

天津市重点河湖大型底栖生物多样性调查研究

刘玉¹, 宋兵魁^{2*}, 李莉², 鲍炜然¹, 孙金辉^{1*}

¹天津农学院水产学院, 天津

²天津市生态环境科学研究院, 天津

收稿日期: 2025年5月10日; 录用日期: 2025年6月3日; 发布日期: 2025年6月11日

摘要

为探究天津市重点河湖的大型底栖动物的群落结构特征, 2021年对天津市8条国控入海河流及其主要支流、大运河在我市境内流经的北运河、南运河, 以及主要水库及其汇入河流, 共计24条河流、2个水库共计62个点位进行了野外调查, 对底栖动物的种类组成、多样性以及群落结构进行分析。河流部分两期调查共采集到底栖动物17种, 分属9目13科。其中节肢动物门3种, 软体动物门13种, 环节动物门1种; 水库部分两期调查共采集到底栖动物44种, 分属9目22科。其中节肢动物门30种, 软体动物门12种, 环节动物门2种。各水域底栖动物种类和数量存在差异, 优势种不同, 根据优势种分析显示, 摇蚊是多个水系中的优势种。通过Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数和Margalef丰富度指数对底栖动物的平均密度和生物量进行了统计分析, 结果显示两期数据对比三个生物多样性指数均普遍降低。选取底栖动物多样性综合指数作为评估指标, 发现底栖动物多样性综合指数偏低, 评价等级为较差级别以下。底栖动物作为重要的生态指标, 其群落结构和多样性指数的变化可有效反映水环境质量。因此, 应加强河湖底栖动物的监测工作, 完善基于底栖动物的水质评价体系, 以促进天津市河湖生态系统的良性循环。

关键词

天津, 大型底栖动物, 生物多样性, 生物指数, 群落结构

Investigation of Macrobenthic Biodiversity in Key Rivers and Lakes in Tianjin

Yu Liu¹, Bingkui Song^{2*}, Li Li², Weiran Bao¹, Jinhui Sun^{1*}

¹Fisheries College of Tianjin Agricultural University, Tianjin

²Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin

Received: May 10th, 2025; accepted: Jun. 3rd, 2025; published: Jun. 11th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 刘玉, 宋兵魁, 李莉, 鲍炜然, 孙金辉. 天津市重点河湖大型底栖生物多样性调查研究[J]. 水产研究, 2025, 12(2): 106-120. DOI: 10.12677/ojfr.2025.122012

Abstract

In order to investigate the community structure of macrobenthos in key rivers and lakes in Tianjin, field surveys were conducted in 2021 on eight state-controlled rivers entering the sea and their major tributaries, the North Canal and the South Canal through which the Grand Canal flows in the city, as well as the major reservoirs and their confluent rivers, a total of 24 rivers, two reservoirs and a total of 62 sites, to analyze the species composition, diversity, and community structure of benthic fauna. The species composition, diversity and community structure of benthos were analyzed. A total of 17 species of benthos were collected in the two phases of the river survey, belonging to 9 orders and 13 families. Among them, there are 3 species of Arthropoda, 13 species of Mollusca, and 1 species of Annelida; 44 species of benthos were collected in the two phases of the survey in the reservoir, which belong to 9 orders and 22 families. Among them, 30 species of Arthropoda, 12 species of Mollusca and 2 species of Annelida. There are differences in the species and number of benthos in each water body, and the dominant species are different. According to the dominant species analysis, the rocking mosquito is the dominant species in several water systems. The average density and biomass of benthos were statistically analyzed by Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index and Margalef richness index, and the results showed that the biodiversity index was generally lower in the comparison of the two periods of data. The benthic diversity composite index was selected as the evaluation index, and it was found that the benthic diversity composite index was low and the evaluation grade was below the poor level. As an important ecological indicator, changes in the community structure and diversity index of benthos can effectively reflect the quality of water environment. Therefore, the monitoring of river and lake benthos should be strengthened and the benthos-based water quality evaluation system should be improved to promote the benign cycle of river and lake ecosystems in Tianjin.

Keywords

Tianjin, Macrofauna, Biodiversity, Biological Index, Community Structure

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

采用大型底栖动物评价水系的状况是河流保护和管理中普遍使用的方法。通常根据动物多样性综合指数指示流域内河湖水系受到的短期和长期人为活动干扰。Karr 在 1981 年提出了生物完整性方法体系 [1], 并首次以鱼类为研究对象进行河流健康评价 [2], 其核心思想是从群落结构、多样性、生活型和生态型等多个方面选择适宜指标, 构建河流健康评价指标体系。其他研究人员进一步选择底栖动物等为研究对象进行了河流和湖泊的生物完整性评价研究。底栖动物是河流和湖泊中最重要的生物群落之一 [3], 其不仅是河湖生态系统中重要的消费者, 促进河湖生态系统物质和能量的流动, 同时底栖动物类群庞杂 [4] [5], 对人为活动影响具有敏感的指示作用, 因此广泛地应用于河湖健康评价 [6]。我国地域辽阔, 不同流域之间生物区系差异较大, 因此生物完整性评价方法需要分别构建 [7]。

水环境质量评价是水环境管理的一项基础性工作, 合理的评价方法可以准确描述河流的水质状况 [8], 以满足水环境管理和决策需要。传统的基于水体理化因子的评价方法对水环境质量的反映较为片面, 不能够满足河流水质评价的要求。基于水生生物的水质评价方法不仅能反映环境中各种污染因子对生物

的综合作用[9]-[11],而且能反映水体中污染物的累积效应,对水环境的长期影响作出反应[12],具有传统方法所不可替代的优越性[13]。在水质生物评价的研究中,水生生物的选择是一项重要环节,底栖动物作为维系水生态系统结构和功能的重要部分,底栖动物具有生活场所相对固定、生命周期长、对环境变化敏感[14][15],且缺乏有力回避等特点,其群落结构能够很好的反映出水体的健康状况。

由于水体受到捕捞、取水、水库作业和其他人类活动的干扰,大型底栖动物比鱼类或浮游生物等受到影响小,更适合评价河流健康状况。因此,本研究以天津市重点河湖为研究对象,对其开展底栖动物的系统调查,从空间结构上分析其底栖动物群落组成,明确天津市水体的污染情况,以期为天津市生态环境保护提供理论和数据支持,促进流域生态系统良性循环。

2. 研究方法

2.1. 调查点位

选取海河流域天津段重点河湖作为调查范围,包括我市北运河、南运河,以及主要水库及其汇入河流,共计 24 条河流、2 个水库,具体包括:

