

The Characteristics of Community Structure of Rotifer and Water Quality Evaluation in Qixinghe Wetland

Yawei Sun¹, Fangying Chai², Hongxian Yu^{1*}, Chengxue Ma¹, Shoubin Cui³

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Department of Water Resources of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

³Qixinghe National Nature Reserve Administration, Shuangyashan Heilongjiang

Email: *975164168@qq.com

Received: Mar. 12th, 2019; accepted: Mar. 27th, 2019; published: Apr. 3rd, 2019

Abstract

In order to study the species composition and spatial-temporal distribution of rotifer, and the relationships between water environment factors and community structure in Qixinghe wetland, 12 sampling points were set to collect rotifer and water sample in spring (May), summer (July) and autumn (September). The results showed that there were 37 species of rotifer, belonging to 20 genera identified in Qixinghe wetland, with the most species in summer and the least species in autumn. The average abundance of rotifer in each season from the smallest to biggest is spring < autumn < summer, and the average biomass of rotifer in each season from the smallest to biggest is autumn < summer < spring. A total of 5 dominant species of rotifers were found in Qixinghe wetland, including *Trichotria pocillum*, *Colurella deflexa*, *Monostyla bulla*, *Monostyla lunaris* and *Polyathra trigla*. The relationship between water environment factors and the abundance of rotifers was analyzed by redundancy analysis (RDA). The result of RDA showed that the structure of rotifer community was mainly affected by transparency, water temperature and nutrient salt. The water quality evaluation was carried out using the modified Carson Index (TSIM), the rotifer pollution indicators and Shannon-Weaver diversity index in Qixinghe wetland. The results showed that the water quality was moderate pollution in Qixinghe wetland.

Keywords

Qixinghe Wetland, Rotifer, Community Structure, Water Quality Evaluation

七星河湿地轮虫群落结构特征研究及水质评价

孙雅薇¹, 柴方营², 于洪贤^{1*}, 马成学¹, 崔守斌³

*通讯作者。

文章引用: 孙雅薇, 柴方营, 于洪贤, 马成学, 崔守斌. 七星河湿地轮虫群落结构特征研究及水质评价[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(2): 106-115. DOI: 10.12677/aep.2019.92017

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省水利厅, 黑龙江 哈尔滨

³七星河国家级自然保护区管理局, 黑龙江 双鸭山

Email: *975164168@qq.com

收稿日期: 2019年3月12日; 录用日期: 2019年3月27日; 发布日期: 2019年4月3日

摘要

为研究七星河湿地轮虫的种类组成、时空分布, 以及群落结构与水环境因子之间的关系, 于2017年春季(5月)、夏季(7月)和秋季(9月)对七星河湿地12个采样点的轮虫样品进行采集。研究表明: 七星河湿地共有轮虫20属37种, 夏季种类最多、秋季最少; 轮虫平均丰度春季 < 秋季 < 夏季, 平均生物量秋季 < 夏季 < 春季。共发现轮虫优势种5种, 包括台杯鬼轮虫(*Trichotria pocillum*)、偏斜钩状狭甲轮虫(*Colurella deflexa*)、囊形单趾轮虫(*Monostyla bulla*)、月形腔轮虫(*Monostyla lunaris*)和针簇多肢轮虫(*Polyathra trigla*)。由七星河湿地轮虫丰度与水环境因子之间的冗余分析(RDA)结果可知, 透明度、水温、营养盐是影响轮虫群落结构主要的水环境因子。使用修正的卡森指数法(TSIM)、轮虫污染指示种和生物多样性指数对七星河湿地进行水质评价, 结果表明, 七星河湿地处于中污水平。

关键词

七星河湿地, 轮虫, 群落结构, 水质评价

Copyright © 2019 by authors 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

七星河湿地位于黑龙江省双鸭山市宝清县西北部, 地理坐标 132°5'~132°26'E, 46°40'~46°52'N, 沿七河流域南岸自西向东分布。2000 年被国务院列为国家级自然保护区, 是三江平原保存完整、状态原始、类型齐全的内陆低湿高寒湿地生态系统之一, 以湿地珍稀水禽为重点保护对象。七星河湿地是鸟类迁徙的重要通道, 同时也是多种珍稀鸟类的栖息地和繁殖地。近年来, 由于受到上游煤矿、金矿等工业废水排放以及周围农田退水的影响, 水质受到一定程度的污染。

