

Community Structure of Metazooplankton in Naoli River of Dajiahe Nature Reserve

Shang Li, Yihan Chai, Tianyi Yu, Yuxi Zhao, Di Liu, Xu Sun, Hongxian Yu*

Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang
Email: *chaiqingyu@126.com

Received: Aug. 24th, 2019; accepted: Sep. 9th, 2019; published: Sep. 16th, 2019

Abstract

In order to study the relationship between community structure and environmental factors of metazooplankton in Naoli River of Dajiahe nature reserve, samples were collected from 6 sampling sites in May, July and October, 2018. 63 species of metazooplankton were identified, of which 42 species were rotifers, accounting for 67%; 10 species were cladocera, accounting for 16%, and 11 species were copepods, accounting for 17%. The abundance and biomass of metazooplankton had significant seasonal differences, which were the highest in summer and the lowest in spring. The dominant species changed obviously in each season, cladocera and copepods dominated in spring, rotifers and copepods dominated in summer and autumn. Redundancy analysis (RDA) was used to explore the relationship between dominant species of metazooplankton and environmental factors in different seasons. The results showed that environmental factors affecting metazooplankton community were different in different seasons. pH was the main environmental factor affecting the change of metazooplankton community.

Keywords

Naoli River, Metazooplankton, Community Structure, Environmental Factors

大佳河保护区挠力河流域后生浮游动物群落结构特征

李 上, 柴一涵, 于天翼, 赵予熙, 柳 迪, 孙 旭, 于洪贤*

东北林业大学, 哈尔滨
Email: *chaiqingyu@126.com

收稿日期: 2019年8月24日; 录用日期: 2019年9月9日; 发布日期: 2019年9月16日

*通讯作者。

文章引用: 李上, 柴一涵, 于天翼, 赵予熙, 柳迪, 孙旭, 于洪贤. 大佳河保护区挠力河流域后生浮游动物群落结构特征[J]. 世界生态学, 2019, 8(4): 259-269. DOI: 10.12677/ije.2019.84035

摘要

为研究大佳河保护区挠力河流域后生浮游动物的群落结构特征与环境因子间的关系,分别于2018年5月,7月,10月采集了大佳河保护区内挠力河流域的6个采样点的样品,共鉴定出后生浮游动物63种,其中轮虫42种,占总物种数的67%;枝角类10种,占总物种数的16%;桡足类11种,占总物种数的17%。后生浮游动物的丰度和生物量季节差异显著,均为夏季最高,春季最低。各季节优势种更替明显,春季枝角类和桡足类占主要优势地位,夏季和秋季以轮虫和桡足类占主要优势地位,运用冗余分析(RDA)探究不同季节后生浮游动物优势种与环境因子的关系,结果表明,不同季节影响后生浮游动物群落的环境因子有所不同,pH是影响后生浮游动物群落变化的主要环境因子。

关键词

挠力河, 后生浮游动物, 群落结构, 环境因子

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

后生浮游动物作为水生态系统中的次级生产者,在河流生态系统食物网中起着至关重要的作用,既能为鱼类提供食物来源,又能牧食浮游植物,影响其种类和数量[1]。浮游动物具有世代周期短、被动漂流和对环境变化敏感等特点,常被作为环境监测的指示生物,许多研究利用浮游动物的群落变化反映环境变化[2]。因此研究大佳河保护区挠力河流域后生浮游动物的群落结构与水环境因子间的关系,对了解挠力河水环境质量具有重要意义。

2. 材料与方法

2.1. 研究地概况

大佳河省级自然保护区位于黑龙江省饶河县境内,总面积 72,604 公顷,地处挠力河与乌苏里江交汇处,北临挠力河,东靠乌苏里江。因其两条河流周边的生态环境和地理位置不同,将保护区分为两个部分,即北部湿地沼泽区和东部山地森林区[3]。挠力河位于大佳河自然保护区的北部,是乌苏里江的一级支流,水系自西南流向东北[4]。挠力河流域属于温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年均温 3.5℃,年均降水量约为 506 mm,年内降水分布不均匀,主要集中在 6~9 月[5]。

2.2. 采样点设定

根据大佳河保护区内挠力河流经的周边环境特点共设置 6 个采样点,具体名称和编号分别为:小佳河镇北大桥(S1)、桦林村北姜子家鱼池西(S2)、桦林村老等窝(S3)、菜嘴子村(S4)、西丰镇河北村西大桥(S5)和莲花村(S6),见图 1。分别于 2018 年春季(5 月)、夏季(7 月)、秋季(10 月)进行三次水样及浮游动物样品的采集。

