘的氮、磷年贡献量。用总氮和总磷的平均值、多年平均降水量(564 mm)、年平均降尘量(852 t/km<sup>2</sup>)、水库多年平均水面积(30.8 km<sup>2</sup>)估算, 西泉眼水库直接入库的降水、降尘的氮、磷污染负荷列于表 6。

**Table 6.** Nitrogen and phosphorus concentration and pollution load of precipitation and dust  
**表 6.** 降水、降尘的氮、磷浓度及污染负荷

污染指标	降水平均浓度(mg/L)	降尘平均浓度(g/kg)	降水负荷(kg/a)	降尘负荷(kg/a)
氮	1.18	12	20,498	31,489
磷	0.036	0.47	625	1233

资料来源：刘阳等，2011年。

### 3.1.5. 库区旅游污染

采用经济合作发展组织(OECD)推荐的游客氮磷排放系数值—总氮 13 克/(人/天)、总磷 1.5 克/(人/天)，估算西泉眼水库旅游业污染。按年均 5 万人，人均活动一天计算，旅游业污染每年产生的氮、磷负荷分别为 650 kg 和 75 kg。

## 3.2. 重点污染源和年平均污染量

### 3.2.1. 西泉眼水库重点污染源

点源、面源、降雨、降尘和旅游涵盖了西泉眼水库流域内全部污染源头，通过计算各类污染源的氮、磷污染负荷比，可以发现西泉眼水库的重点污染源，以便进行重点监控，消除主要污染因素。如表 7 所示，通过计算氮、磷污染负荷比，显而易见，西泉眼水库主要污染源是农田的面源污染。

**Table 7.** Comparison of nitrogen and phosphorus pollution loads of pollution sources (Unit: kg/a)  
**表 7.** 污染源的氮、磷污染负荷比较(单位: kg/a)

指标	点源	面源	降水	降尘	旅游业
氮负荷	14,000	279,249	20,198	31,489	325
比率(%)	4.1	80.8	5.9	9.1	0.1
磷负荷	1600	126,246	625	1233	38
比率(%)	9.9	78.4	3.9	7.6	0.2

资料来源：王越，2004年。

### 3.2.2. 西泉眼水库年入库污染量

根据外源性年入库总氮、总磷折算，西泉眼水库年入库过磷酸钙磷肥 717 t，尿素氮肥 3224 t。

## 3.3. 西泉眼水库水质污染状况

根据《黑龙江省地面水环境质量功能区划分和水环境质量补充标准》(DB23/485-1998)，西泉眼水库应为 II 类水环境质量功能区。根据《黑龙江省地表水功能区标准》(DB23/T740-2003)，西泉眼水库水质类别至少应为 II 类，但是，根据表 8，根据哈尔滨市环境监测中心站监测数据显示，西泉眼水库水质污染已经比较严重，水质已经退变为 III~IV 类。

## 4. 净水渔业修复水源地技术路线

内陆水体生态系统是地球生态系统的重要类型。是流域产生的溶解有机物、颗粒有机物的最终汇集场所，也是大气 CO<sub>2</sub> 的重要交换场所。水库对整个流域汇水，更汇集了来自于大气、点源排放、地表径流和地下渗透水中的所有无机与有机化合物和生物残体，由于其有限的面积和交换能力，浓缩和沉积了丰富的信息和物质，已成为环境变化的载体。

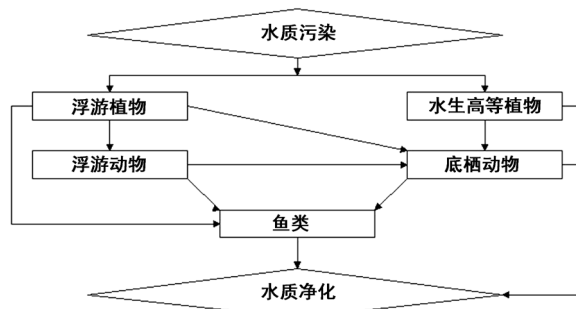
**Table 8.** Water quality of Xiquanyan reservoir in past years (Unit: Multiplication of over class II water quality)  
**表 8.** 西泉眼水库历年水质状况(单位: 超 II 类水质倍数)

年度	总磷	总氮	水质级别
2000	0.88~2.88	0.08~2.68	III~IV
2001	0.52~46.2	0.5~3.88	III~IV
2002	1.88~5.8	0.06~9.74	III~IV
2003	0.8~4.4	0.69~1.22	III~IV
2004	1.6~1.68	0.89~2.96	III~IV
2005	0.68~2.36	0.56~0.72	III~IV