浮游动物是水生态系统中重要的组成部分, 轮虫作为浮游动物的重要类群之一, 有着分布广泛、种类多样、繁殖周期短, 对环境变化敏感等多种优势。作为次级生产者, 在物质转化、能量流动和信息传递等过程中均发挥着重要作用[1]。此外, 轮虫可以独立应用于水质生物学评价, 其种类组成和群落结构的变化还会直接或间接地反映着水环境状况及其污染趋势, 并且作为水污染以及水体富营养化的指示生物, 被广泛应用于水环境生物监测中。Vladimír Sládeček [2]将轮虫作为指示生物, 对捷克斯洛伐克周边水体进行水质评价。温新利等[3]利用轮虫多样性指数对青弋江的水质状况进行了评价。李典宝等[4]通过轮虫指示种与多样性指数得出珠江河口区的营养类型为中度富营养化。

当前对于七星河湿地的研究主要集中于鸟类, 尚未进行浮游生物特别是轮虫群落结构的相关研究, 仅在 2006 年由陈禹桥等使用水体理化指标对水质进行评价[5]。本文拟通过对七星河湿地轮虫群落结构及

其与环境因子关系进行分析,将水环境理化指标与生物学指数相结合,对七星河湿地水质进行初步评价,进一步加深对七星河湿地状况的了解,为其管理、开发和保护提供科学依据。

2. 研究区域概况与研究方法

2.1. 研究区域采样点划分

根据研究需要以及七星河湿地的实际情况,共设置采样点 12 个,分别于 2017 年春季(5 月)、夏季(7 月)、秋季(9 月)对七星河湿地进行 3 次采样调查。采样点具体设置如图 1 所示。

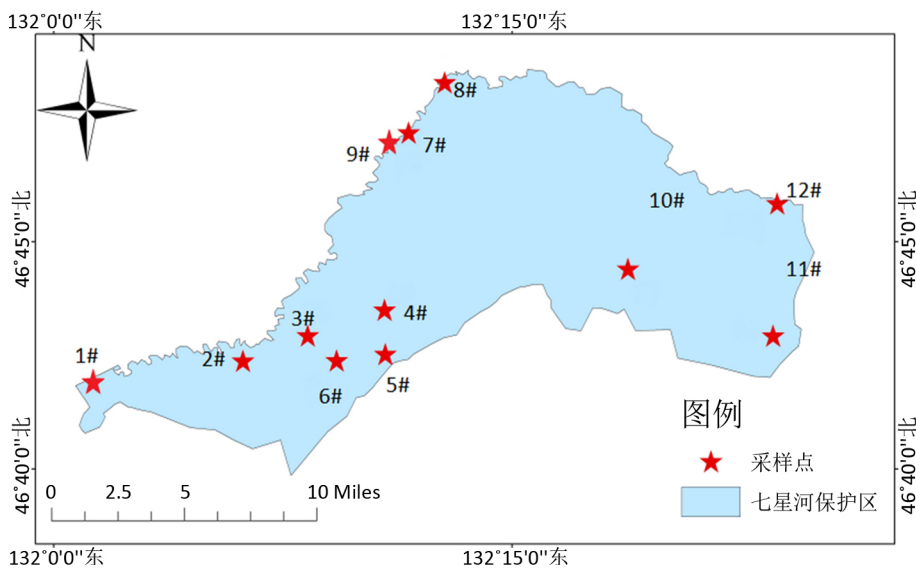


Figure 1. Sample plots distribution map of Qixinghe wetland

图 1. 七星河湿地采样点设置图

2.2. 样品采集方法

使用采水器采集 1 L 水样,于 1 L 的塑料样品瓶中保存,并随即加入 15 ml 鲁哥氏液固定。将水样带回实验室后静置 48 小时,使用虹吸管多次虹吸直至体积为 30 ml,保存在 100 ml 塑料样品瓶中。鉴定时,将样品充分混合均匀后,使用移液枪移取 1 ml 样品,使用 1 ml 浮游动物计数框在显微镜下全片观察拍照,再进行鉴定并计数。

在水样采集时使用塞氏盘现场测定透明度(SD),使用 YSI 多功能水质分析仪对水温(WT)、酸碱度(pH)、氯离子(Cl^-)、铵根离子(NH_4^+)、硝酸根(NO_3^-)、浊度(TUR)、叶绿素 a (chl.a)进行现场测定;采集 1 L 水样,带回实验室,参考《水和废水监测分析方法》第 4 版[6]对总氮(TN)、总磷(TP)指标进行测定。

