

黄河源区羊曲 - 班多段水生生物资源调查研究

钟清¹, 曾燊², 王燕³, 顾正选⁴

¹西华师范大学生命科学学院, 四川 南充

²成都师范学院, 四川 成都

³川北医学院, 四川 南充

⁴武汉中科瑞华生态科技股份有限公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年5月26日; 发布日期: 2026年6月2日

摘要

为了解黄河源区羊曲 - 班多段水生生物资源现状, 于2023年和2025年, 对黄河源区羊曲 - 班多段敞水区(A)、回水湾(B)、浅滩(C)等3个不同类型典型生境断面进行了水生生物资源调查。结果显示: 调查区域共检出浮游植物43种, 浮游动物6种, 底栖动物16种, 鱼类8种, 各样点间水生生物群落结构具有一定的空间异质性。多样性分析结果表明, 浮游动物多样性阈值为1.52, 群落稳定性较强; 浮游植物、底栖动物以及鱼类多样性阈值分别为0.84、1.06、1.05, 群落结构稳定性一般。总体来看, 调查区域水生生物资源量偏低, 与该流域特殊的高海拔、冷水水生生态系统有关。该研究结果为黄河流域水生态系统的保护提供基础数据和现实参考。

关键词

水生生物, 生物多样性, 水质, 黄河源区

Investigation on Aquatic Biological Resources in the Yangqu-Banduo Reach of the Yellow River Source Region

Qing Zhong¹, Yu Zeng², Yan Wang³, Zhengxuan Gu⁴

¹College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong Sichuan

²Chengdu Normal University, Chengdu Sichuan

³North Sichuan Medical College, Nanchong Sichuan

⁴Wuhan Sino-Sci Ruihua Eco Tech Co., Ltd., Wuhan Hubei

Received: April 15, 2026; accepted: May 26, 2026; published: June 2, 2026

Abstract

In order to understand the current status of aquatic biological resources of the Yellow River Source Region, a aquatic biological resources survey was conducted in 2023 and 2025 in three typical habitat types—open water area (A), backwater bay (B), and shallow shoal (C)—along the Yangqu–Banduo reach of the Yellow River Source Region. The survey results showed that a total of 43 species of phytoplankton, 6 species of zooplankton, 16 species of benthic macroinvertebrates, and 8 species of fish were identified in the study area, and the aquatic community structure exhibited certain spatial heterogeneity among sampling sites. Diversity analysis indicated that the diversity threshold of zooplankton is 1.52, indicating relatively strong community stability; while the diversity thresholds of phytoplankton, benthic macroinvertebrates, and fish are 0.84, 1.06, and 1.05, respectively, suggesting moderate community structural stability. In general, the low abundance of aquatic biological resources in the surveyed area is attributable to the distinctive high-altitude and cold-water aquatic ecosystem characteristic of this river basin. The findings of this study provide basic data and a practical reference for the protection of the aquatic ecosystem in the Yellow River Basin.

Keywords

Aquatic Organisms, Biodiversity, Water Quality, Yellow River Source Region

Copyright © 2026 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

水生生物是水生态系统的重要组成部分，其群落结构和多样性特征能够反映水环境的健康状况[1]。浮游植物作为水域生态系统的初级生产者，在物质循环和能量流动中扮演着关键角色，其环境敏感度高，种类组成和现存量变化直接反映水体营养状况与生态质量[2]。研究表明，河流水生生态系统中浮游植物的分布格局受到海拔、流速、水温及悬浮物浓度等多重环境因子的综合调控[3]。浮游动物作为次级生产者和初级消费者，在食物网中发挥着承上启下的桥梁作用，其群落结构同时受到浮游植物上行效应和鱼类下行效应的影响，水温、pH值、溶解氧等环境因子也对其分布具有显著调控作用[4]。底栖动物因栖息周期长、活动范围小，对环境变化反应极为灵敏，是河流生态监测中应用广泛的优良指示生物[5]-[7]。鱼类是水域生态系统中的顶级消费者，其群落结构直观地反映了生态系统的完整性和稳定性[8]。因此，开展涵盖浮游植物、浮游动物、底栖动物及鱼类的系统性水生生物综合调查，对于揭示河流生态系统的结构与功能、精准评价水环境质量、制定科学的生物多样性保护策略具有重要的科学价值和现实意义[9]。

黄河源区特指龙羊峡水库以上的黄河河段，涵盖青海、四川、甘肃3省的6个州、18个县，流域面积约为13.2万平方千米，是黄河上游青藏高原鱼类区系的核心分布区[10]。由于海拔高、气温低、生长季短，该区域水生生物群落结构相对简单，物种多样性较低，水生生态系统独特且脆弱[11][12]。然而，近几十年来，黄河源区水生态环境受到气候变暖与人为扰动的双重影响，出现了冰川退缩、径流过程改变、含沙量增加等一系列问题，这些变化不仅威胁着源区特有水生生物的生存，也对整个黄河流域的水安全与生态安全构成潜在风险[13]。羊曲至班多段是黄河源区的关键枢纽河段，连接上游草原湿地与下游峡谷区，具有复杂的水文条件和独特的生境特征。该河段地处青海南部高原向黄土高原的过渡带，受班