数据来源: 哈尔滨市环境监测中心站。

在太阳能的驱动下, 水体有机物参与了整个生物链的运转, 成为水生生态系统最重要的影响因素, 利用有机物在复杂的水生态系统生物链中的传递过程, 通过有目的地操纵水生生物群落结构, 人工干预水生态系统物质循环, 将有机污染物源源不断地清除出水体, 达到净化水质的目的。

水生态系统中可以净化水质的水生生物群落主要有: 浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生高等植物和鱼类。净水渔业主要是利用物质在水生态系统生物链中的传递过程达到去除污染物、修复水质的目标, 见图 2。



**Figure 2.** Technical route of water quality rehabilitation in water purification fishery  
**图 2.** 净水渔业修复水质技术路线

## 5. 西泉眼水库水质生物学特征

2009 年 5 月~2010 年 9 月, 对哈尔滨市水源地西泉眼水库水质生物学特征进行了全面分析。

### 5.1. 浮游植物

#### 5.1.1. 浮游植物种类

西泉眼水库调查期间共采集并鉴定到浮游植物共 7 门 345 种(包括库区和上游河流区两种不同水体, 其定量种类分别为 7 门 95 属 192 种和 6 门 57 属 122 种), 以绿藻门最多, 150 种, 硅藻门次之, 98 个种, 蓝藻门 56 种, 裸藻门 20 种, 金藻门 14 种, 甲藻 5 种, 隐藻门 2 种。

#### 5.1.2. 浮游植物优势种群

西泉眼水库调查期间共发现 47 个常见种, 以硅藻和绿藻为主, 17 个优势种, 均以硅藻为主。优势种的变化受季节影响明显, 夏、秋两季优势种类较少, 但优势度较明显, 春季优势种最多, 优势度较低。夏季(8 月)绿藻门中的游丝藻(*Planctonema* sp.)丰度最高, 达到  $605.88 \times 10^5$  ind./L; 在秋季(9 月), 蓝藻门中的阿氏席藻(*Phormidium allorgei*)丰度最高, 为  $685.44 \times 10^5$  ind./L。

### 5.1.3. 浮游植物多样性

西泉眼水库浮游植物多样性指数中的 Shannon-Weaver 指数全年在 2.19~4.78 之间; Pielou 均匀度指数全年在 0.41~0.97 之间; Margalef 指数全年在 2.54~7.82 之间。

## 5.2. 浮游动物

### 5.2.1. 浮游动物种类

在调查期间, 共鉴定出浮游动物 86 种, 其中原生动物 22 属 29 种, 占 33.72%; 轮虫种类最多, 21 属 42 种, 占 48.83%; 枝角类种类最少, 共 6 属 6 种, 占 6.98%; 桡足类 6 属 9 种, 占 10.47%。

### 5.2.2. 浮游动物优势种群

浮游动物春夏秋三个季节 5 个月份的种类数量分别为 23、66、57、56、41 种。春季 5 月份原生动物种类最多, 枝角类最少, 其它四个月份均以轮虫种类为最多, 枝角类最少。

### 5.2.3. 浮游动物种群多样性

在调查期间, Shannon-Wiener 多样性指数  $H'$  全年在 0.7758~3.0623 之间, 全年表现为夏季 8 月>秋季 9 月>秋季 10 月>夏季 7 月>春季 5 月; Pielou 均匀度指数  $J$  全年在 0.4723~0.8614 之间, 全年表现为夏季 8 月>秋季 10 月>夏季 7 月>秋季 9 月>春季 5 月; Margalef 指数  $M$  全年在 0.5735~2.3177 之间, 全年表现为夏季 8 月>秋季 9 月>夏季 7 月>秋季 10 月>春季 5 月。 $H'$ 、 $J$  和  $M$  全年最高值都出现在夏季 8 月份, 最低值都出现在春季 5 月份。

## 5.3. 底栖动物

### 5.3.1. 底栖动物种类

西泉眼水库大型底栖动物种类组成和数量。调查期间, 共鉴定出大型底栖动物 70 种, 隶属 3 门 5 纲 12 目 24 科。其中水生昆虫 56 种(摇蚊 35 种, 其它水生昆虫 21 种), 占 80.00%; 寡毛类 7 种, 占 10.00%; 蛭 2 种, 占 2.86%; 软体动物 5 种(腹足纲 4 种, 瓣鳃纲 1 种), 占 7.14%。三季中, 以秋季种类最多, 49 种; 夏季次之, 34 种; 春季最少, 15 种。