2.3. 生物多样性指数及优势度计算

Shannon-weaver 多样性指数[7]计算公式为: $H' = -\sum P_i \log_2 P_i$ 。

在上述公式中, N 为轮虫总种类数, P_i 为第 i 种轮虫个体数量占该采样点轮虫总个体数量的比例。 H' 在 0~1 之间为重度污染, H' 在 1~3 之间为中度污染, H' 大于 3 为轻度污染。

优势度(y) [8]计算公式为: $y = f_i \times P_i$ 。

在上述公式中, y 为优势度, f_i 为第 i 种出现的频率; P_i 为第 i 种的个体数量在总个体数量中所占的比例。当 $y > 0.02$ 时,将该种类确定为优势种。

2.4. 数据处理分析

本文采样点分布图使用 ArcGIS 软件制作。使用 SPSS19.0 软件对水环境理化指标进行单因素方差分析(ANOVA)分析。使用 Canoco 4.5 软件对轮虫群落结构与环境因子之间相关性进行分析,分析时除酸碱度 pH 之外,其他物种数据和水环境因子数据均需要进行 $\lg(x+1)$ 转换[9]。其他图表均使用 Microsoft Excel 制作完成。

3. 结果与分析

3.1. 七星河湿地水环境理化指标

七星河湿地水环境理化指标如表 1 所示。方差分析结果表明:水温(WT)、叶绿素 a (chl.a)夏季明显高于其它季节,铵根离子(NH_4^+)、氯离子(Cl^-)、硝酸根离子(NO_3^-)秋季明显高于其它季节,其他理化指标无明显季节变化。使用修正的卡森指数法(TSIM)评价水体的营养状况,春、夏、秋三季卡森指数在 34.95~63.62 之间变化,表明七星河湿地水体处于中-富营养状态。

Table 1. Comparison of environment factors in Qixinghe wetland (mean \pm S.D.)

表 1. 七星河湿地各季节水环境因子比较(平均值 \pm 标准差)

水环境因子	春季		夏季		秋季		P
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	
透明度 SD (cm)	62.80	30.69	53.00	38.04	50.20	38.34	0.815
水温 WT ($^{\circ}\text{C}$)	19.34	2.31	23.77	0.79	18.14	1.27	0.000**
氯离子 Cl^- (mg/L)	4.60	2.13	4.65 \pm 1.62	1.62	10.03	2.20	0.000**
铵根离子 NH_4^+ (mg/L)	0.27	0.03	0.26	0.11	0.37	0.13	0.034*
浊度 TUR (NTU)	4.13	5.81	21.01	38.49	3.32	3.33	0.160
总氮 TN (mg/L)	3.46	1.12	5.43	2.20	4.50	2.39	0.103
总磷 TP (mg/L)	0.11	0.06	0.15	0.17	0.10	0.12	0.625
叶绿素 a chl.a (mg/L)	4.79	2.44	10.38	7.84	4.27	3.21	0.010*
硝酸根 NO_3^- (mg/L)	0.52	0.48	1.38	0.64	11.56	12.87	0.001**

注: *表示有显著性差异($P < 0.05$); **表示有极显著性差异($P < 0.01$)。

3.2. 轮虫种类组成及分布

七星河湿地共鉴定出轮虫 20 属 37 种。其中单趾轮虫属 6 种,臂尾轮虫属 4 种,狭甲轮虫属与异尾轮虫属各 3 种,龟甲轮虫属、鞍甲轮虫属、腔轮虫属、同尾轮虫属各 2 种,裂足轮虫属、鬼轮属、多肢轮虫属、晶囊轮虫属、泡轮属、晓柱轮属、猪吻轮属、平甲轮属、轮虫属、高跷轮属、聚花轮虫属、椎轮属各 1 种(表 2)。春季共鉴定出轮虫 20 种,夏季种类数最多,共鉴定出轮虫 30 种,秋季种类数最少,共鉴定出轮虫 16 种。

共发现轮虫污染指示种 23 种,其中寡污型种类 3 种,寡污- β 中污型种类 8 种, β 中污-寡污 2 种, α -中污性种类 1 种, β -中污性种类 6 种, β - α 中污性种类 3 种。由污染指示种轮虫种类数占总种类数的比例可知,七星河湿地水体受到一定的污染。