2.3. 样品采集

2.3.1. 浮游动物样品的采集、处理和鉴定

轮虫用采水器采集 1 L 水样,加入 10 ml Lugol 试剂进行固定,静置 48 h 后,虹吸至 30 ml。计数时

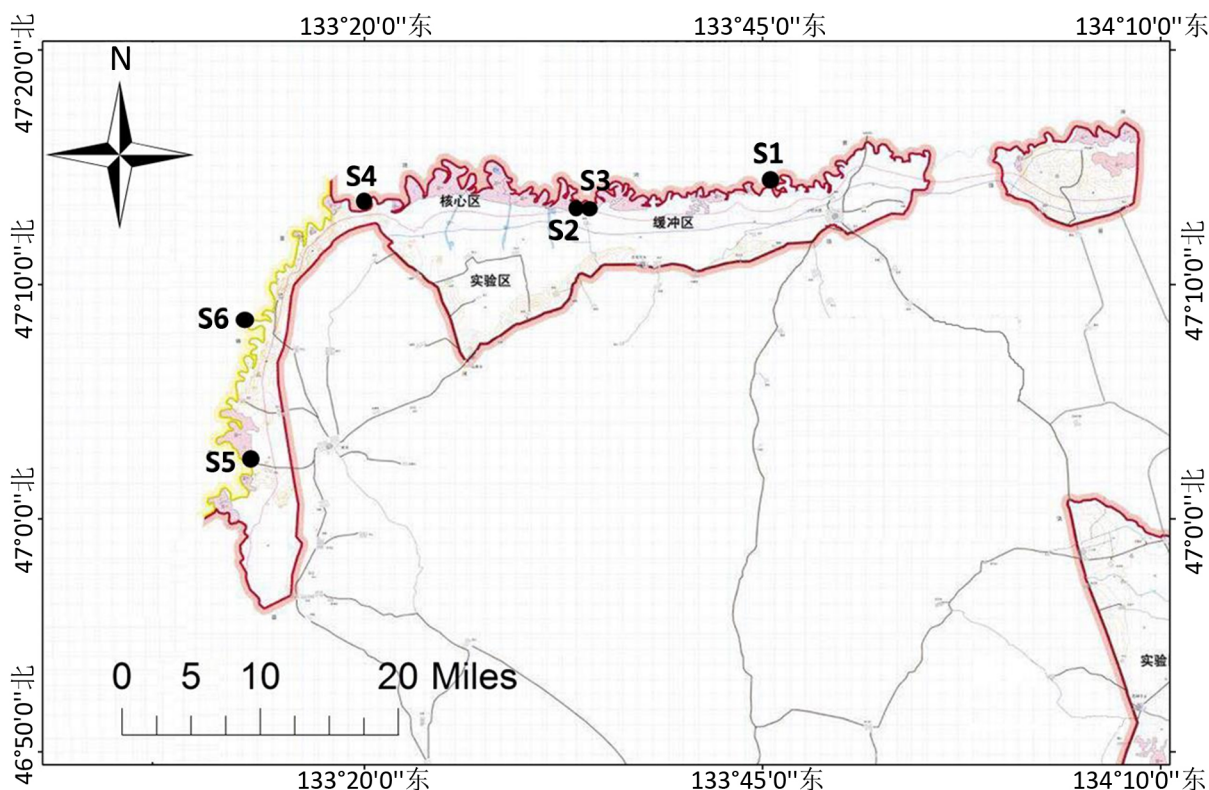


Figure 1. The sampling sites in Naoli River

图 1. 挠力河流域采样点分布

吸取 1 ml 置于浮游动物计数框内全片计数。枝角类和桡足类用 5 L 采水器，采 4 次，共采取 20 L 水样，用 25#浮游生物网过滤，加入 5% 的甲醛溶液进行固定。镜检时，将样品摇匀，吸取 1 ml 置于浮游动物计数框内全片计数。轮虫鉴定依据《中国淡水轮虫志》[6]；枝角类鉴定依据《中国动物志》(淡水枝角类) [7]；桡足类鉴定依据《中国动物志》(淡水桡足类) [8]。

2.3.2. 水体理化指标的测定

水温(WT)、电导率(Cond)、pH 值、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}_3^-$)、硝氮(NO_3^-)、氯离子(Cl^-)和浊度(Tur)使用 YSI-6600 便携式多功能水质分析仪现场测定，透明度(SD)用塞奇氏盘测得。另采集 1 L 水样带回实验室，依据《水和废水监测分析方法》[9]对总氮(TN)、总磷(TP)及五日生物需氧量(BOD_5)等水化学指标进行测定。

2.4. 数据处理

2.4.1. 优势度分析

后生浮游动物优势度的计算公式[10]