多水电站、羊曲水电站等水利工程运行的影响显著,水文呈现明显的区域差异,这些水文条件的改变不可避免地会影响水生生物的栖息环境和群落结构[14][15]。同时,该区域还面临人口密度增加、牲畜存栏量上升等社会经济因素带来的生态压力,相关研究表明,这些因素与水生生物多样性呈显著负相关[3]。

目前,涉及黄河源区羊曲至班多河段的系统性水生生物调查相对有限,针对浮游植物、浮游动物、底栖动物及鱼类等多类群的综合研究较少。吴湘香等[3]对黄河源区曲麻莱至兴海河段的调查发现,该区域浮游植物以硅藻门为优势类群,群落结构呈现显著的时空异质性;徐智超等[16]对黄河源区干流大型底栖动物的调查显示,摇蚊科为分布最广泛的类群。然而,上述研究多集中于单一生物类群,且调查范围未能完全覆盖羊曲至班多关键河段。因此本研究以黄河源区羊曲至班多段为研究区域,于2023年和2025年开展了系统的水生生物调查,旨在阐明该河段浮游植物、浮游动物、底栖动物和鱼类的群落结构特征及多样性。研究结果为黄河源区水生生物多样性保护、河流生态系统健康管理以及水利工程生态调度提供基础数据与科学支撑。

2. 材料与方法

2.1. 采样点设置

于2023年8月(鱼类非繁殖期)和2025年5月(鱼类繁殖期),结合河道条件及地形地貌等因素,在黄河源区羊曲至班多段选取A(敞水区)、B(回水湾)、C(浅滩)3个采样点,分别位于青海省海南藏族自治州兴海县唐乃亥乡(35.500299°N, 100.166226°E)、同德县巴沟乡(35.467176°N, 100.149464°E)、同德县班多村(35.330041°N, 100.259642°E)。

2.2. 样本采集

鱼类:采用地笼法在各采样点上下游1 km范围内采集鱼类样本,地笼数量为4个、放置时间为2小时。A、B点各重复采样6次,C点重复采样8次。现场进行鱼类的鉴定和基础测量后将其放生。对于不确定的鱼类,用10%的甲醛溶液保存,带回实验室进行进一步鉴定。

底栖动物:用索伯网进行定量采集,用225孔/cm²的网筛在水中清洗之后转移到样品瓶中,以甲醛溶液固定。重复采样14次。在实验室内用解剖镜观察,先分类再鉴定计数,物种鉴定参考《淡水微型生物与底栖动物图谱(第二版)》[17]。

浮游植物:使用采水器取混合水样10 L,通过25号浮游生物网(孔径0.064 mm)过滤后转移到50 mL样品瓶中,加1.5%的鲁氏碘液进行固定。重复采样14次。在实验室内用光学显微镜进行物种鉴定与计数,鉴定参考《中国淡水藻类》[18]。

浮游动物:使用采水器取混合水样10 L,用25号浮游生物网过滤后转移到50 mL样品瓶中,加甲醛溶液固定。重复采样14次。在实验室内用光学显微镜进行物种鉴定与计数,鉴定参考《中国淡水生物图谱》[19]。

2.3. 数据处理

将两个时期的数据合并分析,以综合了解水生生物的群落结构特征。优势度和生物多样性指数计算公式如下:

1) Shannon-Wiener 多样性指数(H') [20]:

$$H' = -\sum P_i \times \ln P_i \quad (1)$$

2) Pielou 均匀度指数(J) [21]:

$$J = H' / \ln S \quad (2)$$

3) Mchoughton 优势度指数(Y) [22]:

$$Y = n_i / N \times f_i \quad (3)$$

4) 生物多样性阈值(D_y) [23]:

$$D_y = H' \times J \quad (4)$$

式中: P_i 为物种 i 的个体数在所有个体数中的占比。 S 为物种种类数; n_i 表示物种 i 的密度; N 表示所有种的个体总数; f_i 为 i 种类在多个采样点或样方中出现的频率。

将 $Y > 0.02$ 视为优势种[24], 依据陈清潮等[25]提出的生物多样性阈值评价标准来衡量监测水域生物群落结构状况。

数据处理与分析使用 Excel 2016 和 R Studio 4.5.2。

3. 结果与分析

3.1. 浮游植物群落结构

在黄河源区羊曲 - 班多段共鉴定到浮游植物 43 种, 隶属于 3 门 28 属。其中, 硅藻门最多, 有 16 属 30 种, 绿藻门为 7 属 8 种, 蓝藻门最少, 为 5 属 5 种。3 个样点平均种类数为 24 种, 其中 B 点种类最多, 为 28 种, C 点种类最少, 为 21 种, A 点 23 种, 各点均以硅藻门为主要类群(图 1)。浮游植物平均密度为 1.88×10^5 ind/L, 硅藻密度远大于绿藻和蓝藻; 三个点的浮游植物密度差异不大(图 1)。小颤藻 (*Oscillatoria tenuis*)、颗粒直链藻 (*Melosira granulata*)、假鱼腥藻 (*Pseudanabaena* sp.)、舟形藻 (*Navicula* sp.) 为优势种(表 1)。浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数为 1.78, Pielou 均匀度指数为 0.47, 生物多样性阈值为 0.84 (表 2)。

