Open Journal of Natural Science 自然科学, 2025, 13(3), 600-609
Published Online May 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ojns
https://doi.org/10.12677/ojns.2025.133063

Hans汉斯

硬头河特有鱼类国家级水产种质资源保护区浮游生物群落结构及水质评价

张　慧[1]，曾　燏[2]

[1]西华师范大学生命科学学院，四川 南充
[2]成都师范学院学科建设处，四川 成都

收稿日期：2025年3月28日；录用日期：2025年5月15日；发布日期：2025年5月22日

摘　要

为了解硬头河特有鱼类国家级水产种质资源保护区浮游生物群落结构和水生态环境质量，于2023年8月对硬头河保护区的水体理化性质和浮游生物群落结构及水质健康状况进行了调查，通过对浮游植物和浮游动物的种类组成、丰度、生物量以及多样性指数等方面的研究，评估了该区域水质及生态健康状况。结果表明，调查期间硬头河保护区共监测到浮游植物6门16目24科37属50种，其中硅藻门和绿藻门为主要类群。监测到浮游动物3类27种，浮游动物群落以轮虫和原生动物为主。根据单因子评价和浮游生物多样性指数，硬头河保护区水质处于II类水平，为*β*-中污型到寡污型河流，水体营养类型为中－富营养型水体。冗余分析(RDA)结果显示：溶氧(DO)、流速和水温是影响硬头河保护区浮游生物群落结构的主要环境因子。本研究为硬头河保护区水生态环境的监测和保护提供了基础依据。

关键词

硬头河保护区，浮游生物，水质评价，多样性指数

The Plankton Community Structure and Water Quality Assessment in Yingtou River National Aquatic Germplasm Resources Reserve

Hui Zhang[1], Yu Zeng[2]

[1]College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong Sichuan
[2]Office of Discipline Construction, Chengdu Normal University, Chengdu Sichuan

Received: Mar. 28th, 2025; accepted: May 15th, 2025; published: May 22nd, 2025

文章引用: 张慧, 曾燏. 硬头河特有鱼类国家级水产种质资源保护区浮游生物群落结构及水质评价[J]. 自然科学, 2025, 13(3): 600-609. DOI: 10.12677/ojns.2025.133063

Abstract

To understand the plankton community structure and the quality of the aquatic ecological environment in the Yingtou River National Aquatic Germplasm Resources Reserve, investigations on water physical-chemical properties, plankton community structure, and water quality health status were conducted in the Yingtou River Reserve in August 2023. Through studies on the species composition, abundance, biomass, and diversity indices of phytoplankton and zooplankton, the water quality and ecological health of the area were evaluated. Results showed that during the investigation, 50 phytoplankton species (belonging to 37 genera, 24 families, 16 orders, and 6 phyla) were monitored in the Yingtou River Reserve, with Bacillariophyta and Chlorophyta as the dominant groups. For zooplankton, 27 species from 3 categories were recorded, and the zooplankton community was dominated by rotifers and protozoa. Based on single-factor evaluation and plankton diversity indices, the water quality of the Yingtou River Reserve reached Class II level, classified as a *β*-mesosaprobic to oligosaprobic river, with a mesotrophic to eutrophic nutrient type. The results of redundancy analysis (RDA) showed that dissolved oxygen (DO), flow velocity, and water temperature are the main environmental factors affecting the plankton community structure in the Yingtou River Reserve. This study provides a fundamental basis for monitoring and protecting the aquatic ecological environment of the Yingtou River Reserve.

Keywords

Yingtou River Reserve, Plankton, Water Quality Assessment, Diversity Index

Copyright © 2025 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

河流生态系统是动态、连续和开放的自然生态系统，为人类提供了丰富的物质资源和生存环境[1]。河流受到人类活动不同程度的干扰，导致了水污染、水文情势改变等生态环境问题，使河流生态系统成为受人类影响最严重的生态系统之一[2]。开展河流生态健康监测和水质评价，是治理水体污染和保护水环境的前提和基础[3]。传统的水质评价方法以水体理化指标作为核心参数，能够直接反映出水体的营养状况和受污染程度[4]-[6]，该方法反映的是水体瞬时的营养状况，难以有效持续地评估污染物和水环境之间的累积作用[7]。浮游生物是水生生态系统中广泛存在的生物组成部分，能够对水体环境的变化做出迅速的响应，对维持水生生态系统的结构和功能具有重要作用[8]，其在水生生态系统中的群落结构和现存量是评价水体营养类型的重要指标，能够一定程度地反映水质好坏，可作为水体健康状态的指示生物，也被广泛应用于各个流域[9]-[11]。因此，开展对浮游生物的研究对河流水质健康评价具有重要意义。