(1) 8 条国控入海河流及其支流、重要国控、市控断面所在河流:蓟运河、永定新河、海河、独流减河、青静黄排水河、子牙新河、北排水河、沧浪渠;州河、潮白新河、大沽排水河;北塘排水河、青龙湾减河、马厂减河、沟河、大清河、金钟河、北京排污河、外环河、津河、子牙河。

(2) 大运河:北运河、南运河。

(3) 主要水库及其汇入河流:于桥水库、北大港水库。

本次调查分别于 2021 年 6~7 月、2021 年 9~10 月完成两个季度的采样,共设置采样点 62 个。采点站位图见图 1。

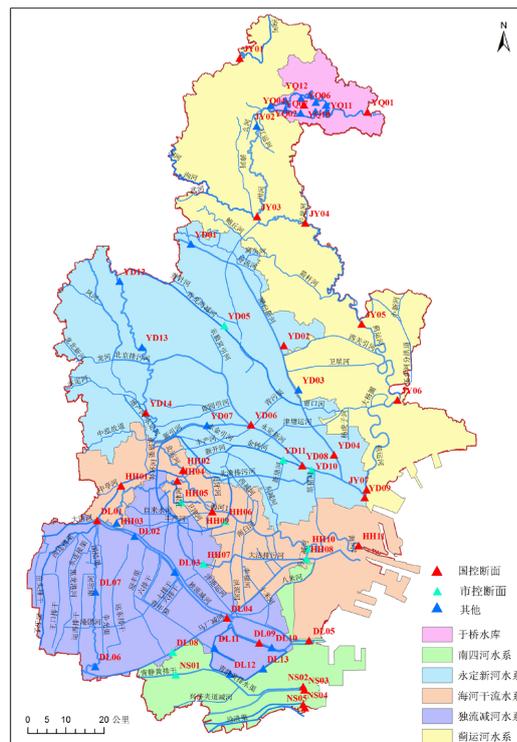


Figure 1. Distribution map of benthic survey stations

图 1. 底栖动物调查站位的分布示意图

2.2. 样点采集与鉴定

使用 $1/16 \text{ m}^2$ 的彼得生采泥器或改良的彼得生采泥器($1/12 \text{ m}^2$)采集泥样。在水深超过 3 m 的河流, 可使用抓斗式采泥器($1/4 \text{ m}^2$)或彼得生采泥器进行采集。采样时每个采样点累计采样面积约 $0.5\sim 1 \text{ m}^2$ 。

在可涉水的河流区域, 可使用 D 形抄网或带网夹泥器。采集 3 个小样方, 总面积约为 1 m^2 。在河岸浅水区和可涉水区域, 可结合定量框法进行采集, 每个样点采集 2~4 次, 总采样面积累计约 $0.25\sim 1 \text{ m}^2$ 。

所有采集的样品经过 40 目(孔径 0.425 mm)尼龙筛网现场筛洗后带回实验室, 将所有大型底栖动物放于白色瓷盘中逐一挑出, 添加乙醇溶液(终浓度约 30%)或甲醛溶液(终浓度约 5%)固定剂后封装保存。

样品的鉴定在解剖镜和显微镜下进行。每个采样点所采到的底栖动物数量按不同种类准确地统计计数。根据每个样点的采样面积, 最终换算出各样点底栖动物各分类单元的密度(ind/m^2)和生物量($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) [16]。软体动物和水栖寡毛类的优势种应鉴定到种, 对于疑难种类应有固定标本, 以便进一步分析鉴定。水栖寡毛类等应在解剖镜或显微镜下观察鉴定。

2.3. 生物多样性分析

计算不同浮游动物多样性指数, 包括浮游动物密度(N)、优势度指数(Y)、Shannon-Weiner 指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数(d), 见式(1)~(5)。

浮游动物密度(N)计算:

$$N = \frac{v \times n}{V \times C} \quad (1)$$

优势度指数(Y)计算:

$$Y = (N_i/N) \times f_i \quad (2)$$

式中: N_i 为第 i 种的个体数, N 为样品中所有个体总数, f_i 为第 i 种在各采样位点出现的频率, $Y \geq 0.02$ 为优势种。

Shannon-Wiener 多样性指数(H')计算:

$$H' = -\sum (N_i/N) \log_2 (N_i/N) \quad (3)$$

Pielou 均匀度指数(J)计算:

$$J = H'/\log_2 S \quad (4)$$

式中: H' ——多样性指数; S ——总种类数。

Margalef 丰富度指数(d)计算:

$$d = (S-1)/\log_2 N \quad (5)$$

式中: S ——调查生物的种类数; N ——全部生物个体总数。

3. 结果与分析

3.1. 底栖动物种类特征

各类底栖动物物种数见图 2。河流部分两期调查共采集到底栖动物 17 种, 分属 9 目 13 科。其中节肢动物门 3 种, 软体动物门 13 种, 环节动物门 1 种。第一期调查以软体动物门为主, 占物种总数的 70.59%, 第二次调查以软体动物门为主, 占物种总数的 47.06%。

水库部分两期调查共采集到底栖动物 44 种, 分属 9 目 22 科。其中节肢动物门 30 种, 软体动物门 12 种, 环节动物门 2 种。第一期调查以节肢动物门为主, 占物种总数的 65.38%, 第二期调查以节肢动物门为主, 占物种总数的 65.52%。

3.1.1. 河流

河流部分具体到每个水系，蓟运河水系两期共采集到底栖动物 8 种，其中第一期以软体动物门为主，第二期以软体动物门为主。永定新河水系两期共采集到底栖动物 7 种，其中第一期以软体动物门为主，第二期以软体动物门为主。海河水系两期共采集到底栖动物 11 种，其中第一期以软体动物门为主，第二期以软体动物门为主。独流减河水系两期共采集到底栖动物 6 种，其中第一期以节肢动物门和软体动物门各 3 种，第二期以软体动物门为主。南四河水系两期共采集到底栖动物 2 种，其中第一期节肢动物门和环节动物门各 1 种，第二期以节肢动物门为主。

河流部分底栖动物物种丰富度按水系排列的空间特征见图 3 所示。结果显示，物种丰富度最大的是海河水系，两期共调查到底栖动物 11 种，其中第一期 11 种，第二期 8 种；物种丰富度最小的是南四河水系，两期共调查到底栖动物 2 种，其中第一期 2 种，第二期 1 种。

底栖物种丰富度百分组成结果显示见图 4，第一期节肢动物门在独流减河和南四河水系占比最大，为 50%；软体动物门在永定新河水系中占比最大，为 86%；环节动物门在南四河水系中占比最大，为 50%。第二期节肢动物门在南四河水系占比最大，为 100%；软体动物门在蓟运河水系中所占百分比最大，为 100%；环节动物门在第二期中未出现。