Table 2. Species composition of rotifers in qixinghe wetland
表 2. 七星河湿地轮虫种类组成

属	种类		季节	污染等级
龟甲轮虫属	螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	春 夏 秋	B-o
	矩形龟甲轮虫	<i>Keratella quadrata</i>	春	o-β
裂足轮虫属	裂足轮虫	<i>Schizocerca diversicornis</i>	春	o-β
臂尾轮虫属	剪形臂尾轮虫	<i>Brachionus forficula</i>	夏 秋	β
	镰状臂尾轮虫	<i>Brachionus falcatus</i>	秋	β
	尾突臂尾轮虫	<i>Brachionus caudatus</i>	夏 秋	
	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	春 夏	B-α
鬼轮属	台杯鬼轮虫	<i>Trichotria pocillum</i>	春 夏 秋	
多肢轮虫属	针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>	春 夏 秋	B-α
晶囊轮虫属	前节晶囊轮虫	<i>Asplanchnapriodonta</i>	春 夏 秋	β
泡轮属	沟痕泡轮虫	<i>Pompholyx sulcata</i>	春 夏 秋	o-β
狭甲轮虫属	双尖钩状狭甲轮虫	<i>Colurella bicuspidata</i>	春 夏	B-o
	偏斜钩状狭甲轮虫	<i>Colurella deflexa</i>	春 夏 秋	
	钝角狭甲轮虫	<i>Colurella obtusa</i>	夏	o
单趾轮虫属	尖趾单趾轮虫	<i>Monostyla closterocerca</i>	春 夏 秋	β
	四齿单趾轮虫	<i>Monostyla quadridentata</i>	夏	
	囊形单趾轮虫	<i>Monostyla bulla</i>	夏 秋	o-β
	钝齿单趾轮虫	<i>Monostyla crenaa</i>	夏 秋	
	爪趾单肢轮虫	<i>Monostyla unguitata</i>	夏	
	月形单趾轮虫	<i>Monostyla lunaris</i>	秋	
	精致单趾轮虫	<i>Monostyla elachis</i>	秋	
腔轮虫属	蹄形腔轮虫	<i>Lecane unguolata</i>	春 夏	o-β
	月形腔轮虫	<i>Lecane luna</i>	春 夏 秋	β
鞍甲轮虫属	盘状鞍甲轮虫	<i>Lepadella ovalis</i>	夏	o-β
	卵形鞍甲轮虫	<i>Lepadella patella</i>	夏	β
同尾轮虫属	田奈同尾轮虫	<i>Diurella dixon</i>	春	o-β
	罗氏同尾轮虫	<i>Diurella rousseoeti</i>	春 夏 秋	o
异尾轮虫属	长刺异尾轮虫	<i>Trichocerca longiseta</i>	春 夏	o-β
	细异尾轮虫	<i>Trichocerca gracilis</i>	春 夏 秋	
	鼠异尾轮虫	<i>Trichocerca rattus</i>	夏	
高跷轮属	高跷轮虫	<i>Scaridium longicaudum</i>	春 夏	
聚花轮虫属	团状聚花轮虫	<i>Conochilus hippocrepis</i>	春 夏	o
椎轮属	龙大椎轮虫	<i>Notommata copeus</i>	春	
晓柱轮属	纵长晓柱轮虫	<i>Eothinia elongata</i>	夏	
猪吻轮属	前突猪吻轮虫	<i>Dicranophorus prionacis</i>	夏	
平甲轮属	四角平甲轮虫	<i>Platyias quadricornis</i>	夏	α
轮虫属	长足轮虫	<i>Rotaria neptunia</i>	夏 秋	β-α

注: o: 寡污型, o-β: 寡污-β中污, β-o: β中污-寡污, β: β中污, α: α中污, β-α: β-α中污。

3.3. 轮虫丰度及生物量

七星河湿地春季轮虫平均丰度为 239.17 ind./L, 夏季平均丰度为 842.50 ind./L, 秋季平均丰度为 306.67 ind./L, 轮虫丰度有明显的季节变化, 夏季 > 秋季 > 春季。七星河湿地轮虫丰度空间变化范围为 0~5460 ind./L, 其中最大丰度出现在夏季 2# 采样点, 最低丰度出现在春季 1# 采样点、夏季 1# 采样点和秋季 9# 采样点(图 2)。

七星河湿地春季轮虫平均生物量为 0.40 mg/L, 夏季平均生物量为 0.26 mg/L, 秋季平均生物量为 0.12 mg/L, 季节变化明显, 春季 > 夏季 > 秋季。七星河湿地轮虫生物量空间变化范围为 0~3.39 mg/L, 其中最大生物量出现在春季 6# 采样点, 最低生物量出现在春季 1# 采样点、夏季 1# 采样点和秋季 9# 采样点(图 3)。