硬头河特有鱼类国家级水产种质资源保护区(下称“硬头河保护区”)位于广元市昭化区段，于 2011 年 6 月设立，全长 70 公里。硬头河保护区是嘉陵江水系的重要支流，在长江上游重要水生动物及其生境多样性保护上具有非常重要的地位。近些年来，保护区受到人类活动影响较大，影响到保护区水生态环境，亟需对保护区水生生物资源及水质健康状态进行调查和评估。因此，本研究基于对硬头河保护区水体理化指标测定和浮游生物资源调查的数据，分析其群落结构及优势种，探讨硬头河保护区浮游生物的多样性，并依据多样性指数对硬头河保护区水质健康状态进行评价。

2. 材料与方法

2.1. 采样点设置

本研究于 2023 年 8 月进行浮游生物调查和采集。参照《淡水浮游生物调查技术规范》，为了确保样本的代表性，结合硬头河保护区的水域环境特点和工程分布情况，在硬头河保护区分别设置了 4 个采样点，并详细记录了各采样点的位置信息(见表 1)。

Table 1. Geographical locations of sampling sites in the reserve
表 1. 保护区采样点地理位置

采样点	经度	纬度
采样点 1	105˚53'41.6940"	32˚14'53.7576"
采样点 2	105˚53'35.7468"	32˚14'32.1144"
采样点 3	105˚54'35.7120"	32˚16'13.3320"
采样点 4	105˚53'2.7060"	32˚13'37.3620"

2.2. 水体理化指标测定

本次调查的水体理化指标共 5 项，在采样现场使用便携式溶解氧测定仪(HACH-HQ4200)测定 pH、水温、溶解氧和电导率，使用流速仪(LS300-A)测水体流速定。

2.3. 浮游生物采集和鉴定

浮游生物的采集按照《河流水生生物调查指南》《淡水浮游生物研究方法》和《内陆浮游生物多样性调查与评估技术规定》进行。浮游生物的采集包括定性采集和定量采集。

浮游植物定性和定量采集：浮游植物的定性采集使用 25#浮游生物网(孔径 0.064 mm)在每个采样点水面下 0.5 m 水深匀速按照“∞”字形循环拖拽 5 min，经清洗后装入定性样品瓶中，加入水样体积 1.5%的鲁哥氏液进行固定；定量采集使用采水器在不同水层采集等量的水样混合，然后取 1L 的混合水样储存于定量样品瓶中，加入固定液，在实验室浓缩后进行镜检。浮游植物参考《中国淡水藻类：系统、分类及生态》[12]在显微镜下进行计数和鉴定。

浮游动物定性和定量采集：浮游动物的定性采集与浮游植物采集方式一致，定量采集使用采水器在水深 0.5 m 处采集水样 10 L，通过 25 #浮游生物网过滤浓缩后装入定量样品瓶中，加入水样体积 5%的甲醛溶液进行固定，带回实验室进行镜检。浮游动物参考《中国淡水生物图谱》[13]在显微镜下进行计数和鉴定。

2.4. 数据统计与分析

2.4.1. 浮游生物及着生藻类丰度和生物量

浮游植物丰度计算公式如下：

$$N = \frac{Cs}{Fs \times Fn} \times \frac{V}{v} \times Pn \tag{1}$$

式中：N 为 1 升水样中浮游植物的数量(ind/L)；Cs 为计数框的面积(mm^2)；Fs 为视野面积(mm^2)；Fn 为每片计数过的视野数；V 为 1 升水样经浓缩后的体积(mL)；v 为计数框的容积(mL)；Pn 为浮游植物计数所得个体数(ind.)。

浮游动物丰度计算公式如下：

$$N = \frac{n \times V1}{C \times V} \tag{2}$$

式中：N 为 1 L 水中浮游动物的数量(ind./L)；$V1$ 为样品浓缩后的体积(mL)；V 为采样体积(L)；C 为计数样品体积(mL)；n 为计数所获得的个数(ind.)。

浮游生物的生物量计算采用体积换算法，根据不同种类的体形，按最近似的几何体形测量其体积，换算成生物量(设比重为 1) [14]。

2.4.2. 优势度及多样性指数

采用优势度指数(Y)来描述浮游生物优势度，$Y > 0.02$ 定义为优势种。采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)以及 Pielou 均匀度指数(J)来评价浮游生物物种多样性[8] [14] [15]。具体计算公式如下：