### 5.3.2. 底栖动物优势种群

西泉眼水库大型底栖动物优势种。调查共发现大型底栖动物优势种 6 种, 春季以霍甫水丝蚓、苏式尾鳃蚓、中华摇蚊、中国长足摇蚊为优势种, 优势度分别为 0.242、0.092、0.079、0.028; 夏季以霍甫水丝蚓、中华摇蚊、*Hydropsyche nakaharai* 为优势种, 优势度分别为 0.159、0.034、0.030; 秋季以霍甫水丝蚓、*Hydropsyche nakaharai*、中华摇蚊、划蝽 1 种为优势种, 优势度分别为 0.132、0.039、0.023、0.022。

### 5.3.3. 底栖动物多样性

西泉眼水库大型底栖动物生物多样性。西泉眼水库大型底栖动物多样性存在时空差异。在时间上, Shannon-Wiener 指数为秋季(1.52) > 春季(1.36) > 夏季(1.11); Margalef 指数为秋季(1.08) > 夏季(0.72) > 春季(0.67); Pielou 均匀度指数为春季(0.66) > 秋季(0.57) > 夏季(0.49)。在空间上, 各多样性指数均为水库上游河流区 > 库区。

## 5.4. 高等水生植物

### 5.4.1. 高等水生植物种类

据调查, 分布于西泉眼水库的植物共有 27 科 57 属 82 种, 含种数最多的为菊科(Asteraceae), 共 13 属 21 种, 其次为禾本科(Gramineae), 共 8 属 9 种, 含种数最多的为菊科(Asteraceae) 13 属 21 种, 其次为



禾本科(Gramineae) 8 属 9 种, 杨柳科(Salicaceae) 2 属 6 种, 蓼科(Polygonaceae) 2 属 7 种, 莎草科(Cyperaceae) 3 属 3 种, 豆科(Leguminosae) 3 属 3 种; 含 2 种的科有败酱科(Valerianaceae)、金丝桃科(Hypericaceae)、唇形科(Labiatae)、茄科(Solanaceae)、茜草科(Rubiaceae)。其他 15 科均只含 1 种, 占总科数的 62.5%。

#### 5.4.2. 高等水生植物多样性

西泉眼水库消落带植物组成较为丰富, 其中以一年生和多年生草本植物占优势, 可以适应较为苛刻的环境。菊科、禾本科、蓼科为种数最多的 3 个科, 优势明显。消落带植物的这种优势类群组成很好地反映了西泉眼水库消落带的生境特征。本次调查的西泉眼水库消落带植物多数是喜湿植物, 水生植物较少, 且植物多以一年生或两年生植物, 生长快, 短期内能够形成小群聚或者优势种群, 可以很好的适应水库丰枯水位变化。西泉眼水库水域边缘植物甚少, 挺水植物如菖蒲、香蒲、芦苇等盖度小, 且植物种类单一。沉水植物和浮叶植物均没有发现。此现象可能由于水库建库时间较短, 致使水生植物发展较为缓慢。

### 5.5. 滤食性鱼类

#### 5.5.1. 滤食性鱼类净化水质机理

鲢鱼、鳙鱼对富营养化的控制作用主要是通过生物操纵手段来完成的。利用滤食性鱼类鲢、鳙控制蓝藻水华被认为是一个有效的办法, 并在很多水体开始广泛的实践。早在 1983 年 Hampl 研究鲢鱼的鳃耙间距在 12  $\mu\text{m}$ ~26  $\mu\text{m}$  之间, 鲢鱼所能摄取食物颗粒的最小直径约为 10  $\mu\text{m}$ 。因此, 鲢鱼的食物组成是大于 10  $\mu\text{m}$  的浮游生物和有机颗粒物, 其食性会随着环境改变而改变。孙晓明(1992)等也从鲢鱼、鳙鱼消化器官角度论述了其摄食藻类的机制。值得研究的是鲢鱼还能摄入群体或丝状蓝藻, 近年来, 鲢鱼常常被用做生物操纵工具来控制湖泊水库中的蓝藻, 达到改善水质的目的。Smith (1985)认为蓝藻在水中占有一定优势时, 鲢鱼可以有效的控制浮游植物生物量。谢平等学者研究发现, 在池塘养殖中, 鲢鱼、鳙鱼的控藻和水质改善具有一定关系。范振强研究表明鲢鱼能有效控制蓝藻的生物量, 对于净化水质有一定作用。在波兰 Warniak 湖, 放养鲢鱼(密度为 30  $\text{g}/\text{m}^3$ ~90  $\text{g}/\text{m}^3$ )后, 浮游植物总生物量和蓝藻都大大减少。