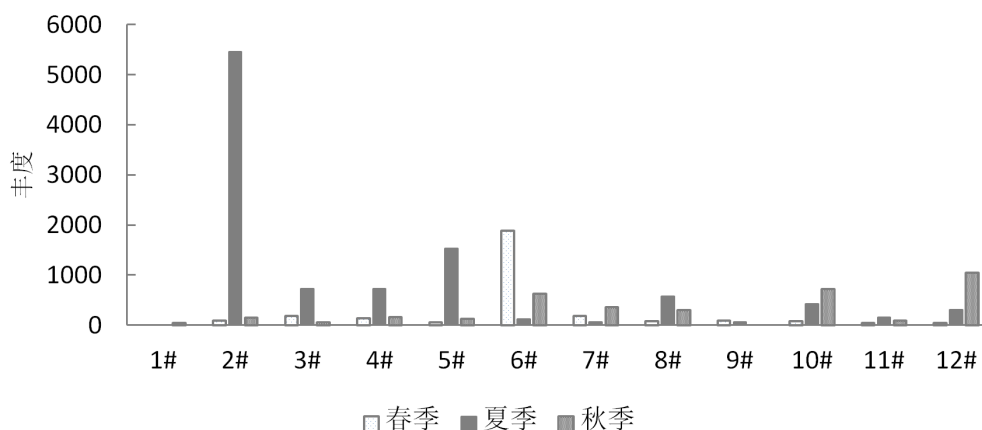


Figure 2. Spatial variations of inhabit density of rotifer in Qixinghe wetland

图 2. 七星河湿地轮虫丰度空间变化

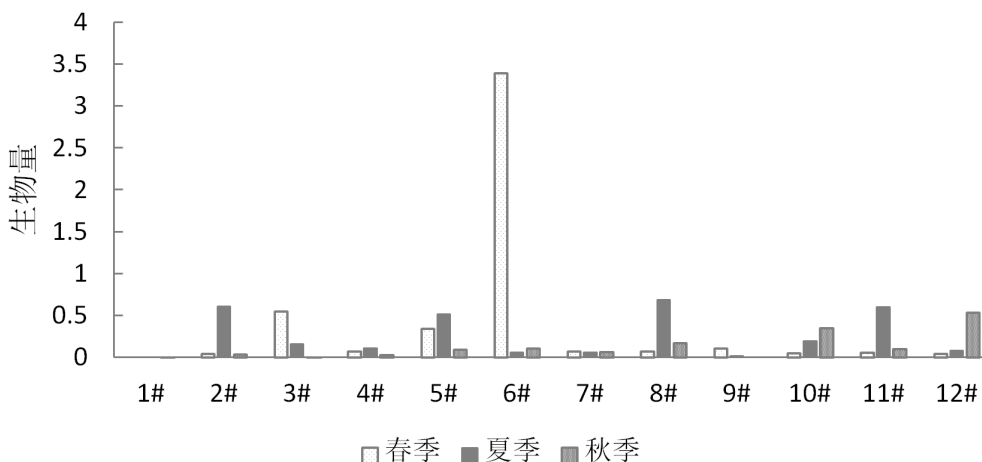


Figure 3. Spatial variations of biomass density of rotifer in Qixinghe wetland

图 3. 七星河湿地轮虫生物量空间变化

3.4. 轮虫优势种

七星河湿地轮虫优势种组成如表 3 所示, 春季优势种为台杯鬼轮虫和针簇多肢轮虫, 优势度分别为 0.03 和 0.19; 夏季优势种为偏斜钩状狭甲轮虫和囊形单趾轮虫, 优势度分别为 0.04 和 0.10; 秋季优势种为针簇多肢轮虫、囊形单趾轮虫和月形腔轮虫, 优势度分别为 0.03、0.06 和 0.21。

Table 3. Dominant species of rotifers in Qixinghe wetland
表 3. 七星河湿地轮虫优势种组成

优势种	优势度 Y		
	春季	夏季	秋季
台杯鬼轮虫 <i>Trichotria pocillum</i>	0.03		
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.19		0.03
偏斜钩状狭甲轮虫 <i>Colurella deflexa</i>		0.04	
囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>		0.1	0.06
月形腔轮虫 <i>Monostyla lunaris</i>			0.21

3.5. 生物多样性指数

七星河湿地 Shannon-Wiener 多样性指数 H' 在 0.00~2.90 之间上下波动。春季、夏季、秋季 H' 平均值分别为 1.41、2.04 和 1.50, 夏季 H' 明显高于春季和秋季, 各季节 Shannon-Wiener 多样性指数均指示七星河湿地水体为中污水平(表 4)。