优势度指数(Y)：

$$Y = \left(\frac{n_i}{N}\right) \times f_i \tag{3}$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H')：

$$H' = -\sum_{i=1}^{S}\left[\frac{n_i}{N} \times \ln\frac{n_i}{N}\right] \tag{4}$$

Margalef 丰富度指数(D)：

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \tag{5}$$

Pielou 均匀度指数(J)：

$$J = H'/\log_2 S \tag{6}$$

式中：S 代表浮游生物总物种数；N 代表所有物种总个体数；n_i 代表第 i 种的个体数；f_i 第 i 种生物在各样点的出现频率。

使用 Excel 对数据进行统计和处理，采用 Origin 2024 进行绘图。

2.4.3. RDA 分析

采用 R 语言 Vegan 包对浮游生物优势种丰度和环境因子进行排序分析。由于去趋势分析(DCA)结果前四轴小于 4，因此选择冗余分析(RDA)来探讨浮游生物优势种与环境因子的关系。在进行 RDA 分析之前，首先对浮游生物优势种丰度数据进行 Hellinger 转换，对环境因子进行 l g 转换。

2.4.4. 水质评价标准

Table 2. Water body nutrient type
表 2. 水体营养类型

营养类型	贫营养	贫中营养	中营养	富营养	极富营养
浮游植物优势种	金藻	甲藻	硅藻	硅藻、蓝藻	绿藻、裸藻

Table 3. Water quality evaluation criteria for diversity index
表 3. 多样性指数的水质评价标准

多样性指数	重污型	α-中污型	β-中污型	寡污型	无污型
Shannon-Wiener 多样性指数	<1	1~<2	2~<3	3~<4	≥4
Pielou 均匀度指数	<0.3	0.3~<0.4	0.4~<0.5	0.5~<0.8	0.8~<1.0
Margalef 丰富度指数	<1	1~<2	2~<3	3~<4	≥4

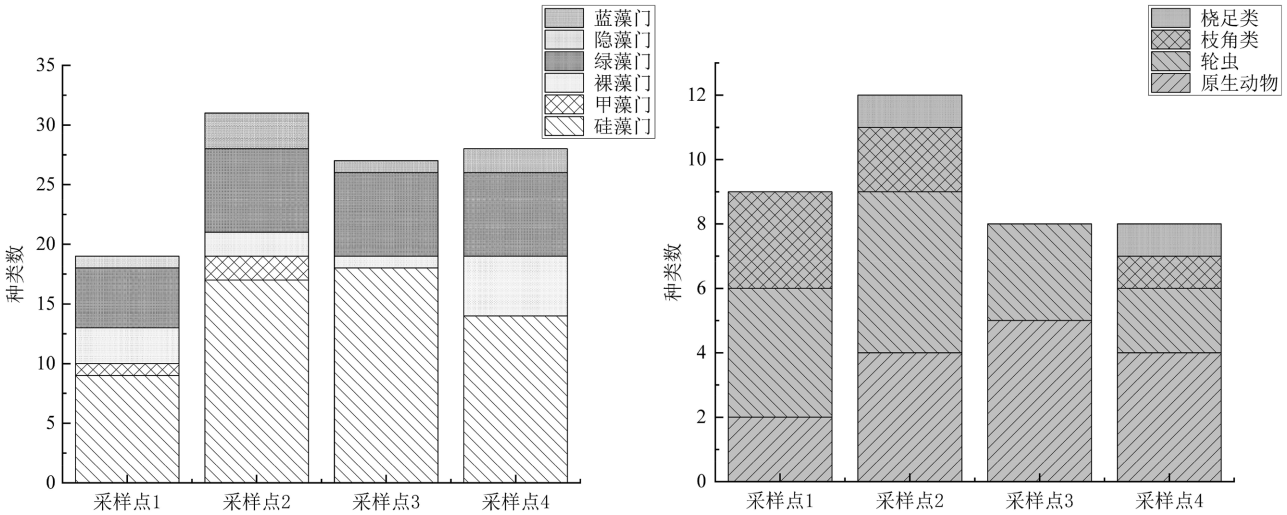
根据浮游植物优势种来判断调查样点的营养状态[14]，营养状态与浮游植物优势种的对应关系见表 2；水质污染情况采用多样性指数进行评价[16]，多样性指数与水质污染情况对应关系见表 3。