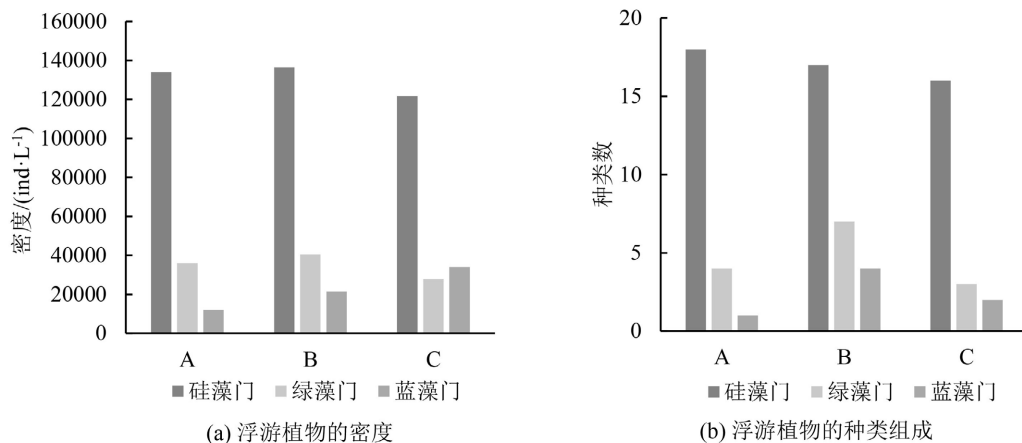


Figure 1. Composition of species and cell density of phytoplankton communities in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region

图 1. 黄河源区羊曲 - 班多段浮游植物的组成和密度

3.2. 浮游动物群落结构

调查区域内共鉴定到浮游动物 4 门 6 属 6 种, 种类组成中轮虫最多, 为 3 属 3 种, 其次是纤毛虫, 为 2 属 2 种, 原生动物最少, 为 1 属 1 种。A 点种类最多, 为 6 种, B 点 4 种, C 点 3 种。浮游动物的平均密度为 281.3 ind/L, 纤毛虫最大, 轮虫次之, 原生动物最少; A、C 两点浮游动物密度接近, 较 B 点

大(图 2)。浮游动物优势种为钟形钟虫(*Vorticella campanula*)、蒲达臂尾轮虫(*Brachionus budapestiensis*)等(表 1)。浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数及生物多样性阈值分别为 1.65、0.92 和 1.52(表 2)。

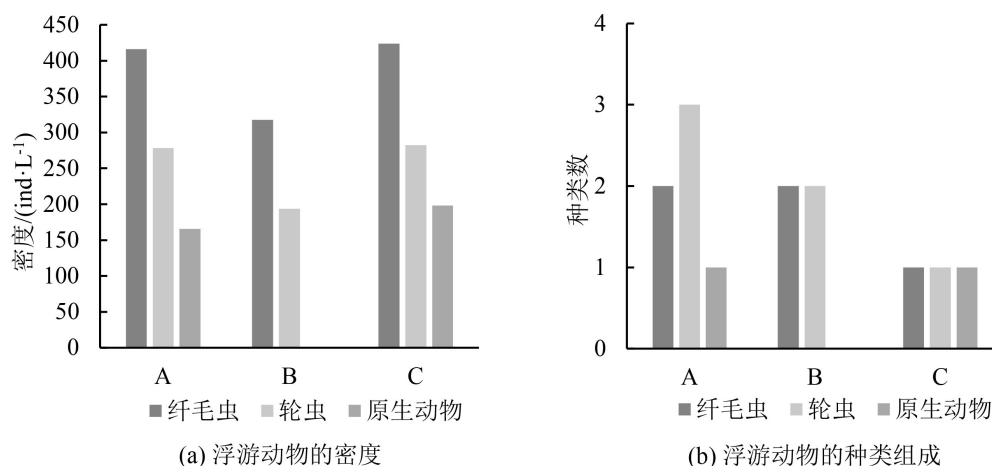


Figure 2. Composition of species and cell density of zooplankton communities in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region

