

挠力河自然保护区浮游动物群落结构特征

刘瑞东¹, 路文丽², 谢兴宇³, 郑 絮³, 马 欢³, 刘曼红²

¹黑龙江肇源沿江湿地自然保护区保护中心, 黑龙江 大庆

²东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

³黑龙江挠力河国家级自然保护区管理局, 黑龙江 双鸭山

收稿日期: 2024年9月10日; 录用日期: 2024年10月22日; 发布日期: 2024年11月29日

摘要

湿地具有保护土壤、涵养水源、保护生物多样性、维护区域生态系统平衡等功能, 是我国经济和社会发展的重要支撑资源之一。为研究挠力河自然保护区退耕湿地浮游动物群落结构特征, 本研究分别于2020年夏季(7月)和秋季(10月)在保护区内选取18个采样点进行采样鉴定与检测, 分析讨论了挠力河自然保护区浮游动物群落结构、多样性及其时空差异。共鉴定到浮游动物163种, 其中夏季123种, 秋季114种, 其中轮虫种类相对较多, 夏季和秋季浮游动物物种组成及物种数无显著性差异。不同季节优势种略有不同, 丰度时空差异较大, 各退耕湿地类型平均丰度秋季大于夏季, 生物多样性指数在夏季为早期恢复湿地 > 近期恢复湿地 > 自然湿地, 秋季自然湿地 > 早期恢复湿地 > 近期恢复湿地。

关键词

挠力河自然保护区, 浮游动物, 退耕还湿, 群落结构, 生物多样性

Community Structure Characteristic of Zooplankton in Naoli River Nature Reserve

Ruidong Liu¹, Wenli Lu², Xingyu Xie³, Xu Zheng³, Huan Ma³, Manhong Liu²

¹Heilongjiang Zhaoyuan River Wetland Nature Reserve Protection Center, Daqing Heilongjiang

²College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

³Heilongjiang Naoli River National Nature Reserve Administration, Shuangyashan Heilongjiang

Received: Sep. 10th, 2024; accepted: Oct. 22nd, 2024; published: Nov. 29th, 2024

Abstract

Wetland has the function of protecting soil, nourishing water, preserving biodiversity, and maintaining regional ecosystem balance, and is one of the important support resources for China's economic and social development. In this paper, in order to study the community structure characteristics of

文章引用: 刘瑞东, 路文丽, 谢兴宇, 郑绪, 马欢, 刘曼红. 挠力河自然保护区浮游动物群落结构特征[J]. 世界生态学, 2024, 13(4): 558-565. DOI: 10.12677/ije.2024.134072

zooplankton in the retired farmland wetland of Naoli River Nature Reserve, 18 sampling sites were selected in summer (July) and autumn (October) of 2020, respectively for sampling identification and detection, and the community structure, diversity and spatial and temporal differences of zooplankton in Naoli River Nature Reserve were analyzed and discussed. A total of 163 species of zooplankton were identified, including 123 species in summer and 114 species in autumn, among which there were relatively many species of rotifers. There was no significant difference in species composition and species number of zooplankton between summer and autumn. The dominant species were slightly different in different seasons, and the spatial and temporal differences in abundance were large. The average abundance of each converted wetland type was higher in autumn than in summer. The biodiversity index in summer was early restored wetland > recently restored wetland > natural wetland, with autumn of natural wetland > early restored wetland > recently restored wetland.

Keywords

Naoli River Nature Reserve, Zooplankton, Returning Farmland to Wetlands, Community Structure, Biological Diversity

Copyright © 2024 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

黑龙江挠力河国家级自然保护区地处三江平原中部，地跨黑龙江省宝清、富锦、饶河和抚远三县一市，位于东经 132°22'41" 到 134°10'24" 和北纬 46°30'10" 到 47°22'17" 间，总面积约为 160595.4 公顷，主要保护对象是由陆栖、水生生物和它们的栖息地组成的湿地与水体，是我国乃至世界同类型湿地中保存最为完好的原始湿地之一。保护区位于温带大陆性季风气候，年平均气温 2.31℃，降水主要集中在 6~8 月。

浮游动物具有个体小、增殖速度快、对环境变化敏感的特点，其群落结构变化可准确反映水体质量状况，常作为指示生物综合监测、评价水质[1]。在生物多样性保护实践中，生物多样性指数也是评价生物群落及生态系统状况的重要依据。近年来关于挠力河自然保护区湿地浮游植物研究较多，浮游动物的研究则少有报道。

本研究通过研究挠力河自然保护区湿地浮游动物多样性，分析挠力河自然保护区浮游动物群落结构时空特征及优势种差异，探讨影响浮游动物群落的环境因子，以期为保护区湿地的生态评估与保护提供理论参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 样点设置

根据挠力河自然保护区水系特征，共设 18 个采样点，位于黑龙江省挠力河国家级自然保护区的六个管理站，即大兴管理站、五九七管理站、红旗岭管理站、八五三管理站、八五二管理站和胜利管理站(图 1)，其中 5# 位于主河道，11#、13#、16#、17# 为自然湿地，其余均为不同年份、不同作物的退耕湿地(表 1)，根据不同的退耕年份，本研究将退耕湿地划分为早期恢复湿地(2014~2017 年退耕的湿地)和近期恢复湿地(2018~2020 年退耕的湿地)。分别于 2020 年夏季(7 月)和秋季(10 月)进行浮游动物的采集调查和水体理化因子的监测。