3. 结果与分析

3.1. 硬头河保护区浮游生物群落结构

3.1.1. 物种组成及优势种

硬头河保护区共采集到浮游植物 6 门 16 目 24 科 37 属 50 种。其中，硅藻门最多，为 25 种，占比为 50%；其次为绿藻门 14 种，占比为 28%；隐藻门最少仅 1 种，占比为 2%。各采样点浮游植物组成和种类数各不相同，采样点 2 采集的浮游植物种类数最多，采样点 1 采集到浮游植物最少(图 1(a))。采集到浮游动物 27 种。其中，轮虫种类数最多，为 12 种，占比为 44.44%；其次为原生动物 8 种，占比为 29.63%；桡足类最少仅 2 种，占比为 7.41%。各采样点浮游动物物组成和种类数也各不相同，采样点 2 采集的浮游动物种类数最多，采样点 1 采集到浮游动物最少(图 1(b))。



(a) 各采样点浮游植物种类数　　(b) 各采样点浮游动物种类数

Figure 1. Variations in plankton species richness across different sampling sites
图 1. 不同采样点浮游生物种类数变化

3.1.2. 优势种

在不同采样点，硬头河保护区浮游生物优势种存在差别(表 4、表 5)。采样点 1 浮游植物优势种有 8 种，主要优势种类群为硅藻门，水体营养类型为中营养型；采样点 2 浮游植物优势种有 5 种，主要优势种类群为硅藻门，水体营养类型为中营养型；采样点 3 浮游植物优势种有 10 种，主要优势类群为硅藻门和绿藻门，水体营养类型为中－富营养型；采样点 4 浮游植物优势种有 11 种，主要优势类群为硅藻门和绿藻门，水体营养类型为中－富营养型。采样点 1 浮游动物优势种有 5 种，主要优势种类群为轮虫；采样点 2、采样点 3 和采样点 4 浮游动物优势种有 6 种，主要优势种类群为原生动物。

从浮游生物优势种的空间变化可以看出，硬头河保护区浮游生物优势种组成的空间差异较大，只有舟形藻(*Navicula* sp.)、小环藻(*Cyclotella* sp.)在所有采样点中都为优势种。

3.1.3. 丰度和生物量

硬头河保护区浮游植物总丰度为 11.96 × 10^4 ind./L，各门类丰度变化范围为 0.05 × 10^4 ind./L~6.99 ×

10^4 ind./L，浮游植物总生物量为 1.05596 mg/L，各门类生物量变化范围为 0.00068 mg/L~0.59478 mg/L (图 2(a))。浮游动物总丰度为 3.76×10^4 ind./L，各门类丰度变化范围为 0.16×10^4 ind./L~1.82×104 ind./L，浮游动物总生物量为 12.53549 mg/L，各门类生物量变化范围为 0.72578 mg/L~5.28190 mg/L (图 2(b))。

Table 4. Dominant species and dominance degree of plankton in Yingtou River Reserve
表 4. 硬头河保护区浮游生物优势种及优势度

门/类	物种	优势度			
		采样点 1	采样点 2	采样点 3	采样点 4
硅藻门	谷皮菱形藻(*Nitzschia palea*)	0.024			
	埃伦桥弯藻(*Cymbella ehrenbergii*)	0.097			
	舟形藻(*Navicula* sp.)	0.194	0.167	0.224	0.111
	意大利直链藻(*Melosira italica*)	0.065			
	小环藻(*Cyclotella* sp.)	0.097	0.2	0.176	0.159
	扁圆卵形藻(*Cocconeis placentula*)		0.038	0.035	
	变异直链藻(*Melosira varians*)		0.025		
	强壮短缝藻(*Eunotia arcus*)				0.06
	短纹异极藻(*Gomphonema abbreviatum*)			0.024	
裸藻门	颗粒囊裸藻(*Trachelomonas granulate)*	0.024		0.035	
	扁裸藻(*Phacus* sp.)	0.024			
	梭形裸藻(*Euglena acus*)				0.032
绿藻门	小球藻(*Chlorella vulgaris*)			0.035	0.024
	卷曲纤维藻(*Ankistrodesmus convolutes*)				0.024
	具孔衣藻(*Chlamydomonas pertusa*)	0.105		0.035	0.036
	近缘鼓藻(*Cosmarium connatum*)			0.079	0.036
	三叶四角藻(*Tetraedron trilobulatum*)				0.048
	水绵(*Spirogyra* sp.)			0.024	0.024
蓝藻门	铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)		0.05	0.026	0.024
原生动物	淡水薄铃虫(*Leprotintinnus fluviatile*)	0.038			
	紫晶喇叭虫(*Stentor amethystinus*)		0.161	0.125	0.094
	天蓝喇叭虫(*Stentor coeruleus*)		0.054	0.056	
	大草履虫(*Paramecium caudatum*)		0.054	0.042	0.141
	瘤棘砂壳虫(*Diffugia tuberspinifera*)			0.083	
	冠砂壳虫(*Difflugia corona*)			0.111	0.031
	凹褶喇叭虫(*Buccinosphaera invaginate*)				0.063
轮虫	裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)	0.058			
	纤巧异尾轮虫(*Trichocerca tenuior*)	0.038			
	角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)	0.038	0.036		
	截头皱甲轮虫(*Ploesma truncatum*)	0.038			
	等刺异尾轮虫(*Trichocerca similis*)		0.027		
	懒轮虫(*Rotaria tardigrada*)			0.042	
枝角类	蚤状溞(*Daphnia pulex*)				0.063
	老年低额溞(*Simocephalus Vetulus*)		0.036		
桡足类	无节幼体(*Nauplii*)				0.031