图 2. 黄河源区羊曲 - 班多段浮游动物的组成和密度

3.3. 底栖动物群落结构

调查区域内共鉴定到底栖动物 16 种, 隶属于 2 纲 8 目 16 属。其中昆虫纲 7 目 15 种, 包括毛翅目、蜉蝣目各 4 种, 双翅目、襀翅目各 2 种, 膜翅目、鞘翅目、蜻蜓目各 1 种; 软甲纲 1 目 1 种, 为端足目。底栖动物平均密度为 66.79 ind/m², 双翅目密度最大。三个点的底栖动物物种数和密度表现均存在空间异质性, 表现为 C 点最大, B 点次之, A 点最小(图 3)。底栖动物优势种为花翅前突摇蚊(*Procladius cheoreus*)、近藤水摇蚊(*Hydrobaenus kondoi*)和某种蚁类(Formicidae)等(表 1)。Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数以及生物多样性阈值分别为 1.71、0.62、1.06(表 2)。

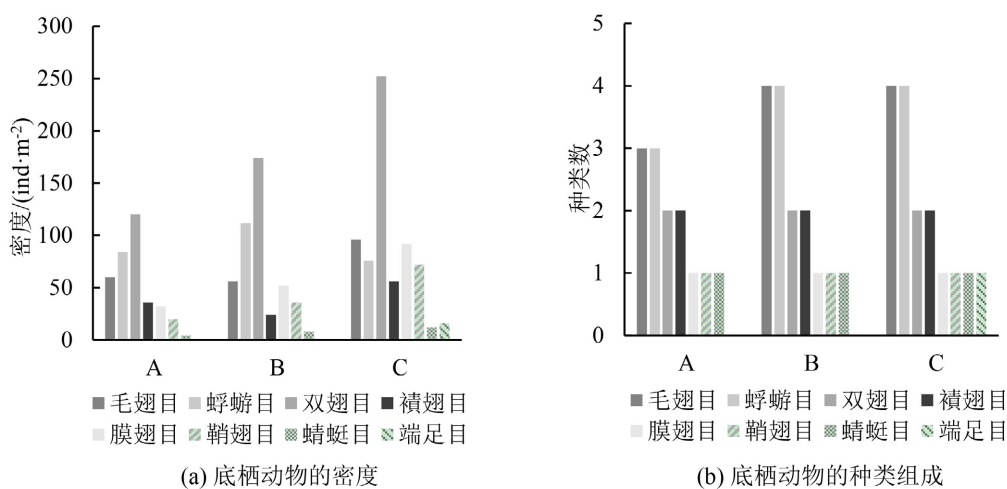


Figure 3. Composition of species and cell density of macroinvertebrates communities in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region

图 3. 黄河源区羊曲 - 班多段底栖动物的组成和密度

3.4. 鱼类群落结构

本次监测共采集到鱼类 8 种, 均属于鲤形目, 分属于 2 科 6 属。其中鲤科鱼类较多, 为 5 属 5 种, 条鳅科鱼类 1 属 3 种。A、B、C 点的鱼类种类分别为 7、8、8 种(图 4), A 点没有采集到极边扁咽齿鱼。鱼类平均密度为 3.62 尾/笼/h, 鲤科鱼类大于条鳅科; A、B、C 点分别为 1.79、3.77、4.88 尾/笼/h, 差异较大(图 4)。黄河源区羊曲 - 班多段鱼类优势种为刺鮡(*Acanthogobio guentheri*)、黄河高原鳅(*Triplophysa pappenheimi*)、花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*)等(表 1)。鱼类 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数以及生物多样性阈值分别为 1.48、0.71 和 1.05 (表 2)。

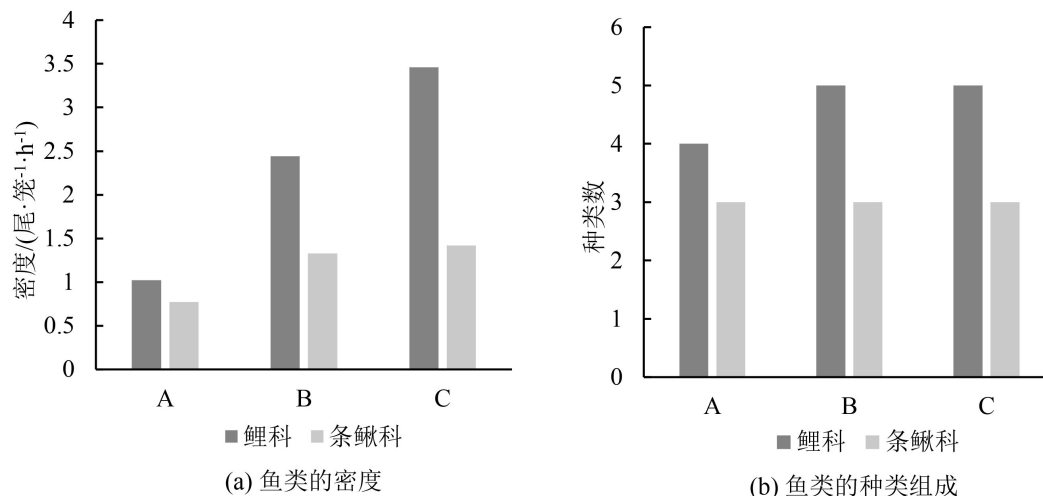


Figure 4. Composition of species and cell density of fish communities in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region