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

式中， n_i 为第 i 种浮游动物的个体数， f_i 为第 i 种出现的频率(%)， N 为所有物种的总个数，取优势度 $Y > 0.02$ 的种为优势种。

2.4.2. 数据处理方法

运用 CANOCO for Windows 4.5 软件分析后生浮游动物群落结构与环境因子的关系，分别将春季、夏季、秋季除 PH 外的所有数据进行 $\lg(x + 1)$ 的处理，使之趋于正态分布，首先进行去趋势对应分析(DCA)，

DCA 结果显示三个季节排序轴最长梯度长度值均小于 4，因此选用冗余分析(RDA)对后生浮游动物群落结构具有影响的环境因子进行分析。

3. 结果与分析

3.1. 大佳河保护区挠力河流域水环境特征

大佳河保护区内挠力河流域水体理化指标如表 1 所示，各季节理化因子的平均值呈现出季节性差异。水温、浊度和氯离子浓度夏季最高，透明度、pH 值、生物需氧量、铵态氮、硝酸盐和总氮含量秋季最高，水温和氯离子浓度秋季最低。春季各理化因子指标平均值均介于夏秋两季之间，氯离子浓度和浊度三季差异显著，pH 值、电导率和总磷含量季节差异不大。

Table 1. Seasonal physicochemical factors of Naoli River in Dajiahe reserve

表 1. 大佳河保护区挠力河流域各季节理化因子

环境因子	春季(5月)	夏季(7月)	秋季(10月)
水温(°C)	22.03 ± 1.22	27.54 ± 0.71	12.70 ± 0.48
透明度(cm)	24.50 ± 12.37	23.17 ± 13.08	39.33 ± 7.34
PH 值	7.53 ± 0.48	8.35 ± 0.48	8.59 ± 0.19
电导率(ms/m)	0.21 ± 0.07	0.18 ± 0.05	0.10 ± 0.03
氯离子(mg/L)	100.36 ± 47.41	176.45 ± 68.53	2.29 ± 2.36
铵态氮(mg/L)	0.60 ± 0.46	0.31 ± 0.10	1.91 ± 1.45
硝酸盐(mg/L)	0.23 ± 0.14	0.11 ± 0.04	0.43 ± 0.27
浊度(NTU)	73.40 ± 41.11	105.52 ± 125.37	11.13 ± 5.56
生物需氧量(mg/L)	3.48 ± 2.60	1.73 ± 1.12	4.30 ± 1.39
总氮(mg/L)	6.39 ± 1.20	9.45 ± 1.27	11.79 ± 2.07
总磷(mg/L)	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01

注：表中数据为平均值 ± 标准差。

3.2. 后生浮游动物群落结构

挠力河流域共鉴定出后生浮游动物 63 种，其中轮虫 42 种，占总物种数的 67%，枝角类 10 种，占总物种数的 16%，桡足类 11 种，占总物种数的 17% (表 2)。从季节上看，秋季(35 种) > 夏季(29 种) > 春季(15 种)，三个季节出现的物种差异较大。春季优势种为短尾秀体蚤、隆线蚤、长刺蚤、近邻剑水蚤和无节幼体；夏季优势种为针簇多肢轮虫、长三肢轮虫、近邻剑水蚤、爪哇小剑水蚤和无节幼体；秋季优势种为螺形龟甲轮虫、曲腿龟甲轮虫、针簇多肢轮虫和无节幼体。

Table 2. Species and dominance of metazooplankton

表 2. 后生浮游动物种类及优势度

种类	拉丁名	优势度		
		春季	夏季	秋季
轮虫	<i>Rotifera</i>			
圆瓣腔轮虫	<i>Lecane niotthis</i>	0.000557	—	—
囊形单趾轮虫	<i>Monostyla bulla</i>	0.003344	—	—