3.1.2. 水库

北大港水库两期共采集到底栖动物 36 种，其中第一期以节肢动物门为主，占物种总数的 84.21%，第二期以节肢动物门为主，占物种总数的 81.82%；于桥水库两期共采集到底栖动物 17 种，其中第一期以节肢动物门和软体动物门为主，各占物种总数的 42.86%，第二期以软体动物门为主，占物种总数的 55.56%。

水库部分底栖动物物种丰富度结果显示见图 5，物种丰富度较大的是北大港水库，两期共调查到底栖动物 36 种，其中第一期 19 种，第二期 22 种；物种丰富度较小的是于桥水库，两期共调查到底栖动物 17 种，其中第一期 14 种，第二期 9 种。

底栖物种丰富度百分组成结果显示见图 6，第一期节肢动物门在北大港水库占比最大，为 84.21%；软体动物门在于桥水库中所占百分比最大，为 42.86%；环节动物门在于桥水库中所占百分比最大，为 14.29%；第二期节肢动物门在北大港水库占比最大，为 81.82%；软体动物门在于桥水库中所占百分比最大，为 55.56%；环节动物门在于桥水库中所占百分比最大，为 22.22%。

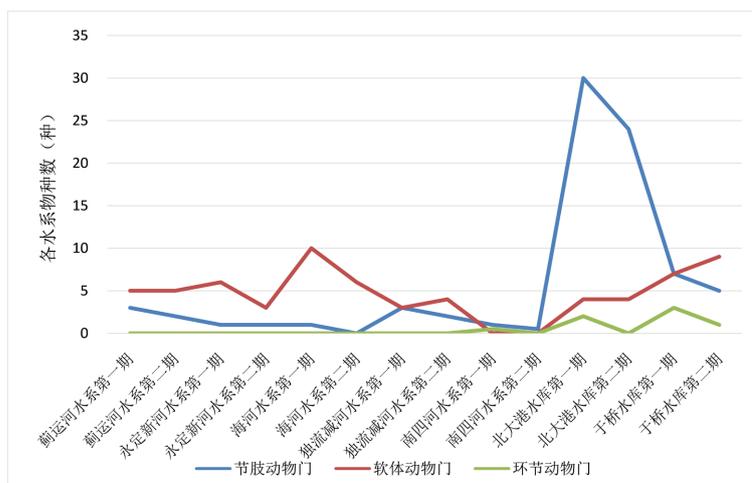


Figure 2. Number of species in each group of macrobenthos
图 2. 大型底栖动物各类群物种数

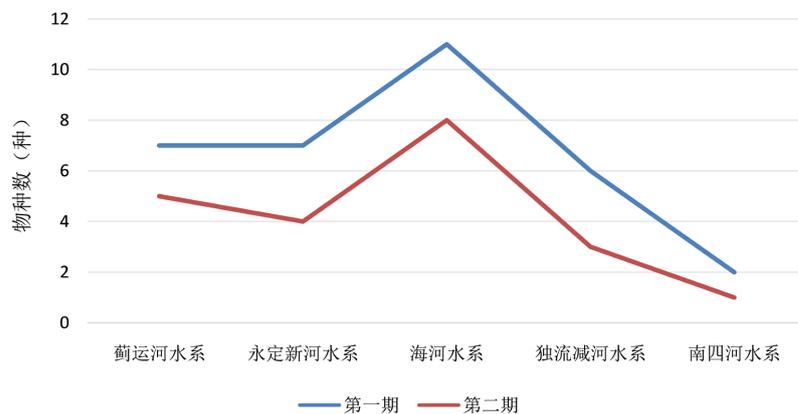


Figure 3. Species richness characteristics of benthic fauna by water regime

图 3. 按水系排列的底栖动物的物种丰富度特征

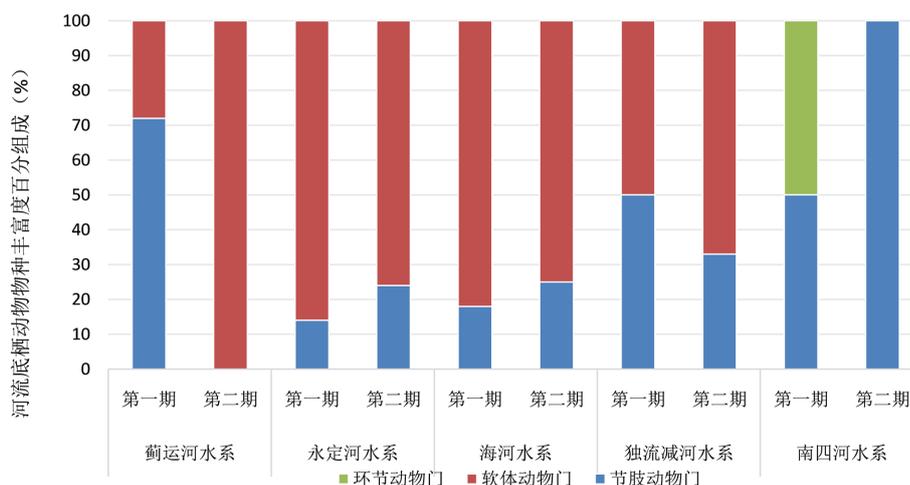


Figure 4. Spatial characteristics of the percent composition of benthic species richness in river systems

图 4. 河流各水系底栖动物物种丰富度百分组成的空间特征

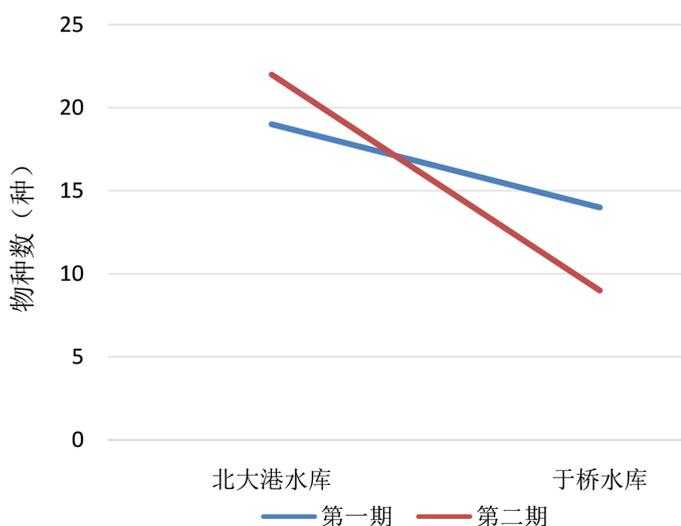


Figure 5. Characterization of species richness of benthic fauna in various reservoirs