Table 5. Physical and chemical indexes of water bodies at each sampling point
表 5. 各采样点水体理化指标

	采样点 1	采样点 2	采样点 3	采样点 4
水温℃	26.5	25.2	27.2	31.1
溶解氧 mg/L	7.75	7.65	6.14	5.6
电导率 us/cm	7.6	0.4	0.1	3.5
PH	6.42	6.55	6.55	6.5
流速 m/s	0.6	0.4	0.3	0.3

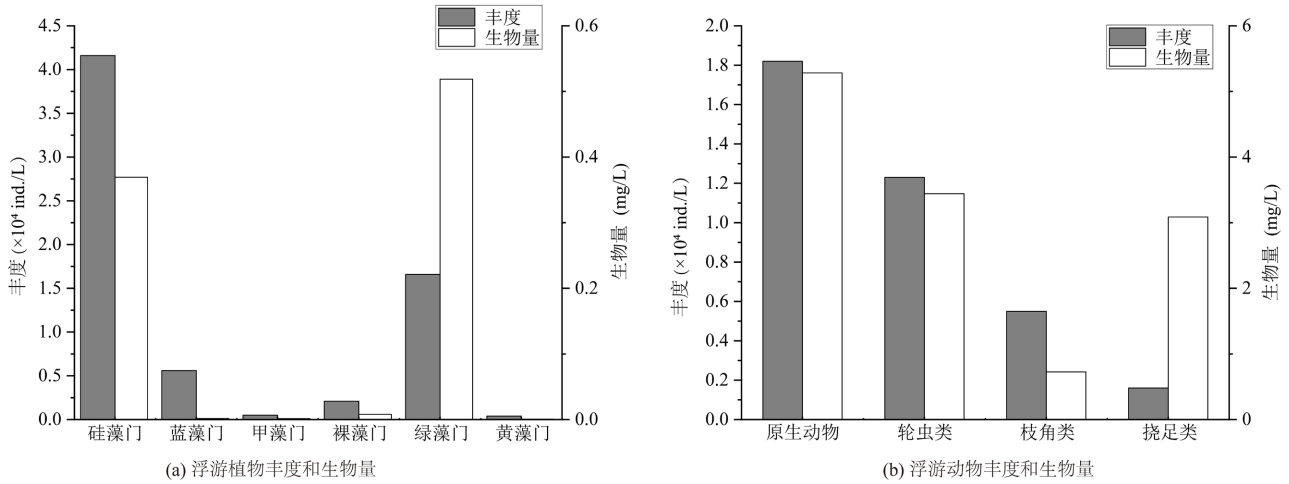


Figure 2. The abundance and biomass of plankton in Yingtou River Reserve
图 2. 硬头河保护区浮游生物丰度和生物量

3.2. 硬头河保护区浮游生物多样性及水质评价

3.2.1. 水体理化性质

硬头河保护区 4 个采样点的水体理化指标的结果如表 5 所示。根据地表水环境质量标准(GB 3838-2002)，采样点 1 和采样点 2 溶解氧符合 I 类标准，采样点 3 符合 II 类标准，采样点 4 符合 III 类标准。总体而言，硬头河保护区水质在单因子评价体系下满足 II 类水质标准。