Continued

针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>	0.000557	0.069124	0.031083
双尖沟状狭甲轮虫	<i>Colurella uncinaata forma bicuspidata</i>	—	0.000768	0.000536
钩状狭甲轮虫	<i>Colurella uncinata</i>	—	0.000192	—
壶状臂尾轮虫	<i>Brachionus urceus</i>	—	0.000768	—
角突臂尾轮虫	<i>Brachionus angularis</i>	—	0.000192	0.001072
萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	—	0.00384	—
裂足臂尾轮虫	<i>Brachionus diversicornis</i>	—	0.008641	—
方形臂尾轮虫	<i>Brachionus quadridentatus</i>	—	0.004992	—
浦达臂尾轮虫	<i>Brachionus budapestiensis</i>	—	0.014209	—
矩形龟甲轮虫	<i>Keratella quadrata</i>	—	0.000768	—
蹄形腔轮虫	<i>Lecane ungulata</i>	—	0.002304	—
暗小异尾轮虫	<i>Trichocerca pusilla</i>	—	0.002304	—
长刺异尾轮虫	<i>Trichocerca longiseta</i>	—	0.010753	—
冠饰异尾轮虫	<i>Trichocerca lophoessa</i>	—	0.003072	—
颈环同尾轮虫	<i>Diurella collaris</i>	—	0.000768	0.000536
对棘同尾轮虫	<i>Diurella stylata</i>	—	0.00192	—
韦氏同尾轮虫	<i>Diurella weberi</i>	—	0.001152	0.000536
长三肢轮虫	<i>Filinia longiseta</i>	—	0.033794	—
尾猪吻轮虫	<i>Dicranophorus caudatus</i>	—	0.001536	0.000536
卜氏晶囊轮虫	<i>Asplanchna brightwelli</i>	—	—	0.000536
钝角狭甲轮虫	<i>Colurella obtusa</i>	—	—	0.000536
螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	—	—	0.057878
曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella valga</i>	—	—	0.020364
罗氏腔轮虫	<i>Lecane ludwigii</i>	—	—	0.000536
尖棘腔轮虫	<i>Lecane arcula</i>	—	—	0.000536
简单前翼轮虫	<i>Proales simplex</i>	—	—	0.001072
暧昧前翼轮虫	<i>Proales fallaciosa</i>	—	—	0.008039
小链巨头轮虫	<i>Cephalodella catellina</i>	—	—	0.003751
截头巨头轮虫	<i>Gephalodella incila</i>	—	—	0.000536
小巨头轮虫	<i>Gephalodella exigna</i>	—	—	0.000536
细异尾轮虫	<i>Trichocerca gracilis</i>	—	—	0.006431
腕状同尾轮虫	<i>Diurella brachyura</i>	—	—	0.004287
特异同尾轮虫	<i>Diurella insignis</i>	—	—	0.000536
弧形彩胃轮虫	<i>Chromogaster testudo</i>	—	—	0.000536
卵形彩胃轮虫	<i>Chromogaster ovalis</i>	—	—	0.000536

Continued

腹足腹尾轮虫	<i>Gastropus hyptopus</i>	—	—	0.004823
小型腹尾轮虫	<i>Gastropus minor</i>	—	—	0.001608
象形拟哈林轮虫	<i>Pseudoharringia semilis</i>	—	—	0.00268
舞跃无柄轮虫	<i>Ascomorpha saltans</i>	—	—	0.010718
团藻无柄轮虫	<i>Ascomorpha volvocicola</i>	—	—	0.000536
枝角类	<i>Cladocera</i>			
短尾秀体溞	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0.125418	—	—
隆线溞	<i>Daphnia carinata</i>	0.119844	—	—
长刺溞	<i>Daphnia longispina</i>	0.06689	—	—
锯顶低额溞	<i>Simocephalus serrulatus</i>	0.001115	—	—
方形网纹溞	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	0.005574	—	—
象鼻溞	<i>Bosmina sp.</i>	0.001115	—	—
颈沟基合溞	<i>Bosminopsis deitersi</i>	0.001115	—	—
狭形顶冠溞	<i>Acroperus angustatus</i>	0.00223	—	—
老年低额溞	<i>Simocephalus vetulus</i>	—	0.000192	—
透明薄皮溞	<i>Leptodora kindti</i>	—	0.006912	—
桡足类	<i>Copepoda</i>			
细巧华哲水蚤	<i>Sinocalanus tenellus</i>	0.000557	—	—
近邻剑水蚤	<i>Cyclops vicinus</i>	0.078038	0.030722	0.005359
无节幼体	<i>Nauplii</i>	0.354515	0.265937	0.313505
棘猛水蚤	<i>Attheyella sp.</i>	0.004459	0.000384	0.004823
广布中剑水蚤	<i>Microcyclops leuckarti</i>	—	0.009793	0.001608
矮小拟镖剑水蚤	<i>Paracyclopina nana</i>	—	0.000768	0.00268
爪哇小剑水蚤	<i>Microcyclops javannus</i>	—	0.030722	0.014469
毛饰拟剑水蚤	<i>Paracyclops fimbriatus</i>	—	0.010753	—
厚足荡镖水蚤	<i>Neurodiaptomus pachypoditus</i>	—	0.009217	—
锯缘真剑水蚤	<i>Eucyclops serrulatus</i>	—	—	0.002144
粗壮温剑水蚤	<i>Thermocyclops dybowskii</i>	—	—	0.002144