图 5. 各水库底栖动物的物种丰富度特征

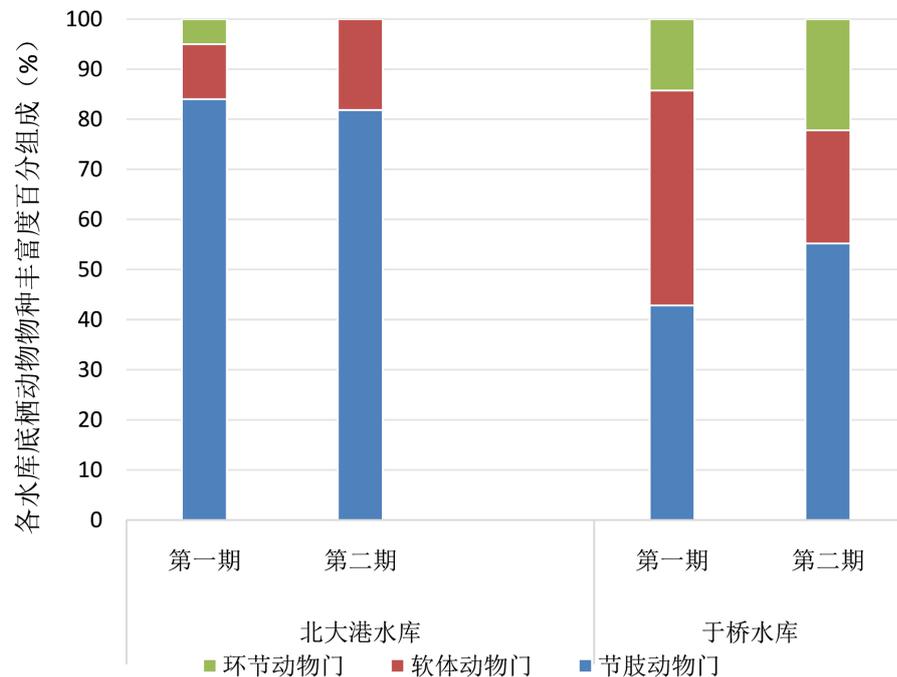


Figure 6. Spatial characteristics of the percent composition of benthic species richness in each reservoir
图 6. 各水库底栖动物物种丰富度百分组成的空间特征

3.2. 各水域优势种

底栖动物优势种统计情况见表 1。河流部分底栖动物优势种及优势度的结果显示，第一期中，摇蚊是各水系中均出现的优势种。蓟运河水系优势种为中国田园螺、摇蚊；永定河水系优势种为摇蚊、中国田园螺、石田螺属物种；海河水系优势种为中国圆田螺、白脊藤壶、摇蚊、铜锈环棱螺；独流减河水系优势种为摇蚊、白脊藤壶；南四河水系优势种为摇蚊、沙蚕。第二期中，蓟运河水系优势种为中国圆田螺、铜锈环棱螺、耳萝卜螺；永定河水系优势种为中国圆田螺、摇蚊、铜锈环棱螺；海河水系优势种为中国圆田螺、铜锈环棱螺、摇蚊；独流减河水系优势种为摇蚊、中国圆田螺、耳萝卜螺；南四河水系优势种为摇蚊。

不同时期北大港水库底栖动物优势种有明显的交叉和演替，中华齿米虾和摇蚊是两个时期均存在的优势种。北大港水库第一期优势种为中华齿米虾、摇蚊、环足摇蚊、六纹尾鳃，第二期优势种为中华齿米虾、中华小长臂虾、椭圆萝卜螺、摇蚊。北大港水库两期的优势种的种类数以及优势度接近。不同时期于桥水库底栖动物优势种有明显的交叉和演替，红裸须摇蚊、纹沼螺是两个时期均存在的优势种。于桥水库第一期优势种为纹沼螺、狭萝卜螺，第二期优势种主要是环节动物门、软体动物门和节肢动物门的种类。两次结果比较，于桥水库第一期优势种种类较多但优势度高。

3.3. 底栖动物的平均密度

底栖动物各类群平均密度见图 7。第一期永定新河水系底栖动物平均密度最大，为 786 ind/m²，于桥水库水系底栖动物平均密度最小，为 33 ind/m²。第二期永定新河水系底栖动物平均密度最大，为 290 ind/m²，于桥水库水系底栖动物平均密度最小，为 16 ind/m²。第一期于桥水库底栖动物平均密度最大，为 192 ind/m²，北大港水库底栖动物平均密度最小，为 95 ind/m²；第二期于桥水库底栖动物平均密度最大，为 611 ind/m²，北大港水库底栖动物平均密度最小，为 149 ind/m²。

Table 1. Statistical analysis of dominant benthic animal species
表 1. 底栖动物优势种统计情况

水系	优势种	
	第一期	第二期
蓟运河水系	中国圆田螺(<i>Cipangopaludina chinensis</i>)	铜锈环棱螺(<i>Bellamyia aeruginosa</i>)
	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	耳萝卜螺(<i>Radix auricularia</i>) 扁玉螺(<i>Neverita didyma</i>)
永定新河水系	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	中国圆田螺(<i>Cipangopaludina chinensis</i>)
	中国圆田螺(<i>Cipangopaludina chinensis</i>)	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)
	铜锈环棱螺(<i>Bellamyia aeruginosa</i>)	铜锈环棱螺(<i>Bellamyia aeruginosa</i>) 耳萝卜螺(<i>Radix auricularia</i>)
海河水系	白脊藤壶(<i>Balanus albicostatus</i>)	中国圆田螺(<i>Cipangopaludina chinensis</i>)
	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	铜锈环棱螺(<i>Bellamyia aeruginosa</i>)
	铜锈环棱螺(<i>Bellamyia aeruginosa</i>)	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)
独流减河水系	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)
	白脊藤壶(<i>Balanus albicostatus</i>)	中国圆田螺(<i>Cipangopaludina chinensis</i>) 耳萝卜螺
南四河水系	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)
	沙蚕(<i>Nereis</i>)	
北大港水库	中华齿米虾(<i>Neocaridina denticulata sinensis</i>)	中华齿米虾(<i>Neocaridina denticulata sinensis</i>)
	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)	中华小长臂虾(<i>Palaemonetes sinensis</i>)
	环足摇蚊属(<i>Cricotopus</i>)	椭圆萝卜螺(<i>Radix swinhoei</i>)
	六纹尾鳃(<i>Cercion sexlineatum</i>)	摇蚊(<i>Chironomidae</i>)
	纹沼螺(<i>Parafossarulus striatulus</i>)	红裸须摇蚊(<i>Prosilocerus akamusi</i>)
于桥水库	狭萝卜螺(<i>Radix lagotis</i>)	纹沼螺(<i>Parafossarulus striatulus</i>)
	红裸须摇蚊(<i>Prosilocerus akamusi</i>)	霍甫水丝蚓(<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>)
	摇蚊属(<i>Chironomidae</i>)	