3.2.2. 浮游生物多样性指数及水质评价

硬头河保护区各采样点浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)均值为 3.04 (2.79~3.20)，指示水质处于 *β*-中污型至寡污型，其中采样点 1 为 *β*-中污型，其余采样点为寡污型；Pielou 均匀度指数(*J*)均值为 0.65 (0.64~0.66)，各点水质类型均为寡污型；Margalef 丰富度指数(*D*)均值为 6.24 (5.24~7.33)，各点水质类型均为无污型(表 6)。各采样点浮游动物的 Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)均值为 2.09 (1.96~2.32)，指示水质处于 *α*-中污型至 *β*-中污型，采样点 1、2 为 *β*-中污型，采样点 3、4 为 *β*-中污型；Pielou 均匀度指数(*J*)均值为 0.65 (0.65~0.66)，各点水质类型为寡污型；Margalef 丰富度指数(*D*)均值为 2.84 (2.42~3.30)，水质处于 *β*-中污型至寡污型，其中采样点 3、4 为 *β*-中污型，其余为寡污型(表 6)。总体来看，各采样点浮游动物多样性指数低于浮游植物，综合浮游生物多样性评价硬头河保护区水质为 *β*-中污型至寡污型。

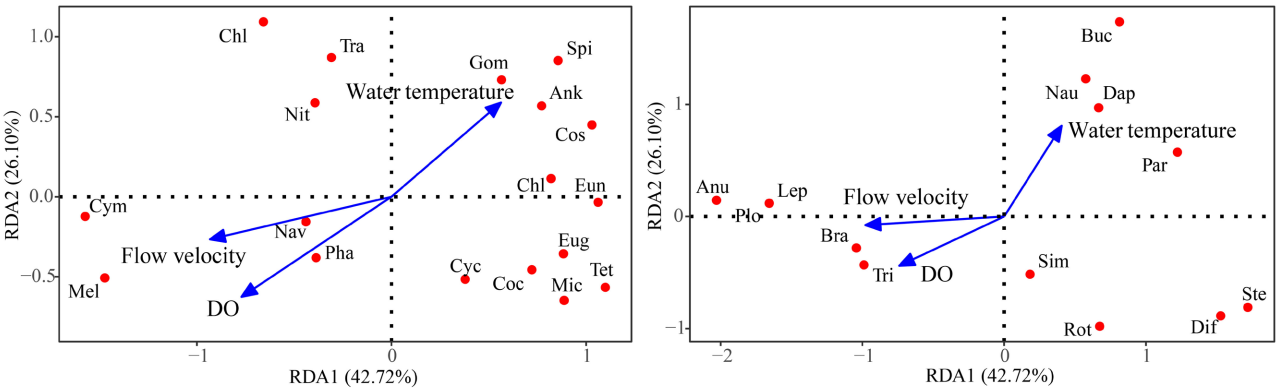
3.3. 硬头河保护区浮游生物群落结构和环境因子的关系

对硬头河保护区浮游生物优势种的 RDA 分析表明(图 3)，环境因子对浮游生物群落结构的解释率为

68.83%。水温、流速和溶解氧等环境因子对浮游生物的影响较大，如水绵、卷曲纤维藻、桡足类无节幼体、蚤状溞等与水温；舟形藻属、淡水薄铃虫等与流速；扁裸藻、异尾轮虫属与溶解氧呈正相关。

Table 6. The biodiversity index of plankton in Yingtou River Reserve
表 6. 硬头河保护区浮游生物多样性指数

采样点	浮游植物			浮游动物		
	H'	*D*	*J*	*H'*	*D*	*J*
采样点 1	2.79	5.24	0.66	2.1	3.12	0.66
采样点 2	3.2	7.33	0.65	2.32	3.3	0.65
采样点 3	3.04	5.85	0.64	1.96	2.42	0.65
采样点 4	3.12	6.52	0.65	1.96	2.52	0.65