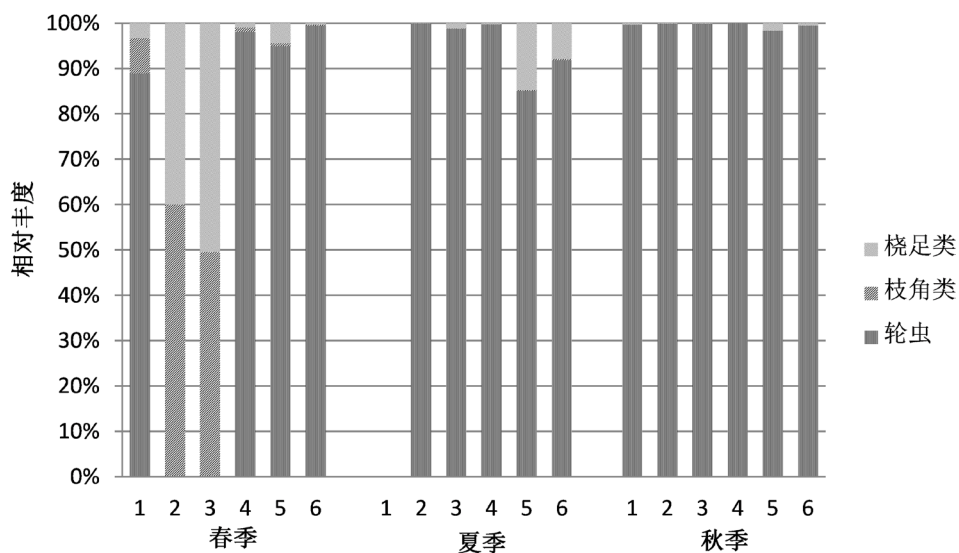
挠力河流域各采样点后生浮游动物的丰度及生物量如表 3、表 4 所示，各季节后生浮游动物丰度和生物量差异显著，春季、夏季、秋季后生浮游动物的总丰度分别为 165 ind/L、13,671 ind/L、和 4897 ind/L；总生物量分别为 1.27 mg/L、6.85 mg/L 和 1.66 mg/L。由图 2 可以看出，除春季 2#、3# 采样点外，其余各季节各采样点丰度上均以轮虫占据绝对优势。春季枝角类在生物量上占较大优势，夏、秋两季均为轮虫占优势(图 3)。

Table 3. Abundance of metazooplankton in different seasons (ind/L)**表 3.** 不同季节后生浮游动物丰度值(ind/L)

采样点		1	2	3	4	5	6
春季	轮虫	30	0	0	60	30	30
	枝角类	2.65	1.8	2.5	0.55	0.2	0.05
	桡足类	1.1	1.2	2.55	0.6	1.4	0.1
夏季	轮虫	0	13080	120	360	30	60
	枝角类	0	0.35	0.1	0	0.05	0.15
	桡足类	0	7.3	1.4	0.95	5.2	5.15
秋季	轮虫	30	4080	690	30	30	30
	枝角类	0	0	0	0	0	0
	桡足类	0.1	5.6	1.05	0	0.5	0.15

Table 4. Biomass metazooplankton in different seasons**表 4.** 不同季节后生浮游动物生物量(mg/L)

采样点		1	2	3	4	5	6
春季	轮虫	0.0165	0	0	0.006	0.003	0.0018
	枝角类	0.44	0.264	0.3315	0.0515	0.008	0.01
	桡足类	0.0234	0.0251	0.0378	0.0052	0.0478	0.0003
夏季	轮虫	0	5.5668	0.0384	0.0954	0.0165	0.0195
	枝角类	0	0.35	0.1	0	0.007	0.15
	桡足类	0	0.1711	0.0189	0.0085	0.2068	0.0994
秋季	轮虫	0.0024	1.4981	0.0917	0.0012	0.0021	0.0012
	枝角类	0	0	0	0	0	0
	桡足类	0.0027	0.0474	0.0089	0	0.0033	0.0028