图 4. 黄河源区羊曲 - 班多段鱼类的组成和密度

Table 1. Dominant species of aquatic organisms in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region

表 1. 黄河源区羊曲 - 班多段水生生物优势种

	优势种	优势度
浮游藻类	小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	0.06
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	0.05
	假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i> sp.	0.02
	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	0.05
浮游动物	钟形钟虫 <i>Vorticella campanula</i>	0.04
	蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	0.03
底栖动物	花翅前突摇蚊 <i>Procladius cheureus</i>	0.06
	近藤水摇蚊 <i>Hydrobaenus kondoi</i>	0.03
	蚁类 Formicidae	0.02
鱼类	刺鮡 <i>Acanthogobio guentheri</i>	0.06
	黄河高原鳅 <i>Triplophysa pappenheimi</i>	0.03
	花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i>	0.02

Table 2. Value of aquatic biodiversity in the Yangqu-Banduo reach of the Yellow River Source Region
表 2. 黄河源区羊曲 - 班多段水生生物多样性数值

	A			B			C			总体		
	H'	J	D_y	H'	J	D_y	H'	J	D_y	H'	J	D_y
浮游植物	1.75	0.56	0.98	1.95	0.59	1.14	2.00	0.66	1.31	1.78	0.47	0.84
浮游动物	1.77	0.99	1.75	1.88	1.36	2.55	1.83	1.67	3.05	1.65	0.92	1.52
底栖动物	1.60	0.62	1.0	1.61	0.59	0.96	1.79	0.65	1.16	1.71	0.62	1.06
鱼类	1.19	0.61	0.73	1.39	0.67	0.93	1.25	0.60	0.75	1.48	0.71	1.05

4. 讨论

4.1. 黄河源区羊曲 - 班多段水生生物的群落结构和多样性

黄河源区羊曲 - 班多段共鉴定出浮游植物 43 种, 其中硅藻门 30 种, 其种类和密度均最高, 为主要类群, 多样性阈值为 0.84, 处于一般水平。这一结果与黄河源区相关研究结论相似。吴湘香[3]对黄河源区曲麻莱至兴海河段的调查同样发现硅藻门为优势类群, 种类数占比达 72.31%; 朱海涛等[26]的研究也表明, 黄河源区浮游植物以硅藻门和绿藻门为主, 优势种多为硅藻门中的贫营养或中营养型种类。而本研究中小颤藻作为蓝藻门的代表种类成为浮游植物优势种, 表明该河段存在一定的有机质输入。3 个点的多样性空间异质性不大, B、C 点的值略大于 A 点。浮游植物的多样性阈值均在 0.6~1.5 之间, 其多样性处于中等水平, 反映出黄河源区羊曲 - 班多段浮游植物群落稳定性一般。

黄河源区羊曲 - 班多段浮游动物共 6 种, 以轮虫类等小型种类为主, 多样性阈值为 1.52, 处于较高水平。陆丹等[4]对黄河干流玛多段后生浮游动物的研究发现, 该区域浮游动物以轮虫和原生动物为主, 枝角类和桡足类数量较少, 与本研究结果相符。各采样点浮游动物物种数表现为 A 点 > B 点 > C 点, 浮游动物优势种为钟形钟虫和蒲达臂尾轮虫, 均为小型种类, 这与河流生态系统中大型浮游动物易受水流影响的特质相符[27]。B 点浮游动物多样性最高、C 点次之、A 点最低。三个点多样性阈值均在 1.5~3.5 之间, 群落结构稳定性高。C 点浮游动物多样性阈值最高主要得益于其均匀度指数高达 1.7, 表明该点位浮游动物个体在各物种间分布较为均匀, 群落结构稳定性最强。

黄河源区羊曲 - 班多段共鉴定出底栖动物 16 种, 其中昆虫纲 15 种, 为主要类群, 多样性阈值为 1.06, 处于一般水平。底栖动物的物种数表现为 C 点 > B 点 > A 点, 表明底栖动物群落结构存在空间异质性。底栖动物优势种为花翅前突摇蚊、近藤水摇蚊和某种蚁类, 以摇蚊科等耐污种类为主, 这与摇蚊幼虫对有机质积累的响应特征一致[28]。各样点间底栖动物多样性差异不大, C 点略大于 A、B 两点, 且多样性阈值均在 0.6~1.5 之间, 这表明黄河源区羊曲 - 班多段底栖动物多样性一般, 反映出该区域底栖动物稳定性不高。