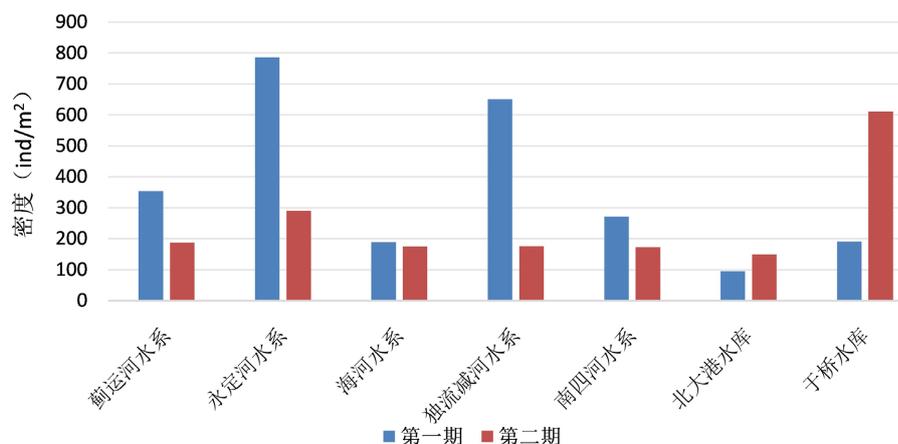


Figure 7. Spatial characteristics of mean benthic density by water regime
图 7. 底栖动物平均密度按水系排列的空间特征

底栖动物平均密度组成结果显示见表 2。蓟运河水系第一期软体动物门平均密度最高，第二期软体动物门平均密度最高；永定新河水系第一期节肢动物门平均密度最高，第二期中软体动物门平均密度最高；海河水系第一期软体动物门平均密度最高，第二期软体动物门平均密度最高；独流减河水系第一期节肢动物门平均密度最高，第二期软体动物门平均密度最高；南四河水系第一期节肢动物门平均密度最高，第二期节肢动物门平均密度最高。北大港水库第一期中节肢动物门密度最高，第二期中软体动物门密度最高；于桥水库第一期中软体动物门密度最高，第二期中环节动物门密度最高。

Table 2. Density table of benthic fauna by water regime (ind/m²)

表 2. 按水系排列的底栖动物密度表(ind/m²)

	蓟运河水系		永定河水系		海河水系		独流减河水系		南四河水系		北大港水库		于桥水库	
	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期
节肢动物门	305		831	31	185	27	1179	105	189	864	90	39	41	98
软体动物门	557	219	756	259	331	187	136	96			4	110	145	111
环节动物门									83				5	401
合计	862	219	1587	290	516	214	1315	201	272	864	94	149	191	610

3.4. 底栖动物的平均生物量

底栖动物平均生物量结果河流部分见图 8、水库部分图 9，第一期永定新河水系的平均生物量最大，最大值为 1328.74 g/m²，南四河水系平均生物量最小，最小值为 2.60 g/m²。第二期永定新河水系的平均生物量最大，最大值为 504.43 g/m²，南四河水系平均生物量最小，最小值为 1.90 g/m²。第一期于桥水库的平均生物量较大，为 19.60 g/m²；北大港水库的平均生物量较小，为 15.01 g/m²。第二期于桥水库的平均生物量较大，为 19.01 g/m²；北大港水库平均生物量较小，为 4.59 g/m²。

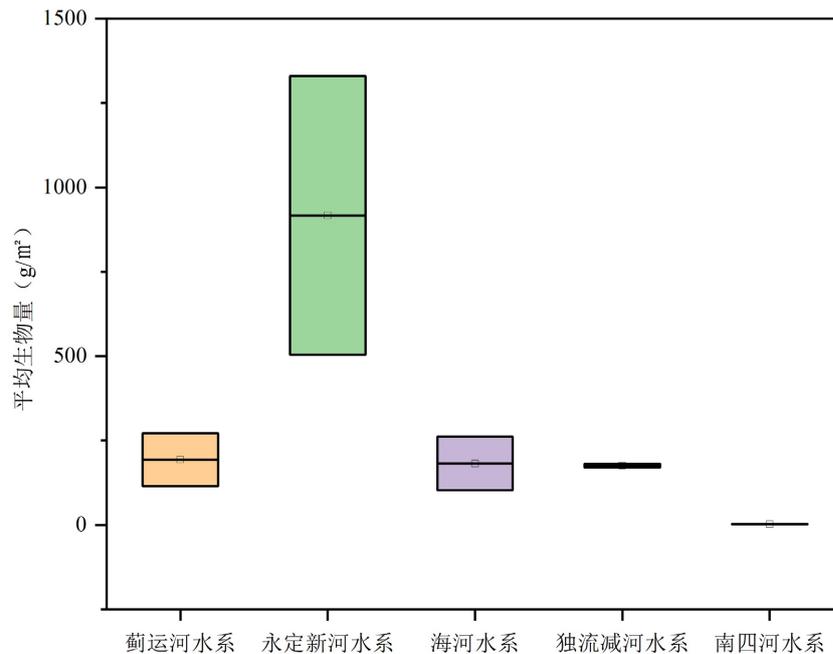


Figure 8. Spatial characteristics of the average benthic biomass (g/m²) of benthic fauna in various river systems

图 8. 河流各水系底栖动物平均生物量(g/m²)的空间特征

底栖动物生物量百分组成结果显示见表 3，底栖动物生物量百分组成结果显示，蓟运河水系中，第一期软体动物门生物量所占百分比最大，其次为节肢动物门；第二期软体动物门生物量所占百分比最大。永定新河水系中，第一期软体动物门生物量所占百分比最大，其次为节肢动物门；第二期软体动物门生物量所占百分比最大。海河水系中，两期软体动物门生物量所占百分比最大，其次为节肢动物门。独流减河水系中，第一期节肢动物门生物量所占百分比最大，其次为软体动物门；第二期软体动物门生物量所占百分比最大，其次为节肢动物门。南四河水系中，第一期节肢动物门生物量所占百分比最大，其次为环节动物门；第二期节肢动物门生物量所占百分比最大。北大港水库两期节肢动物门生物量所占百分比最大，软体动物门占比最小。于桥水库两期软体动物门生物量所占百分比最大，环节动物门占比最小。