**Figure 2.** Relative abundance of different groups at sampling points**图 2.** 各采样点不同类群相对丰度

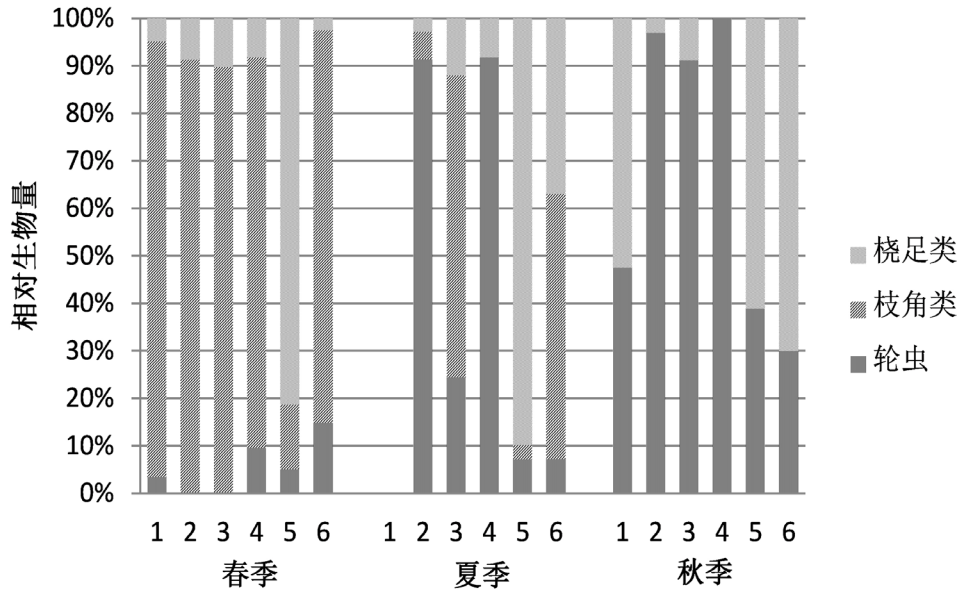
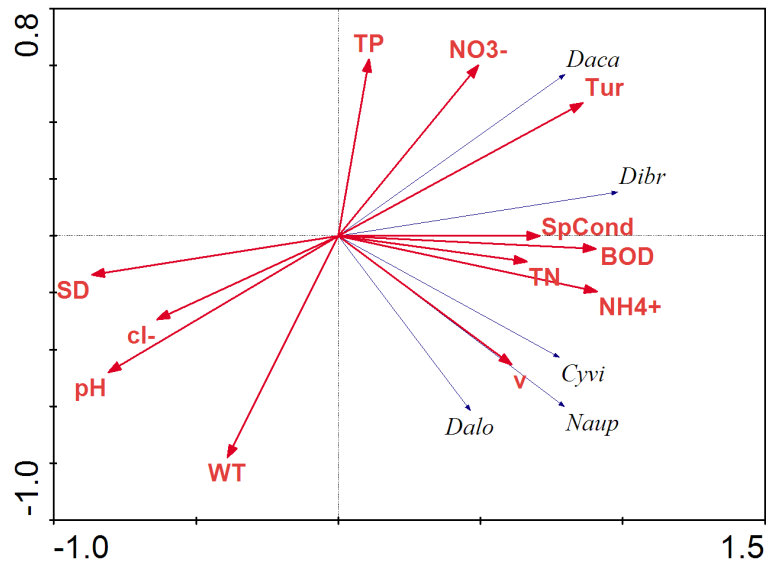
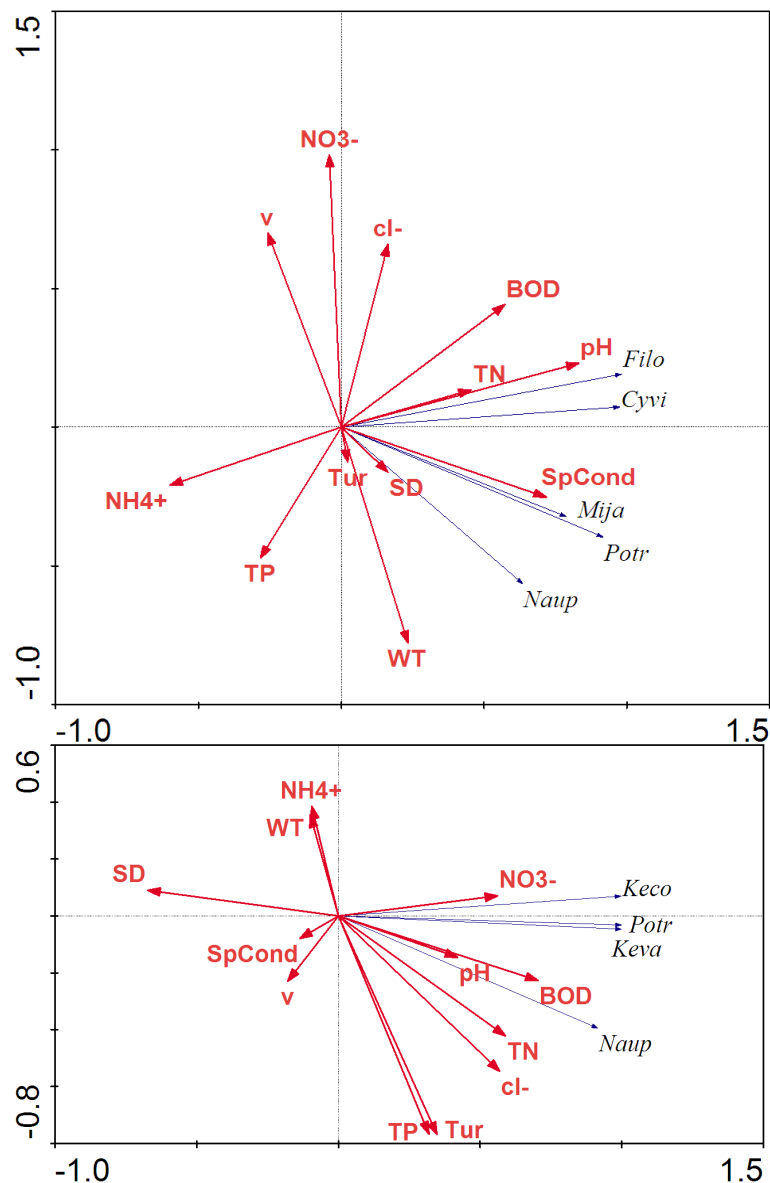