黄河源区羊曲 - 班多段鱼类共 8 种, 以黄河源区特有鱼类为主, 多样性阈值为 1.05, 处于一般水平。调查区域内鱼类均属于鲤形目, 以鲤科鱼类为主, 条鳅科较少。潘文光等[29]对黄河上游茨哈峡至羊曲河段的研究表明, 该河段分布的 21 种土著鱼类中, 生态需求等级最高的包括黄河高原鳅、花斑裸鲤、刺鲃等 8 种。本研究采集到的鱼类优势种刺鲃、黄河高原鳅和花斑裸鲤均在该列表中, 表明这些物种是该河段的重要保护对象。但此次监测鱼类种类相对较少, 可能与捕捞工具有关。鱼类多样性阈值 B 点略高于 A 点和 C 点, 整体水平一般, 反映出黄河源区河流鱼类群落结构的稳定性不高。

4.2. 影响黄河源区羊曲 - 班多段水生生物群落结构的主要因素分析

黄河源区羊曲 - 班多段水生生物的群落结构特征与分布差异可能与该区域水文条件、种间关系、水

体营养盐水平、底质类型以及人类活动干扰等外部因素密切相关。

一般而言,绿藻和蓝藻适于静止或缓流水体中生存,而硅藻因具坚硬的硅质外壳、耐摩擦和滚动,能在流动或紊动水体中获得增殖优势[30][31]。黄河源区羊曲-班多段属于典型的河流生态系统,现场调查发现该河段水流较急,水体的持续流动为硅藻提供了优越的生长条件,使其在竞争中占据主导地位。电站的运行也会改变水文条件,从而影响群落结构。张峰华等[15]的研究表明,羊曲水电站运行后河水位整体抬升 1.0 m~2.0 m,地下水埋深变浅 0 m~1.4 m,这些水文条件的改变可能会对浮游植物的栖息环境产生深远影响。浮游植物优势种中小颤藻等蓝藻的出现,暗示该河段已受到一定的有机质输入影响,这可能与上游畜牧业活动或农业面源污染有关。因此,黄河源区羊曲-班多段浮游植物群落结构空间异质性可能与各点局部的水流速度、营养盐输入及人为活动等导致的微环境差异有关。

黄河源区羊曲-班多段浮游动物群落结构可能受花斑裸鲤等杂食性鱼类种群数量的调控。通常情况下,浮游动物群落同时受浮游植物上行效应与鱼类捕食下行效应的共同影响[32]。本研究区域内浮游植物种类偏少、密度较低,相较于花斑裸鲤等鱼类的下行捕食压力,浮游植物上行效应对浮游动物群落结构的影响更微弱。本次调查中,该河段浮游动物以轮虫等小型类群为主,未检出枝角类、桡足类等大型浮游动物,这一现象可能与河段流速偏大、大型浮游动物难以定殖存续有关[27]。已有研究证实,枝角类、桡足类等节肢动物与轮虫之间存在资源利用竞争及机械干涉竞争关系[33]。因此,推断本研究中轮虫占据优势的特征是桡足类缺失引发生态位释放所致。

黄河源区羊曲-班多段底栖动物的群落结构与河道底质密切相关[24]。本研究中,底栖动物群落以水生昆虫为主,三个点底栖动物物种数为 C 点 > B 点 > A 点。这一分布格局可能受底质类型调控。C 点河道底质以鹅卵石等为主,含少量泥沙, B 点河道底质以泥沙为主,而 A 点则以鹅卵石和泥沙为主。鹅卵石基质有助于底栖生物定殖,能为其营造出适宜的生存空间,从而对水生昆虫的种群增长产生积极影响。因此, C 点观察到的物种丰富度与群落多样性水平更高。此外,相关研究表明,黄河源区底栖动物群落结构还可能与降水量、海拔等环境因素相关[16]。

黄河源区羊曲-班多段鱼类群落结构与饵料丰富度和生境条件相关。本研究三个样点鱼类丰富度差异不大,但密度差异较大,鱼类密度从 A 点到 C 点逐渐升高。这一规律与浮游动物和底栖动物的分布趋势相呼应,表明鱼类密度与其饵料生物的丰富度密切相关。黄河上游茨哈峡至羊曲河段的研究表明,黄河高原鳅、花斑裸鲤、刺鲃等多种土著鱼类,主要为适应缓流生境且均为砂砾产卵类型鱼类[29]。此次调查区域中三个点的底质不同可能也是导致三个样点的鱼类密度差异的因素。