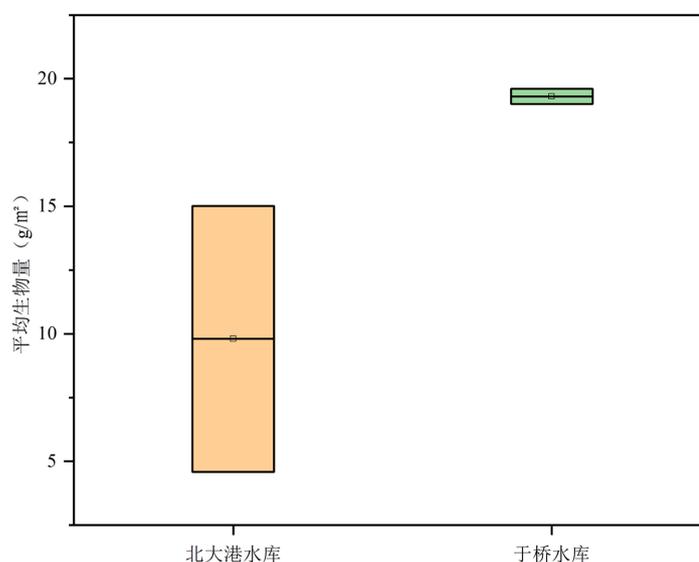


Figure 9. Spatial characteristics of average benthic biomass (g/m^2) of benthic fauna in each reservoir
图 9. 各水库底栖动物平均生物量(g/m^2)的空间特征

Table 3. Percentage of benthic biomass in each water system

表 3. 各水系底栖动物生物量百分比(%)

类群	蓟运河水系		永定河水系		海河水系		独流减河水系		南四河水系		北大港水库		于桥水库	
	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期	一期	二期
节肢动物门	6	0	1	0	23	1	72	1	51	100	99	98.04	2.5	7.1
软体动物门	94	100	99	100	77	99	28	99	0	0	1	1.96	97.4	91.69
环节动物门	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0.1	1.21

3.5. 底栖动物生物多样性指数

本次调查主要从 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)、Margalef 丰富度(d)指数三个方面对环境做出评价，结果显示见表 4。

河流部分，对于 Shannon-Wiener 多样性指数，蓟运河水系中，第一期水系平均值为 0.67，第二期水系平均值为 0.45；永定新河水系中，第一期水系平均值为 0.54，第二期水系平均值为 0.22；海河水系中，第一期水系平均值为 0.44，第二期水系平均值为 0.29；独流减河水系中，第一期水系平均值为 0.33，第二期水系平均值为 0.27；南四河水系中，第一期和第二期多样性指数均为 0.00。总体来看，两期数据对比 Shannon-Wiener 多样性指数二期比一期普遍降低。

Table 4. Benthic diversity index
表 4. 底栖动物多样性指数

水系	点位	Shannon-Wiener 多样性指数(H')		Pielou 均匀度指数(J)		Margalef 丰富度指数(d)	
		第一期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期
蓟运河水系	JY01	0.64	0.68	0.92	0.99	0.91	0.51
	JY02	0.58	0	0.84	0	0.29	0
	JY03	0.85	0.42	0.61	0.61	0.86	0.33
	JY04	1.15	0.67	0.83	0.97	0.93	0.43
	JY05	0.38	0.33	0.55	0.47	0.2	0.43
	JY06	0.69	0.58	0.62	0.83	0.43	0.34
	JY07	0.43	—	0.62	—	0.39	—
	均值	0.67	0.45	0.71	0.64	0.57	0.34
永定新河水系	YD01	0.25	0	0.35	0	0.37	0
	YD02	0.29	0	0.41	0	0.31	0
	YD03	0.79	0.69	0.72	0.99	0.57	0.46
	YD04	0	0	0	0	0	0
	YD05	0.69	0	0.99	0	0.26	0
	YD06	0.69	0.65	0.43	0.59	0.75	0.63
	YD07	0.38	0	0.55	0	0.22	0
	YD08	0.2	0	0.18	0	0.52	0
	YD09	0.78	0.25	0.71	0.36	0.39	0.23
	YD10	0.85	0	0.53	0	1.06	0
	YD11	0.35	0.86	0.32	0.78	0.44	0.5
	YD12	1.01	0	0.63	0	0.77	0
	YD13	0	0	0	0	0	0
	YD14	1.34	0.68	0.97	0.99	0.93	0.51
均值	0.54	0.22	0.49	0.27	0.47	0.17	
海河水系	HH01	1.37	1.07	0.77	0.97	1.12	0.55
	HH02	0.5	0.29	0.36	0.41	0.81	0.28
	HH03	0	0.38	0	0.54	0	0.48
	HH04	0	0	0	0	0	0
	HH05	—	—	—	—	—	—
	HH06	—	—	—	—	—	—
	HH07	—	0	—	0	—	0
	HH08	0.69	0	1	0	1.44	0
	HH09	0.34	0.85	0.49	0.77	0.34	0.91
	HH10	0.61	0	0.87	0	0.23	0
	HH11	0	0	0	0	0	0
均值	0.44	0.29	0.44	0.3	0.49	0.25	

续表

独流减河水系	DL01	0.99	0.69	0.9	1	0.55	0.29
	DL02	0.21	0	0.15	0	0.56	0
	DL03	0.46	0.68	0.42	0.98	0.47	0.4
	DL04	0.62	0	0.9	0	0.23	0
	DL05	—	—	—	—	—	—
	DL06	0	0	0	0	0	0
	DL07	0	0.5	0	0.72	0	0.37
	DL08	0	0	0	0	0	0
	均值	0.33	0.27	0.34	0.39	0.26	0.15
南四河水系	NS01	0	0	0	0	0	0
	NS02	—	—	—	—	—	—
	NS03	0	—	0	—	0	—
	NS04	—	—	—	—	—	—
	NS05	0	—	0	—	0	—
	均值	0	0	0	0	0	0
北大港水库	DL09	0.94	1.59	0.36	0.68	1.03	0.84
	DL10	2.16	2.04	0.65	0.73	1.79	1.49
	DL11	2.42	2.77	0.94	0.8	1.13	2.19
	DL12	1.49	1.86	0.57	0.72	1.29	1.24
	DL13	1.69	0.87	0.66	0.31	1.22	0.99
	均值	1.74	1.83	0.64	0.65	1.29	1.35
于桥水库	YQ01	1.46	0	0.92	—	0.43	0
	YQ02	—	—	—	—	—	—
	YQ03	0.92	0.72	0.92	0.72	0.24	0.22
	YQ04	0	—	—	—	0	—
	YQ05	1.28	1.4	0.64	0.88	0.51	0.35
	YQ06	1.14	1.21	0.57	0.6	0.51	0.55
	YQ07	1.37	0.92	0.86	0.92	0.43	0.24
	YQ08	1.58	1.4	1	0.88	0.49	0.35
	YQ09	1	0	1	—	0.27	0
	YQ10	1.42	1.88	0.61	0.73	0.62	0.75
	YQ11	2.43	0.68	0.81	0.43	1.16	0.23
	YQ12	2.24	—	0.96	—	0.81	—
均值	1.35	0.91	0.83	0.74	0.5	0.3	