Table 4. The distribution of Shannon-Wiener of rotifer in Qixinghe wetland
表 4. 七星河湿地轮虫香农维纳指数

	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#	均值
春季	—	1.79	2.58	0.95	1.58	1.25	0.92	2.00	0.92	1.50	1.00	1.00	1.41
夏季	—	2.64	1.64	1.93	2.08	1.50	1.00	3.43	1.00	2.90	2.32	1.96	2.04
秋季	0.00	2.32	1.00	2.41	2.00	0.28	1.04	1.46	—	2.50	1.58	1.85	1.50

注: —表示该采样点为发现轮虫, 无法进行生物多样性指数计算。

3.6. 冗余分析(RDA)

通过趋势对应分析(DCA), 发现排序轴梯度长度最大值介于 3~4 之间, 根据具体情况, 选择对水环境因子数据及轮虫优势种丰度数据进行冗余分析(RDA)。从轮虫优势种丰度与环境因子之间的 RDA 分析结果可见(表 5), 轴 1、轴 2 的特征值分别是 0.238 和 0.086, 物种与环境相关系数是 0.749 和 0.642。

Table 5. Redundancy analysis results for dominate species of rotifer
表 5. 排序轴特征值、种类与环境因子排序轴的相关系数

轴序	特征值	种类-环境相关性	物种数据累计变化百分率%	物种-环境相关性累计变化百分率%
1	0.238	0.749	23.8	55.9
2	0.086	0.642	32.4	76.1
3	0.068	0.633	39.2	92.0
4	0.030	0.496	42.1	99.9

由轮虫丰度与水环境因子的 RDA 排序图可知(图 4, 环境因子用红色实线表示, 轮虫丰度用蓝色实线表示), 与轴 1 相关性较强的环境因子主要有透明度(SD)、总氮(TN)和硝酸根离子(NO_3^-), 相关系数分别为 0.3198、-0.5961 和 -0.3709, 而与轴 2 相关性较强的环境因子主要有铵根离子(NH_4^+)、水温(WT)和总

氮(TN), 相关系数分别为 0.4261、0.3813 和 -0.3561。

台杯鬼轮虫和针簇多肢轮虫与 NO_3^- 和 TN 呈负相关; 偏斜钩状狭甲轮虫和囊形单趾轮虫与 WT 呈正相关, 与 SD 呈负相关; 月形腔轮虫与 NO_3^- 和 TN 呈正相关。

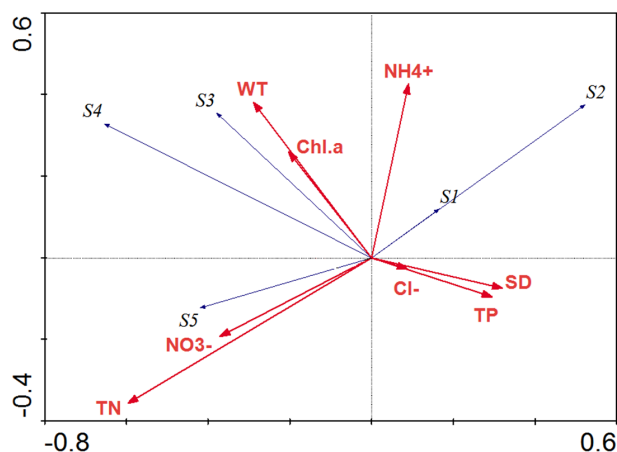


Figure 4. Redundancy analysis between dominant species of rotifers and water environmental factors in Qixinghe wetland

图 4. 轮虫优势种与水环境因子之间的 RDA 分析(S1: 台杯鬼轮虫; S2: 针簇多肢轮虫; S3: 偏斜钩状狭甲轮虫; S4: 囊形单趾轮虫; S5: 月形腔轮虫)

4. 讨论

七星河湿地轮虫种类数存在明显的季节变化, 种类数先升后降, 春秋较少, 夏季最多。轮虫平均丰度夏季 > 秋季 > 春季, 平均生物量春季 > 夏季 > 秋季。由于夏季水体温度较高, 轮虫生长繁殖速度加快, 同时浮游植物生长旺盛, 食物条件较好, 因此轮虫丰度在夏季最大。夏季轮虫受到其他水生生物的捕食压力较大, 因此多为运动能力强的小型轮虫[10]。此外, 夏季降水造成七星河湿地水力滞留时间较短, 体型较小的轮虫由于发育较快也会形成优势, 因此, 虽然夏季轮虫丰度最高, 生物量却低于春季。秋季温度降低, 浮游植物数量减少, 降雨强度大, 轮虫的种类数、丰度和生物量均较低。