Figure 3. Relative biomass of different groups at different sampling points
图 3. 各采样点不同类群相对生物量

3.3. 后生浮游动物群落与环境的 RDA 分析

分别将各季节后生浮游动物优势种与环境因子进行冗余分析(RDA), RDA 结果显示(图 4), 春季前两轴的特征值分别为 0.770 和 0.188, 共解释种属累积方差值的 95.8%, 从图中物种与环境因子的夹角可以看出短尾秀体溞和隆线溞与浊度和铵态氮浓度呈正相关, 与 pH 呈负相关, 近邻剑水蚤、无节幼体和长刺溞与流速呈显著正相关; 夏季前两轴的特征值分别为 0.909 和 0.082, 共解释种属累积方差值的 99.1%, 长三肢轮虫和近邻剑水蚤与 pH 和总氮呈显著正相关, 针簇多肢轮虫和爪哇小剑水蚤与电导率呈显著正相关; 秋季前两轴的特征值分别为 0.995 和 0.005, 共解释种属累积方差值的 100%, 螺形龟甲轮虫、曲腿龟甲轮虫和针簇多肢轮虫与铵态氮浓度呈正相关。整体来看, 不同季节影响后生浮游动物群落的环境因子有所不同, pH 是影响后生浮游动物群落变化的关键因子。





注: Dibr-短尾秀体溞、Daca-隆线溞、Dalo-长刺溞、Cyvi-近邻剑水蚤、Naup-无节幼体、Potr-针簇多肢轮虫、Filo-长三肢轮虫、Mija-爪哇小剑水蚤、Keco-螺形龟甲轮虫、Keva-曲腿龟甲轮虫

Figure 4. RDA of metazooplankton and environmental factors

图 4. 后生浮游动物与环境因子 RDA 分析

4. 讨论

4.1. 后生浮游动物群落动态特征

通过调查显示, 大佳河保护区挠力河流域后生浮游动物群落季节差异显著, 种类呈现出秋季最多, 夏季次之, 春季最少的特点, 其中轮虫出现的种类最多, 枝角类和桡足类的种类数量较少, 且枝角类在秋季没有出现。由于轮虫具有个体小、适应性强、世代周期短的特点, 因此常常能在淡水水体中占优势地位。夏秋季节, 挠力河浮游植物以蓝藻和绿藻为主, 蓝藻会对滤食性枝角类产生较大危害, 抑制其摄食作用[11], 因此枝角类在夏季和秋季的丰度和生物量极低, 这与代培[12]对太湖五里湖浮游动物群落的

研究结果相似。枝角类丰度和生物量的最高值出现在春季，春季浮游植物以硅藻占优，蓝藻较少，有利于枝角类生存。

挠力河不同季节后生浮游动物群落内优势种更替明显，春季枝角类和桡足类占主要优势地位，夏季和秋季以轮虫和桡足类占主要优势地位，无节幼体在春、夏、秋三季均为优势种，有研究显示[13]，无节幼体主要以细菌为食，5~10月水温较高，细菌大量繁殖，为无节幼体提供充足的食物来源，利于其生长。夏季和秋季主要优势种有针簇多肢轮虫、长三肢轮虫、螺形龟甲轮虫和曲腿龟甲轮虫，这些轮虫种类均为富营养水体指示种[14]，造成这种现象的原因可能是由于大佳河自然保护区内存在大面积的农业耕地，挠力河沿岸被农田所覆盖，农田中的农药、化肥以及居民的生活污水随地表径流进入到河流中，导致水体中的氮磷含量升高，水体呈富营养化状态。调查发现，夏季2#采样点轮虫的种数、丰度和生物量均远远高于其他采样点，可能是由于2#采样点受到上游居民排放的含有有机质的生活污水的影响，且夏季水温升高，给浮游植物创造了适宜的生存环境，导致蓝藻爆发，为轮虫提供了大量食物，利于其繁殖，因此数量增多。与高岩[15]、杨亮杰[16]研究中提到的现象相似。