#### 5.5.2. 西泉眼水库滤食性鱼类水质生物学

##### 1) 滤食性鱼类食性特征

2010 年春季(4 月和 5 月)、夏季(7 月和 8 月)、秋季(9 月和 10 月), 在西泉眼水库设置 4 个采样点, 分别对鲢鱼、鳙鱼的体长、体重、空肠率、食物充塞度、肥满度系数等参数进行采样测定。通过对鲢鱼、鳙鱼生长和食物的研究, 探索鲢鱼、鳙鱼对氮磷的消除机制, 为西泉眼水库保护与管理以及生态修复提供科学依据。

研究结果表明: 鲢鱼肠道中的浮游植物占肠道食物的 16.36%~33.17%; 鳙鱼肠道中的浮游动物占肠道食物的 26.14%~35.42%。鲢鱼肠道内容物中共鉴定出浮游植物 7 门 156 种, 其中绿藻最多, 共 71 种, 其次硅藻 40 种, 蓝藻 26 种, 裸藻 11 种, 金藻 5 种, 甲藻 2 种, 隐藻 1 种。在鲢鱼肠道中共发现 26 个常见种, 以硅藻和绿藻为主, 12 个优势种, 各季节优势种均以梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)和颗粒直链藻极狭变种(*Melosira granulata* var. *angustissima*)为主。鳙鱼肠道内容物共鉴定出浮游动物 57 种, 其中原生动物 13 属 16 种, 轮虫种类最多, 共 13 属 29 种, 枝角类种类最少, 共 5 属 5 种, 桡足类 5 属 7 种。其中, 共发现 16 个常见种, 以原生动物和轮虫为主, 优势种 11 种, 各季节优势种均以浦达臂尾轮虫(*Brachionus budapestiensis*)和螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)为主。

##### 2) 滤食性鱼类群体组成

鲢鱼种群年龄组成主要是 1~5 龄, 优势年龄组成为 2 龄和 3 龄, 体长范围在 22.1  $\text{cm}$ ~65.7  $\text{cm}$  之间,

多数在 41.5 cm~51.2 cm 之间, 占鲢鱼渔获物总尾数的 86.42%; 体重范围在 230 g~6230 g 之间, 在 1670 g~2450 g 之间的个体较多; 鳙鱼种群年龄组成主要是 1~5 龄, 优势年龄组成为 2 龄和 3 龄, 体长范围在 22.7 cm~72.5 cm 之间, 在 40.5 cm~51.5 cm 之间的个体较多, 占鳙鱼渔获物总尾数的 82.05%, 体重范围在 320 g~7750 g 之间, 在 1520 g~2300 g 之间的个体较多

### 3) 滤食性鱼类生长特征

西泉眼水库鲢鱼、鳙鱼体长与体重关系为: 鲢鱼:  $W = 0.0103 L^{3.1464}$  ( $R = 0.9728, n = 81$ ) 鳙鱼:  $W = 0.0123 L^{3.1048}$  ( $R = 0.9797, n = 79$ ); 用生长方程(VBGF)表示为: 鲢鱼  $L_t = 197.34 (1 - e^{-0.1463(t+0.3429)})$  和  $W_t = 7515 (1 - e^{-0.1463(t+0.3429)})^{3.1464}$ ; 鳙鱼  $L_t = 258.28 (1 - e^{-0.0895(t+0.2839)})$  和  $W_t = 30421 (1 - e^{-0.0895(t+0.2839)})^{3.1048}$ 。鲢鱼生长拐点是 7.56, 此时相应的体长为 108.18 cm, 体重为 9798.89 g。鳙鱼生长拐点是 10.68, 此时相应的体长为 117.25 cm, 体重为 11,225.27 g。

### 4) 滤食性鱼类鱼产力

西泉眼水库浮游植物提供的鱼产力为 85.58 kg/hm<sup>2</sup>。浮游动物提供的鱼产力为 36.71 kg/hm<sup>2</sup>。此外, 由于腐屑和细菌及外源有机物对鲢、鳙鱼有一定的饵料价值, 此部分鱼产力为 48.92 kg/hm<sup>2</sup>。浮游动物、浮游植物和有机碎屑等鱼产潜力合计, 西泉眼水库鲢鱼、鳙鱼产力为 171.21 kg/hm<sup>2</sup>。