七星河湿地不同采样点的轮虫丰度和生物量也存在一定差异。1#采样点处河水泥沙含量极高, 透明度很低。透明度可通过影响浮游植物的生长, 进而对轮虫的群落结构产生影响。1#采样点浮游植物数量极少, 不利于轮虫生长繁殖, 春、夏并未发现轮虫。2#采样点所在河段夏季水深较浅, 且接近断流, 虽然周围植被丰富但结构单一, 水体营养水平较高, 导致该采样点浮游生物数量极多, 轮虫丰度最高。6#采样点位于灌漑站内, 受两岸农田影响, 该采样点营养盐含量较高, 轮虫以耐受低温的前节晶囊轮虫和富营养型种类针簇多肢轮虫为主[11], 生物量在春季最高。

七星河湿地大多数轮虫种类为耐受温度范围广的种类, 在春、夏、秋三季均有出现, 部分轮虫种类具有季节性分布特征。七星河湿地植物类型丰富, 轮虫主要以浮游、附植种类为主, 底栖性种类较少。春季第一优势种为针簇多肢轮虫, 指示中污水平; 夏季第一优势种为囊形单趾轮虫, 指示寡污-中污水平; 秋季第一优势种为月形腔轮虫, 指示寡污-中污水平。表明七星河湿地受到一定程度污染。

侯磊在对轮虫和环境因子进行 RDA 分析时发现, 在珠江广州段, 叶绿素、透明度、温度是影响轮虫时空分布的主要因素[12]。祁峰等采用 CCA 方法研究时发现, 在冰封期较长的湖泊中, 生物因子对轮虫群落结构无显著影响[13]。由七星河湿地轮虫优势种与环境因子的冗余分析结果可知, 透明度、水温、营养盐是影响轮虫群落结构的主要水环境因子。

透明度在一定程度上可以反映水体的清洁状况,有研究表明,透明度较低会对浮游动物的繁殖、发育产生影响,抑制其发展。当水体富营养程度加重,营养盐含量和有机、无机悬浮颗粒物的增加,就会造成浮游植物大量生长[14],水体透明度下降。这种情况会导致浮游植物的光合作用受到影响,进而对轮虫产生影响[15]。台杯鬼轮虫、针簇多肢轮虫与透明度呈正相关,表明其更适宜生存在较为清澈的水体中。

水温可以影响轮虫的生理活动,进而对其生长、发育、繁殖产生影响[16]。根据不同种类的轮虫对温度的适应范围不同可将轮虫分为冷水性、广温性、暖水性三类。七星河湿地 RDA 分析结果显示,水温与轴 2 有较好的相关性,表明水温对七星河湿地轮虫的群落结构有重要影响,RDA 排序图表明偏斜钩状狭甲轮虫和囊形单趾轮虫与水温具有较强的正相关性,二者在夏季水温较高时为优势种。

有研究表明,总氮、硝酸根离子等营养盐浓度对轮虫群落结构有着较为重要的影响[17]。七星河湿地的绝大多数轮虫为植食性,通过滤食浮游植物生存,氮营养盐浓度在一定范围内可以对浮游植物的生长起到促进作用,进而对轮虫的生长和分布产生间接影响[18]。在本研究中,春季轮虫优势种台杯鬼轮虫和针簇多肢轮虫与 NO_3^- 和 TN 呈负相关;秋季第一优势种月形腔轮虫与 NO_3^- 和 TN 呈正相关。RDA 分析表明,氮营养盐是影响春秋轮虫群落结构重要环境因子。

本研究采用了修正的卡森指数法(TSIM)、轮虫污染指示种和生物多样性指数方法对七星河湿地水质进行评价。修正的卡森指数法结果表明,七星河湿地水体整体处于中营养水平。七星河湿地轮虫污染指示种占种类总数的 62.16%,其中寡污型种类为 8.11%,寡污-中污型种类为 21.62%,中污型种类为 32.43%。七星河湿地水质处于寡污-中污水平。由 Shannon-Weaver 多样性指数结果可知,七星河湿地水质整体处于中污水平。综合轮虫群落结构特征所得出的生物学评价结果与水体理化指标所得出的水质评价结果可以得出,七星河湿地水体当前处于中污水平。与 2006 年监测得出的重度污染相比[5],水质有了一定程度的好转。