对于 Pielou 均匀度指数, 蓟运河水系中, 第一期水系平均值为 0.71, 第二期水系平均值为 0.64; 永定新河水系中, 第一期水系平均值为 0.49, 第二期水系平均值为 0.27; 海河水系中, 第一期水系平均值为 0.44, 第二期水系平均值为 0.30; 独流减河水系中, 第一期水系平均值为 0.34, 第二期水系平均值为 0.39; 南四河水系中, 第一期和第二期均匀度指数均为 0.00。总体来看, 两期数据对比 Pielou 均匀度指数二期比一期普遍降低。

对于 Margalef 丰富度指数, 蓟运河水系中, 第一期水系平均值为 0.57, 第二期水系平均值为 0.34; 永定新河水系中, 第一期水系平均值为 0.47, 第二期水系平均值为 0.17; 海河水系中, 第一期水系平均值为 0.49, 第二期水系平均值为 0.25; 独流减河水系中, 第一期水系平均值为 0.26, 第二期水系平均值为 0.15; 南四河水系中, 第一期和第二期丰富度指数均为 0.00。总体来看, 两期数据对比 Margalef 丰富度指数二期比一期普遍降低。

4. 结论及讨论

4.1. 天津市大型底栖动物群落结构时空变化

本次调查发现的大型底栖动物种类数与陈琳琳等[17]、韩洁等[18]的调查结果相近, 但优势物种存在一定差别, 这主要与调查点位有关。本次调查在河流部分, 摇蚊是各水系中普遍存在的优势种。北大港水库和于桥水库的底栖动物优势种在两个时期有明显的交叉和演替, 中华齿米虾和摇蚊是北大港水库两个时期均存在的优势种, 而于桥水库的优势种为纹沼螺和红裸须摇蚊。

第一期永定新河水系底栖动物平均密度最高, 为 786 ind/m^2 , 而于桥水库水系最低, 为 33 ind/m^2 。第二期永定新河水系底栖动物平均密度最高, 为 290 ind/m^2 , 于桥水库水系最低, 为 16 ind/m^2 。第一期于桥水库底栖动物平均密度最高, 为 191.67 ind/m^2 , 北大港水库最低, 为 95.33 ind/m^2 ; 第二期于桥水库最高, 为 611.33 ind/m^2 , 北大港水库最低, 为 149.78 ind/m^2 。蓟运河水系和海河水系在两个时期均以软体动物门平均密度最高, 而独流减河和南四河水系则在两个时期均以节肢动物门平均密度最高。北大港水库第一期以节肢动物门密度最高, 第二期以软体动物门密度最高; 于桥水库第一期以软体动物门密度最高, 第二期以环节动物门密度最高。

底栖动物平均生物量在不同水系和水库中有所差异。通过箱型图分析, 永定河水系变化幅度较大, 均值较高, 平均生物量最大, 第一期为 1328.74 g/m^2 , 第二期为 504.43 g/m^2 。南四河水系变化幅度小, 生物量小, 可能与其处于咸淡水交界处有关。于桥水库第一期的平均生物量为 19.60 g/m^2 , 第二期为 19.01 g/m^2 ; 北大港水库第一期为 15.01 g/m^2 , 第二期为 4.59 g/m^2 。

底栖动物生物量百分组成在不同水系和水库中也有所不同。蓟运河水系中, 软体动物门生物量占比最大。永定新河水系中, 软体动物门生物量占比最大。海河水系中, 软体动物门生物量占比最大。独流减河水系中, 节肢动物门生物量占比最大。南四河水系中, 节肢动物门生物量占比最大。北大港水库和于桥水库中, 节肢动物门生物量占比最大。

大型底栖动物群落结构的季节性变化表现为: 底栖动物密度高峰出现在春、冬两季, 生物量高峰出现在冬季, 这与马秀娟等[19]对于桥水库的周年调查的结果一致。其中, 节肢动物的密度和生物量均为秋季高、夏季低; 软体动物的密度和生物量均为夏季高、秋季低, 环节动物的密度和生物量均为春季高、夏季低, 这种季节性变化主要原因之一在于夏、秋季由于温度升高, 鱼类的摄食强度提升, 底层鱼类的捕食使底栖动物的密度和生物量明显降低[20][21]。另一方面, 摇蚊幼虫的生活习性也是此趋势产生的重要原因, 春、冬季是摇蚊幼虫繁殖的重要时期, 夏、秋季摇蚊羽化为成虫离开水体。

4.2. 生物学评价指标

本研究利用底栖动物对天津市重点河湖进行水质评价所采用的生物指数中, 优势度指数、Shannon-Weiner 指数、均匀度指数和丰富度指数会随着底栖动物种类组成变化出现一定的波动性, 这和马秀娟等[19]研究不同污染程度湖泊底栖动物多样性得出的结果一致。所以这 3 种生物指数作为天津市重点河湖水质评价有一定局限性, 不能作为唯一标准, 但可作为参考。

在通常情况下, 清洁的水域环境中生物种类数较多, 生境恶化或水体受到污染都会使敏感生物被淘汰, 少数物种数量大增, 通过物种多样性指数(H')可在一定程度上反映出环境质量的变化[13]。蔡立哲等[22]提出多样性指数 5 级污染评价法: 无底栖动物为严重污染, H' 值 < 1 为重度污染, $1 \leq H' < 2$ 为中度污染, $2 \leq H' < 3$ 为轻度污染, $H' \geq 3$ 为清洁。本次调查中仅第一期 JY04、YD12、YD14、HH01 和第二期 HH01 的 H' 值大于 1, 其他点位 H' 值均小于 1。各水域水质环境总体为中污染 - 重污染, Shannon-Wiener 多样性指数分析重度污染点位居多。不同评价方式在部分调查点的评价结果存在一定程度差异, 产生差异的原因可能是不同评价方式所依据的判断标准不同, 需根据站位物种组成及不同方式判断标准, 选取合适的评价结果[23] [24]。