4.3. 黄河源区羊曲-班多段水生生物资源量与河流生境关系

水生生物资源量与其生境联系紧密,机体个体行为、种群动态以及群落结构与生境密不可分[34]。黄河源区羊曲-班多段水生生物整体密度偏低,如浮游植物平均密度仅为 1.88×10^5 ind/L,这与该区域特殊的高海拔冷水型水生生态系统密切相关。黄河源区羊曲-班多段水体泥沙含量偏高、透明度较差,年平均水温约 10°C ,水体营养盐含量较少,仅适宜喜低温、抗逆性强的水生生物生存。群落结构上,硅藻数量显著高于绿藻和蓝藻,这可能是因为硅藻相比绿藻和蓝藻具有更低的呼吸代谢消耗,低温适应性更强[35]。浮游动物群落呈现典型冷水寡营养水体特征,其中纤毛虫种群密度最高,其个体微小、繁殖速率快,能高效利用水体中的细菌和微细有机碎屑[36];轮虫次之,对水环境变化较为敏感[37];原生动物占比最低,大概率受种间竞争劣势制约。底栖动物中双翅目(主要为摇蚊科幼虫)为优势类群,其兼具耐低温、耐低氧的特性[38][39],在有机质含量较低、透明度不高的水体中仍能维持相对稳定的种群规模。区域特有鲤科鱼类对黄河源区冷水环境具有特殊适应性,而条鳅科多为底栖性鱼类,对底质类型和水流条件要求更为苛刻,其密度较低可能反映了底质稳定性或溶氧条件的某些限制。基于本次调查结果,对黄河源

区羊曲-班多段水生生物资源保护和修复提出以下建议：做好流域水土保持与生态治理，降低泥沙与外源污染输入，遏制水体生境退化。加强科学监测与研究，为区域水生生物资源保护提供理论支撑；强化渔业执法与普法宣传，严厉打击偷捕滥捕等违法行为；推进关键河段生境修复，保障鱼类栖息与洄游所需的水文、底质条件。

5. 结论

本文基于黄河源区羊曲-班多段水生生物资源调查，分析了该河段水生生物群落结构、多样性特征及资源量。研究表明，受水文条件、底质类型、种间关系及人为活动等因素影响，各样点水生生物群落结构存在空间差异；河段浮游动物多样性阈值最高，群落稳定性较强，浮游植物、底栖动物以及鱼类多样性阈值中等，群落结构稳定性一般。研究河段整体资源量偏低，与该流域特殊的高海拔、冷水水生生态系统有关。

基金项目

高原冷水鱼类产卵场的保护与恢复关键技术研究：以黄河源区刺鲃为例(四川省科技厅重点项目，2022NSFSC0129)；长江流域重点水域水生生物监测与禁捕效果评估(2026JBXG001)。

参考文献

- [1] Vadas, R.L., Hughes, R.M., Bae, Y.J., Baek, M.J., Gonzáles, O.C.B., Callisto, M., *et al.* (2022) Assemblage-Based Bio-monitoring of Freshwater Ecosystem Health via Multimetric Indices: A Critical Review and Suggestions for Improving Their Applicability. *Water Biology and Security*, **1**, Article ID: 100054. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100054>
- [2] 彭靖, 王翠香, 焦明发, 等. 基于形态学和环境 DNA 鉴定的青西湿地浮游植物群落结构比较研究[J]. 上海师范大学学报(自然科学版中英文), 2025, 54(6): 696-711.
- [3] 吴湘香, 马宝珊, 茹辉军, 等. 黄河源区浮游植物群落结构特征及其环境驱动因素[J]. 中国水产科学, 2024, 31(9): 1015-1026.
- [4] 陆丹, 张静, 耿昭克, 等. 黄河干流玛多段后生浮游动物群落结构研究[J]. 人民黄河, 2019, 41(11): 49-53.
- [5] Divya, and Kumari, A. (2024) Multi-Metric Biomonitoring of a Seasonally Flooded Baraila Wetland Using Benthic Macroinvertebrates as Indicator Organisms in the Middle Ganga River Basin (Vaishali), India. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, **73**, 1211-1227. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.024>
- [6] Han, W. and Han, Q. (2024) Macrobenthic Indicator Species: From Concept to Practical Applications in Marine Ecology. *Global Ecology and Conservation*, **55**, e03262. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03262>
- [7] 何欣曼, 李锦, 曾燊, 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.
- [8] Lejeune, B., Lepoint, G. and Denoël, M. (2024) Food Web Collapse and Regime Shift Following Goldfish Introduction in Permanent Ponds. *Global Change Biology*, **30**, e17435. <https://doi.org/10.1111/gcb.17435>
- [9] Li, Z., Xie, H., Peng, Z., Heino, J., Ma, Y., Xiong, F., *et al.* (2024) Hydrology and Water Quality Drive Multiple Biological Indicators in a Dam-Modified Large River. *Water Research X*, **25**, Article ID: 100251. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100251>
- [10] 申志新, 王国杰, 李柯懋, 等. 黄河龙羊峡上游鱼类资源现状及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(1): 70-76.
- [11] 唐文家, 何德奎. 黄河上游茨哈峡至积石峡段鱼类资源调查(2005-2010年)[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 600-608.
- [12] 李柯懋, 申志新, 赵娟. 刺鲃生物学特性和保护价值及建议[J]. 河北渔业, 2013(9): 64-65.
- [13] 姚名泽, 尹军, 刘思敏, 等. 气候变化下长江黄河源区水循环变化及生态效应[J]. 人民长江, 2024, 55(3): 74-82.
- [14] 张路, 李建波, 姚政宇, 等. 基于机器学习的羊曲水电站运行对怪柳生态的影响[J]. 中国水土保持, 2025(10): 34-37.
- [15] 张峰华, 张新平, 张国盛, 等. 黄河羊曲水电站及邻近库区河岸带土壤侵蚀的时空异质性与相关因素探析[J]. 中国水土保持, 2024(11): 22-27.