4.2. 后生浮游动物群落与环境因子的关系

本文通过对各季节后生浮游动物优势种与水环境因子进行 RDA 分析，结果显示，不同季节影响后生浮游动物群落结构的环境因子不同。水体的 pH 对后生浮游动物的丰度和生物量有重要影响，有研究表明，轮虫和大部分桡足类适于在碱性水体中生存，枝角类对较高和较低的 PH 值非常敏感，一般生活于中性、酸性或微碱性的水体中[17]。这也与本次调查结果相符合，春季 PH 平均值为 7.53，呈中性，春季枝角类丰度和生物量最高，夏秋季节均为偏碱性水体，夏季和秋季枝角类的丰度和生物量较低。浊度是评价水质好坏的重要指标，一般与水中泥沙、水生植物、浮游植物和有机质含量呈正比，能够间接反映水体中浮游生物的水平，对浮游动物的生长发育有较大影响[18]。总氮和硝态氮含量指示水体营养盐水平，是浮游植物生长不可或缺的营养物质，决定着浮游植物的多寡，间接影响着作为捕食者的浮游动物的丰度和生物量[19]。电导率被广泛认为是驱动浮游生物群落演替的主要环境因子之一，电导率反映了水体中离子的含量，其浓度的变化反映了水体中营养盐的改变，也通过影响浮游植物群落间接对浮游动物产生影响[20]。

5. 结论及建议

1) 大佳河保护区挠力河流域共鉴定后生浮游动物 63 种，其中轮虫 42 种，枝角类 10 种，桡足类 11 种，以轮虫为主，枝角类和桡足类种数较少。

2) 大佳河保护区挠力河流域后生浮游生物的丰度和生物量呈现夏季 > 秋季 > 春季的趋势，季节性差异显著。

3) RDA 分析结果表明，不同季节影响后生浮游动物群落结构的环境因子有所不同，pH 是影响后生浮游动物群落变化的主要环境因子。

4) 采用后生浮游动物的优势种来评价水质，发现各季节优势种大部分为富营养水体指示种，表明水体呈富营养化状态。建议在对大佳河保护区的保护与防治中，加强对挠力河的生态监测力度及对周边污染源的控制。

参考文献

- [1] 杜彩丽, 杨丽, 赵诣, 等. 淀山湖浮游动物群落时空分布特征及其与环境因子的关系[J]. 环境科学, 2019(10): 1-16.
- [2] 时永强, 孙松, 李超伦, 等. 初夏南黄海浮游动物功能群丰度年际变化[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 1-8.

- [3] 李虹, 杨洪升, 岳明, 等. 大佳河自然保护区植物群落多样性调查[J]. 中国林副特产, 2019, 158(1): 62-64.
- [4] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. 生态学报, 2008, 30(2): 481-486.
- [5] 张莹, 雷国平, 张弘强, 等. 微观尺度分析挠力河流域耕地利用水土资源匹配时空动态[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 185-194.
- [6] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [7] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志, 节肢动物门, 甲壳纲, 淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [8] 沈嘉瑞, 戴爱云, 张崇洲. 中国动物志, 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [9] 国家环保局本书编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [10] 高子涵, 张健, 皮杰, 等. 湖南省大通湖浮游动物群落结构及其与环境因子关系[J]. 生态学杂志, 2016, 35(3): 733-40.
- [11] Infante, A. and Riehl, W. (1984) The Effect of Cyanophyta upon Zooplankton in a Eutrophic Tropical Lake (Lake Valencia, Venezuela). *Hydrobiologia*, **113**, 293-298. <https://doi.org/10.1007/BF00026615>
- [12] 代培, 刘凯, 周彦锋, 等. 太湖五里湖湖滨带浮游动物群落结构特征[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(1): 55-63.
- [13] Sherr, E.B. and Sherr, B.F. (1987) High Rates of Consumption of Bacteria by Pelagic Ciliates. *Nature*, **325**, 710-711. <https://doi.org/10.1038/325710a0>
- [14] 郭刘超, 韩庚宝, 邓俊辰, 等. 长荡湖浮游动物群落结构特征及影响因子分析[J]. 江苏水利, 2019(2): 1-5+10.
- [15] 高岩, 张映东, 胡文革, 等. 新疆石河子市蘑菇湖水库浮游动物的群落特征及营养状态评价[J]. 动物学杂志, 2018, 53(6): 890-898.
- [16] 杨亮杰, 吕光汉, 竺俊全, 等. 横山水库浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 水生生物学报, 2014, 38(4): 720-728.
- [17] 朱冲冲, 李秋华, 陈文生, 等. 贵州普定水库后生浮游动物群落结构特征及其水质指示作用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 273-277.
- [18] 朱冲冲, 李秋华, 陈文生, 等. 贵州草海后生浮游动物群落季节动态特征及与环境因子的关系[J]. 生态科学, 2018, 37(6): 131-138.
- [19] 王海邻, 刘玉飞, 任玉芬, 等. 北京市河流秋季浮游动物群落特征分析[J]. 环境科学, 2019, 40(8): 3568-3576.
- [20] 刘桂兰. 两种贝类滤食对封闭水体透明度影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.