(a) 浮游植物优势种与环境因子RDA分析　(b) 浮游动物优势种与环境因子RDA分析

注：Nit 谷皮菱形藻 *Nitzschia palea*；Cym 埃伦桥弯藻 *Cymbella ehrenbergii*；Gom 短纹异极藻 *Gomphonema abbreviatum*；Nav 舟形藻属 *Navicula*；Mel 意大利直链藻 *Melosira italica*；Cyc 小环藻属 *Cyclotella*；Coc 扁圆卵形藻 *Cocconeis placentula*；Eun 强壮短缝藻 *Eunotia arcus*；Pha 扁裸藻 *Phacus sp.*；Tra 颗粒囊裸藻 *Trachelomonas granulate*；Eug 梭形裸藻 *Euglena acus*；Chl 小球藻 *Chlorella vulgaris*；Tet 三叶四角藻 *Tetraedron trilobulatum*；Ank 卷曲纤维藻 *Ankistrodesmus convolutes*；Chl 具孔衣藻 *Chlamydomonas pertusa*；Cos 近缘鼓藻 *Cosmarium connatum*；Spi 水绵 *Spirogyra* sp.；Mic 铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa*；Lep 淡水薄铃虫 *Leprotintinnus fluviatile*；Ste 喇叭虫属 *Stentor*；Par 大草履虫 *Paramecium caudatum*；Dif 砂壳虫属 *Difflugia*；Buc 凹褶喇叭虫 *Buccinosphaera invaginate*；Tri 异尾轮虫属 *Trichocerca*；Anu 裂痕龟纹轮虫 *Anuraeopsis fissa*；Plo 截头皱甲轮虫 *Ploesma truncatum*；Bra 角突臂尾轮虫 *Brachionus angularis*；Rot 懒轮虫 *Rotaria tardigrada*；Sim 老年低额溞 *Simocephalus Vetulus*；Dap 蚤状溞 *Daphnia pulex*；Nau 无节幼体 *Nauplii*。

Figure 3. RDA of dominant plankton species and environmental factors
图 3. 浮游生物优势种与环境因子的 RDA 分析

4. 讨论

4.1. 硬头河保护区浮游生物群落结构

浮游植物是水生态系统中的生产者，浮游动物是水生态系统中的初级消费者，二者对水体变化反应迅速，对水环境中的变化敏感，因此其群落分布能指示水质的状况[17]。本研究中，硅藻门和绿藻门是硬头河保护区浮游植物的主要优势类群，分别占 50%和 28%。这与同为山区河流的唐家河的浮游植物组成相似[3]。在不同的营养类型的水体中，浮游物种的组成及优势种群存在差异。如中营养型湖泊长江河上游以硅藻门和绿藻门为主要优势类群[8]，而接近富营养型水体的东江源以蓝藻门为浮游植物主要优势种[18]。本研究中，硬头河保护区浮游植物优势种主要类群为硅藻门，绿藻门次之，表明硬头河保护区水体

为中－富营养型水体，为避免出现富营养化，应及时对保护区水环境进行管理和保护。本研究调查到的浮游动物群落结构相对简单，其中轮虫种类数最多占浮游动物总物种数的 44.44%，原生动物次之，占浮游动物总物种数的 29.63%，这与国内大部分河流相似[10] [14] [19]。从优势种来看，砂壳虫属和异尾轮属等耐污性较差物种的存在，反映出硬头河保护区水质状况较好。

4.2. 影响浮游生物群落结构的环境因子

研究发现溶解氧、pH、总氮、高锰酸盐指数、生物需氧量、温度等水体理化指标是影响浮游生物群落结构的主要因素[18]。RDA 分析结果显示：水温、溶解氧和流速等环境因子对硬头河保护区浮游生物群落结构具有重要影响。溶解氧是衡量水体自净能力的指标之一，浮游植物通过光合作用成为水体溶解氧的主要来源[20]，因此溶解氧与浮游植物丰度呈正相关。而溶解氧是影响浮游动物群落结构的重要环境因子，溶解在水体中的氧含量为浮游生物生命活动所需[19]。有研究表明溶解氧的降低会导致轮虫密度下降[9]，这在本研究中也能体现，采样点 4 的溶解氧最低，轮虫密度也最低。轮虫的数量高峰一般在 20℃以上的水体中[21]，大多数原生动物适宜的 PH 为 6.6~7.5，在微碱性或碱性的水体中轮虫较少[22]。本次调查期间，保护区水温为 25℃~31℃，PH 为 6.4~6.5，溶解氧为 5.6~7.7，属于原生生物和轮虫适宜生存的环境。因此，硬头河保护区原生动物和轮虫的占比较高。

4.3. 硬头河保护区水质评价

本研究调查期间多数采样点的 Shannon-Wiener 指数较高，意味着浮游生物群落结构较复杂，水生态系统稳定性较强[8]。从硬头河保护区水体理化指标来看，保护区水质整体较好，符合 II 类水质标准。不同采样点水体理化指标的测定结果表明，采样点 1、2 的溶解氧含量显著高于采样点 3、4，这一差异成为影响不同采样点浮游生物群落结构的重要环境因子之一。依据浮游生物多样性指数评价结果显示，采样点 1 与采样点 2 呈现寡污型水体特征，而采样点 3 和采样点 4 表现为 β-中污型水体。进一步分析发现，采样点 3、4 所处水域为保护区防洪治理工程以及排污口影响区域，工程施工期间改变河道形态和生境，导致河流几近断流，生活污水的排放致使水体理化性质改变，进而对浮游生物生存产生不利影响。总体来说，根据水体理化指标的单因子评价法硬头河保护区整体处于 II 类水质水平。依据浮游生物多样性指数表明，硬头河保护区水质为 β-中污型至寡污型。因此，对于硬头河保护区的保护应重点关注工程建设及污水排放的影响。针对保护区防洪治理工程，合理规划施工流程，避免河道长时间断流；对生活污水进行集中处理，确保生活污水达标排放；针对水体中－富营养化状况，定期监测氮、磷等营养盐指标，采取生态修复措施。