- [16] 徐智超, 邱冬冬, 詹小雨, 等. 黄河源区干流水生维管束植物和大型底栖动物多样性及分布特征[J]. 环境工程技术学报, 2026, 16(1): 11-20.
- [17] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [18] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [19] 韩茂森, 束蕴芳, 主编. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [20] Shannon, C.E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423.
- [21] Pielou, E.C. (1975) *Ecological Diversity*. Wiley.
- [22] Lampitt, R.S., Wishner, K.F., Turley, C.M. and Angel, M.V. (1993) Marine Snow Studies in the Northeast Atlantic Ocean: Distribution, Composition and Role as a Food Source for Migrating Plankton. *Marine Biology*, **116**, 689-702. <https://doi.org/10.1007/bf00355486>
- [23] 陈秀丽, 秦玉广, 张金路, 等. 东平湖浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2017, 32(2): 115-120.
- [24] 陈旭东, 罗小锐, 陈佳琪, 等. 基于浮游和底栖生物多样性调查的浊漳河流域水生态环境分析[J]. 环境生态学, 2022, 4(Z1): 50-56.
- [25] 陈清潮, 黄良民, 尹建强. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物多样性研究 I [M]. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [26] 朱海涛, 彭玉, 柴元冰, 等. 黄河源区浮游植物群落特征研究[J]. 人民长江, 2019, 50(3): 84-87.
- [27] Fuchs, H.L. and Gerbi, G.P. (2016) Seascape-Level Variation in Turbulence- and Wave-Generated Hydrodynamic Signals Experienced by Plankton. *Progress in Oceanography*, **141**, 109-129. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.010>
- [28] 颜京松, 叶沧江. 白洋淀的摇蚊幼虫及二新种记述[J]. 昆虫学报, 1977(2): 183-198.
- [29] 潘文光, 石文良, 杨志, 等. 黄河上游茨哈峡至羊曲河段生态调度目标鱼类筛选[J]. 水生态学杂志, 2024, 45(1): 120-126.
- [30] 李飞鹏, 高雅, 张海平, 等. 流速对浮游藻类生长和种群变化影响的模拟试验[J]. 湖泊科学, 2015, 27(1): 44-49.
- [31] 张显忠. 三峡库区重庆段泥沙对硅藻生长影响试验研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [32] 卢慧斌, 陈光杰, 陈小林, 等. 上行与下行效应对浮游动物的长期影响评价——以滇池与抚仙湖沉积物象鼻溞 (*Bosmina*)为例[J]. 湖泊科学, 2015, 27(1): 67-75.
- [33] Gilbert, J.J. (1988) Suppression of Rotifer Populations by *Daphnia*: A Review of the Evidence, the Mechanisms, and the Effects on Zooplankton Community Structure. *Limnology and Oceanography*, **33**, 1286-1303. <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.6.1286>
- [34] 杨丹丹, 李君轶, 吴金明, 等. 千河流域秋季水生生物资源调查研究[J]. 水产学杂志, 2021, 34(4): 49-58.
- [35] Rehder, L., Rost, B. and Rokitta, S.D. (2023) Abrupt and Acclimation Responses to Changing Temperature Elicit Divergent Physiological Effects in the Diatom *Phaeodactylum tricornutum*. *New Phytologist*, **239**, 1005-1013. <https://doi.org/10.1111/nph.18982>
- [36] 刘汉成, 蒲小剑, 刘晶, 等. 纤毛虫群落结构对尕斯库勒湖退化的响应[J]. 草业学报, 2018, 27(2): 192-205.
- [37] 谢丹平, 李开明, 刘爱萍, 等. 重污染河道治理中的浮游动物群落结构变化研究[J]. 生态科学, 2009, 28(5): 398-403.
- [38] Nell, L.A., Weng, Y., Phillips, J.S., Botsch, J.C., Book, K.R., Einarsson, Á., et al. (2024) Shared Features Underlying Compact Genomes and Extreme Habitat Use in Chironomid Midges. *Genome Biology and Evolution*, **16**, evae086. <https://doi.org/10.1093/gbe/evae086>
- [39] Zhang, Y., Zhang, Q., Xu, W., Zou, W., Xiang, X., Gong, Z., et al. (2023) The Multifaceted Effects of Short-Term Acute Hypoxia Stress: Insights into the Tolerance Mechanism of *Prosilocerus akamusi* (Diptera: Chironomidae). *Insects*, **14**, Article 800. <https://doi.org/10.3390/insects14100800>