5. 结论

1) 2017 年七星河湿地共鉴定出轮虫 20 属 37 种。轮虫种类数秋季 < 春季 < 夏季,平均丰度春季 < 秋季 < 夏季,平均生物量秋季 < 夏季 < 春季。轮虫优势种包括台杯鬼轮虫、偏斜钩状狭甲轮虫、囊形单趾轮虫、月形腔轮虫和针簇多肢轮虫。

2) 透明度、水温、营养盐浓度是影响七星河湿地轮虫群落结构的主要水环境因子。

3) 使用修正的卡森指数法、轮虫污染指示种和生物多样性指数对七星河湿地水质进行综合评价,结果表明,七星河湿地水体整体处于中污水平。

基金项目

13-5 国家重点研发计划“迁徙水鸟重要栖息底食源增殖技术与示范”项目(2016YF0500406)资助。

参考文献

- [1] Devetter, M. and Sed, A.J. (2003) Rotifer Fecundity in Relation to Components of Microbial Food Web in a Eutrophic Reservoir. *Hydrobiologia*, **504**, 167-175. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000008516.19947.a6>
- [2] Vladimír, S. (1983) Rotifers as Indicators of Water Quality. *Hydrobiologia*, **100**, 169-201. <https://doi.org/10.1007/BF00027429>
- [3] 温新利, 席始龙, 张雷, 等. 青弋江芜湖段轮虫群落结构和物种多样性的初步研究[J]. 生物多样性, 2004, 12(4): 387-395.
- [4] 李典宝, 程冰冰. 珠江河口区某景观水体轮虫群落演替及水质评价[J]. 人民珠江, 2018, 39(7): 12-21.
- [5] 陈禹桥, 刘方, 金兰淑, 等. 七星河湿地自然保护区水质变化及影响因素分析[J]. 湘潭师范学院学报(自然科学版), 2008, 30(2): 120-122.

- [6] 中华人民共和国国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版, 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 246-257.
- [7] Shannon, C.E. and Weaver, W. (1950) The Mathematical Theory of Communication. *M.D. Computing: Computers in Medical Practice*, **3**, 31-32. <https://doi.org/10.1063/1.3067010>
- [8] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 等. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 120-125.
- [9] Muylaert, K., Sabbe, K. and Vyverman, W. (2000) Spatial and Temporal Dynamics of Phytoplankton Communities in a Freshwater Tidal Estuary (Schelde, Belgium). *Estuarine Coastal & Shelf Science*, **50**, 673-687. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0590>
- [10] Shao, Z., Xie, P. and Yan, Z. (2010) Long-Term Changes of Planktonic Rotifers in a Subtropical Chinese Lake Dominated by Filter-Feeding Fishes. *Freshwater Biology*, **46**, 973-986. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2001.00731.x>
- [11] Bērziņš, B. and Pejler, B. (1989) Rotifer Occurrence in Relation to Temperature. *Hydrobiologia*, **175**, 223-231. <https://doi.org/10.1007/BF00006092>
- [12] 侯磊. 珠江广州河段和磨刀门河口轮虫的群落特征[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2011.
- [13] 祁峰, 马燕武, 李红, 等. 新疆博斯腾湖轮虫群落季节动态及其影响因子[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(3): 51-57.
- [14] Pogozhev, P.I. and Gerasimova, T.N. (2001) The Effect of Zooplankton on Microalgae Blooming and Water Eutrophication. *Water Resources*, **28**, 420-427. <https://doi.org/10.1023/A:1010449823109>
- [15] 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪. 沙湖浮游动物与水环境因子关系的多元分析[J]. 生态学杂志, 2012, 31(4): 896-901.
- [16] Achenbach, L. and Lampert, W. (1997) Effects of Elevated Temperatures on Threshold Food Concentrations and Possible Competitive Abilities of Differently Sized Cladoceran Species. *Oikos*, **79**, 469-476. <https://doi.org/10.2307/3546889>
- [17] Du, X., Feng, W., Li, W., et al. (2014) Response of Rotifer Community to Environmental Changes in Five Shallow Lakes in the Middle Reach of Changjiang River, China. *Chinese Journal of Oceanology & Limnology*, **32**, 1083-1091. <https://doi.org/10.1007/s00343-014-3354-5>
- [18] 周敏. 惠州西湖浮游植物群落特征及其与氮、磷营养盐关系的研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2012.

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: 2164-5485, 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: aep@hanspub.org