天津市作为水生生态系统相对丰富的北方大型城市, 未来从时间尺度开展城市化发展过程中对大型底栖动物群落影响的机理研究是必不可少[25]。底栖动物是河湖生物资源的重要组成部分, 在河湖物质循环和能量流动中起着重要作用, 其群落结构特征反映了水体生态系统的健康状况和水质质量。因此, 应坚持对底栖动物的监测, 完善利用底栖动物进行水质评价的体系, 为天津市重点河湖水环境保护提供可靠依据。大型底栖动物长期生活在水体的底部, 底质的结构、水体颗粒物的大小、水体中有机质的含量以及水体的稳定性对底栖动物群落结构都会产生一定的影响[26]。由于底栖动物对环境变化反应敏感, 当水受到污染时, 底栖动物群落结构及多样性将会发生改变, 同时, 不同种类底栖动物对环境条件的适应性及对污染等不利因素的耐受力和敏感程度不同[27]。本次调查河湖大型底栖动物多样性综合指数均偏低, 各点位均未出现代表优良水质的敏感类群蜉蝣目、襁翅目、毛翅目昆虫, 采集到的大型底栖动物多为敏感值较低的耐污类群, 由大型底栖动物反映出的河湖水环境状况仍不容乐观。

基金项目

2021 年天津市生态环境保护专项资金项目。

参考文献

- [1] 贾海波, 曹柳燕, 柴小平, 等. 2016-2019 年夏季长江口海域大型底栖动物群落结构的变化及其原因分析[J]. 海洋环境科学, 2022, 41(2): 180-186.
- [2] Liu, Y., Hu, Y., Hu, Y., Gao, Y. and Liu, Z. (2021) Water Quality Characteristics and Assessment of Yongding New River by Improved Comprehensive Water Quality Identification Index Based on Game Theory. *Journal of Environmental Sciences*, **104**, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.10.021>
- [3] 渠晓东, 陈军, 陈皓阳, 等. 大型底栖动物快速生物评价指数在城市河流生态评估中的应用[J]. 水生态学杂志, 2021, 42(3): 14-22.
- [4] 张宇航, 张敏, 彭文启, 等. 永定河流域大型底栖动物群落分布格局及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3880-3888.
- [5] 王强, 庞旭, 王志坚, 等. 城市化对河流大型底栖动物群落的影响研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 6275-6288.
- [6] 慕林青, 张海萍, 赵树旗, 等. 永定河底栖动物生物完整性指数构建与健康评价[J]. 环境科学研究, 2018, 31(4): 697-707.
- [7] 盛萧, 毛建忠, 曹然, 等. 基于 5 种大型底栖动物评价指数的河流生态健康评价[J]. 水资源保护, 2017, 33(1): 75-82.
- [8] 李晓静, 周政权, 陈琳琳, 等. 山东烟台大沽夹河河口及邻近海域大型底栖动物群落特征[J]. 生物多样性, 2016, 24(2): 157-165.
- [9] 赵瑞, 高欣, 丁森, 等. 辽河流域大型底栖动物耐污值[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4797-4809.
- [10] 朱文俊, 刘宪斌, 李厦, 等. 永定新河河口周围水域环境质量现状评价[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(5): 2243-2245.
- [11] 王艳杰, 李法云, 范志平, 等. 大型底栖动物在水生态系统健康评价中的应用[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(5): 90-96.
- [12] 王晨, 刘宪斌, 刘占广, 等. 2011 年 3 月永定新河下游水质污染评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 13059-13061.

- [13] Dalia Susan, V., Satheesh Kumar, P. and Pillai, N.G.K. (2014) Biodiversity and Seasonal Variation of Benthic Macrofauna in Minicoy Island, Lakshadweep, India. *Acta Oceanologica Sinica*, **33**, 58-73. <https://doi.org/10.1007/s13131-014-0541-3>
- [14] 张文亮. 天津海岸高沙岭潮间带底栖动物群落研究[C]//中国农业生态环境保护协会, 农业部环境保护科研监测所. 第三届全国农业环境科学学术研讨会论文集. 2009: 1046-1050.
- [15] 张青田, 王新华, 房恩军, 等. 天津近海小型底栖动物丰度研究[J]. 海洋通报, 2009, 28(2): 57-64.
- [16] 许维, 梁舒汀, 黄艳凤, 等. 基于大型底栖动物的大清河水系水体健康状况评价[J]. 湿地科学, 2020, 18(5): 546-554.
- [17] 陈琳琳, 王全超, 李晓静, 等. 渤海南部海域大型底栖动物群落演变特征及原因探讨[J]. 中国科学: 生命科学, 2016, 46(9): 1121-1134.
- [18] 韩洁, 张志南, 于子山, 等. 渤海中、南部大型底栖动物物种多样性的研究[J]. 生物多样性, 2003, 11(1): 20-27.
- [19] 马秀娟, 沈建忠, 孙金辉, 等. 天津于桥水库大型底栖动物群落结构及其水质生物学评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2356-2364.
- [20] 彭建华, 刘家寿, 熊邦喜, 等. 湖北浮桥水库底栖动物的群落结构及生物多样性[J]. 湖泊科学, 2002, 14(1): 90-96.
- [21] Vizer, A.M. (2011) Zoobenthos of the Drainage Zone of Novosibirsk Reservoir. *Contemporary Problems of Ecology*, **4**, 50-55. <https://doi.org/10.1134/s1995425511010085>
- [22] 蔡立哲, 马丽, 高阳, 等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2002, 41(5): 641-646.
- [23] 卢鑫, 梁婷, 徐菁, 等. 湖南大通湖大型底栖动物群落结构特征与水质评价[J]. 生态科学, 2023, 42(3): 8-16.
- [24] 温梦杰, 邱龙辉, 贾璐歌, 等. 辽宁 5 座水源地水库底栖动物群落结构特征比较[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(2): 175-187.
- [25] 耿世伟, 陈晨, 陈安, 等. 天津淡水生态系统大型底栖动物群落结构特征研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(7): 156-160.
- [26] 尚东维, 王庆泉, 黄小霞, 黄佳欣, 李家鑫, 孙金辉. 北大港湿地保护区底栖生物群落调查[J]. 河北渔业, 2018(9): 29-32.
- [27] 胡涛. 北京密云水库大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(4): 79-88.