参考文献

[1] 夏诗语, 吕文, 杨金艳, 等. 苏州河流水质时空分布特征及影响因素分析[J/OL]. 环境科学: 1-14. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202406274, 2024-10-12.

[2] 李艳利, 李艳粉, 赵丽, 等. 基于不同生物类群的河流健康评价研究[J]. 水利学报, 2016, 47(8): 1025-1034.

[3] 何欣曼, 李锦, 曾燏, 等. 基于不同指示生物的山区河流水质评价研究——以唐家河国家级自然保护区为例[J]. 淡水渔业, 2022, 52(4): 3-10.

[4] 舒金华. 我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J]. 环境污染与防治, 1990(5): 2-7+47.

[5] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法[J]. 湖泊科学, 1997(1): 89-94.

[6] 李代魁, 何萍, 刘存歧, 等. 应用多种生物类群评价白洋淀水环境质量变化[J]. 应用生态学报, 2021, 32(12): 4488-4498.

[7] 顾晓昀, 徐宗学, 王汨, 等. 北运河水系底栖动物群落结构与水环境质量评价[J]. 湖泊科学, 2017, 29(6): 1444-1454.

[8] 王录生, 梁阳阳, 张国庆, 等. 长江河上游浮游生物群落结构与水质评价[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(12): 71-74+79.

[9] 孙天一, 李典鹏, 李启明, 等. 巢湖十八联圩湿地浮游动物群落动态及水质评价[J]. 湿地科学与管理, 2024, 20(4): 37-43.

[10] 侯恩光, 朱中竹, 商书芹, 等. 济南澄波湖湿地浮游动物群落特征与影响因子分析[J]. 人民黄河, 2024, 46(S1): 55-56+59.

[11] 梁正其, 王慧, 冉辉, 等. 锦江河特有鱼类国家级水产种质资源保护区浮游动物群落结构[J]. 渔业现代化, 2016, 43(5): 71-76.

[12] 魏印心, 胡鸿钧. 中国淡水藻类: 系统、生态及分类[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[13] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.

[14] 龚彦超, 何春, 李锦, 等. 嘉陵江南充出境江段枯水期浮游生物群落结构及水质评价[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2024, 45(4): 350-360.

[15] 钱宇腾. 水库浮游生物结构特征分析及水质评价研究[J]. 地下水, 2024, 46(3): 104-106.

[16] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报(中文版), 2004, 26(1): 62-75.

[17] Padedda, B.M., Sechi, N., Lai, G.G., Mariani, M.A., Pulina, S., Sarria, M., *et al*. (2017) Consequences of Eutrophication in the Management of Water Resources in Mediterranean Reservoirs: A Case Study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, **12**, 21-35. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.004

[18] 代涛涛, 钟家有, 杨平, 等. 东江源区浮游生物群落结构特征和主要环境因子及水质评价[J]. 环境科学与技术, 2023, 46(S2): 17-24.

[19] 陈振林, 杨卫诚, 黄玉杰, 等. 贵州习水国家级自然保护区浮游生物群落结构及水质评价[J/OL]. 广西科学: 1-17. https://doi.org/10.13656/j.cnki.gxkx.20240304.001, 2024-08-08.

[20] 赵秀侠, 卢文轩, 梁阳阳, 等. 安徽三座通江湖泊秋季浮游植物群落结构特征及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2021, 40(1): 67-75.

[21] Branco, C.W.C., Rocha, M.A., Pinto, G.F.S., Gômara, G.A. and Filippo, R.D. (2002) Limnological Features of Funil Reservoir (R.J., Brazil) and Indicator Properties of Rotifers and Cladocerans of the Zooplankton Community. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, **7**, 87-92. https://doi.org/10.1046/j.1440-169x.2002.00177.x

[22] 侯磊, 王庆, 杨宇峰. 珠江广州河段轮虫群落结构特征与水质生态学评价[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2011, 32(3): 311-318.