### 5) 滤食性鱼类消除污染效率

西泉眼水库鲢鱼、鳙鱼消化率季节变化差异不大, 鲢鱼对浮游生物消化率在 27.08%~34.51%之间。其中, 9 月消化率最高, 5 月消化率最低。鳙鱼对浮游生物消化率在 38.46%~45.29%之间。其中 8 月消化率最高, 5 月消化率最低。西泉眼水库水体中浮游植物生物量和丰富度大, 鲢鱼体内浮游植物相对多, 种类也多。而对于鳙鱼来说, 水体中浮游动物生物量和丰富度与体内浮游动物数量关系不明显。

## 6. 研究结果

### 6.1. 净水渔业清除氮磷元素效果

通过鲢鱼、鳙鱼对浮游生物的消耗及浮游生物中 N、P 含量计算得出, 在 2010 年, 西泉眼水库共捕捞鲢鱼  $3.5 \times 10^5$  kg, 鳙鱼共捕捞  $1.5 \times 10^5$  kg, 共移出浮游植物  $1.2 \times 10^7$  kg, 氮元素  $6.42 \times 10^5$  kg, 相当于  $6 \times 10^6$  kg 的尿素。磷元素  $9.37 \times 10^4$  kg, 相当于  $4.2 \times 10^6$  kg 的过磷酸钙。同时, 净水渔业碳汇效果也十分显著, 随鲢鱼、鳙鱼也移出  $6.42 \times 10^5$  kg 的碳元素, 相当于吸收固定大气中  $2.05 \times 10^7$  kg 的 CO<sub>2</sub>。

### 6.2. 净水渔业改善水质效果

有机污染物清除后, 水库水质改善效果明显, 根据哈尔滨环境监测站监测显示, 2010 年水库水体氨氮、总磷和总氮含量相比 2009 年分别下降了 42.1%、42.3%和 36.2%。

## 7. 结论

研究表明西泉眼水库主要是有机污染, 通过不断提高滤食性鱼类产量, 可以清除大量有机污染。西泉眼水库外源性污染主要是农田面源污染, 其次是帽儿山钢铁厂的点源污染。按总氮、总磷折算, 西泉眼水库外源性污染年入库相当于过磷酸钙磷肥 717 t, 尿素氮肥 3224 t, 净水渔业可以完全消除西泉眼水库的外源性有机污染。

2010 年项目研究期间, 西泉眼水库共捕捞滤食性鱼类 50 万 kg, 相当于每年清除流域内面源污染的氮肥 6000 t, 磷肥 4200 t, 从大气中吸收二氧化碳 20,500 t。

此后水库不断提高鱼类产量, 有机污染去除效果十分明显。2011 年滤食性鱼类产量提高到 85 万 kg, 相当于清除氮肥 10,200 t, 磷肥 7140 t, 吸收二氧化碳 34,850 t; 2012 年滤食性鱼类产量提高到 90 万 kg,

相当于清除氮肥 10,800 t, 磷肥 7560 t, 吸收二氧化碳 36,900 t; 2013 年滤食性鱼类产量提高到 130 万 kg, 相当于清除氮肥 15,600 t, 磷肥 10,920 t, 吸收二氧化碳 53,300 t。哈尔滨市西泉眼水源地在 2010~2013 年的四年内共清除氮肥 42,600 t, 磷肥 29,820 t, 吸收二氧化碳 145,550 t。

净水渔业在消除有机污染的同时, 碳汇效果也十分明显, 可起到缓解温室效应的作用。

## 基金项目

省重大科技公关项目经费支持, 项目编号: GB09C13。

## 参考文献

- [1] 张颖, 杨伟光, 任南琪, 都昌杰. 西泉眼水库水质变化趋势评价研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(4): 478-480.
- [2] 刘阳, 张颖, 刘洋. 西泉眼水库污染源分析与评价[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2011, 24(2): 6-7 + 39.
- [3] 张颖, 白羽军, 白昕, 任南琪. 西泉眼水库富营养化状况及浮游藻类群落分析[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2007, 23(5): 523-525 + 567.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1443, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ojfr@hanspub.org](mailto:ojfr@hanspub.org)