2.2. 样品采集与分析鉴定

用 5L 采水器分别采集水体表层、中层和底层水样混合共 20 L，使用 13# 号浮游生物网进行过滤，

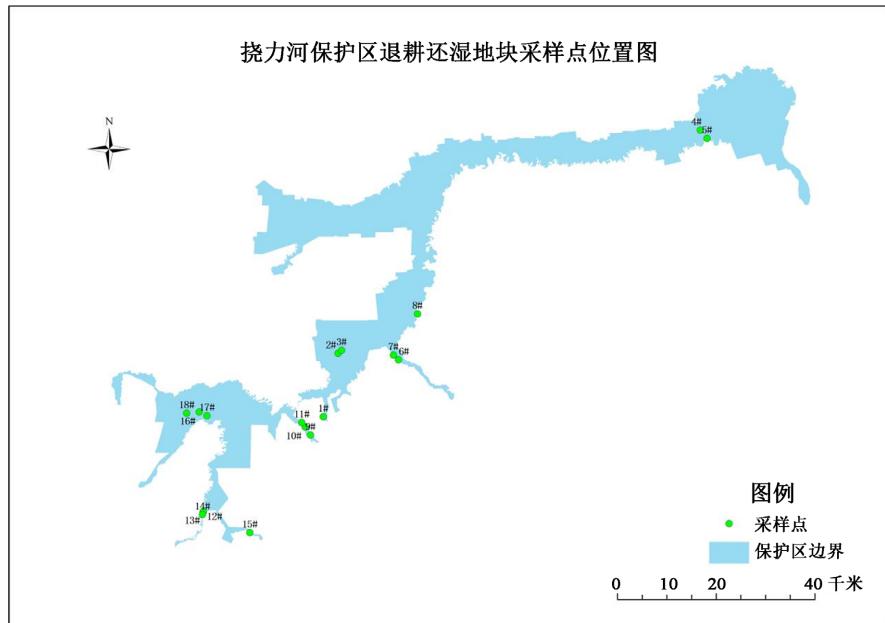


Figure 1. Setting of sampling sites in Naoli River Nature Reserve
图 1. 挠力河自然保护区采样点设置

Table 1. Basic information on sampling sites

表 1. 采样点基本信息

样点编号	类型	退耕前耕种作物	退耕时间
1#	早期恢复湿地	黄豆	2014 年
2#	早期恢复湿地	玉米	2017 年
3#	近期恢复湿地	黄豆	2018 年
4#	早期恢复湿地	大豆	2017 年
5#	主河道	/	/
6#	近期恢复湿地	水稻	2020 年
7#	早期恢复湿地	大豆	2014 年
8#	近期恢复湿地	水稻	2020 年
9#	近期恢复湿地	水稻	2020 年
10#	近期恢复湿地	玉米	2019 年
11#	自然湿地	/	/
12#	早期恢复湿地	大豆	2016 年
13#	自然湿地	/	/
14#	早期恢复湿地	大豆	2016 年
15#	近期恢复湿地	水稻	2019 年
16#	自然湿地	/	/
17#	自然湿地	/	/
18#	近期恢复湿地	大豆	2019 年

将水样浓缩至 30 ml 后用 4% 甲醛溶液固定并保存, 得到枝角类与桡足类样本; 轮虫和原生动物样本则使用 1 L 采水器多次采集得到 1 L 混合水样, 加入鲁哥氏液固定, 静置 36 小时后, 浓缩至 50 ml 保存备用。

对于浮游动物的定性及定量分析在显微镜 Motic BA400 下进行, 轮虫类鉴定参考《中国淡水轮虫志》[2], 原生动物鉴定主要参考《淡水浮游生物图谱》, 枝角类鉴定依据《中国动物志》(淡水枝角类) [3], 桡足类鉴定依据《中国动物志》(淡水桡足类) [4]。

2.3. 理化指标的测定

水体水质指标在取样时进行现场测定。使用卷尺和塞氏盘现场测量水深(WD)和透明度(SD); 使用便携式多功能水质分析仪 YSI-1600 测定水温(WT)、电导率(Cond)、pH、氯离子(Cl⁻)及浊度(Nur)。现场收集的水样装入 500 ml 褐色玻璃送到实验室测定水样理化指标。用 HACH 公司生产的多参数水质分析仪(DRB200/DR1900)及其配套相应试剂检测其溶氧量(DO)、化学需氧量(COD_{Cr})、总氮(TN)和总磷(TP)。

2.4. 数据处理

1) 浮游植物优势种根据优势度指数(Y)确定[5], 优势度指数 Y 计算公式如下:

$$Y = f_i \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

式中: n_i 为物种 i 密度, N 为所有物种总密度, f_i 为物种 i 的出现频率。当 $Y > 0.02$ 时定义为优势种。

2) Shannon-Wiener 多样性指数(H') [6] 与 Margalef 丰富度指数(D) [7] 计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

$$D = \frac{S-1}{\ln N} \quad (3)$$

式中: S 为种类数, N 为总个体数, P_i 代表第 i 种密度占总密度的比例。

2.5. 统计分析

使用 Excel 2021 对浮游动物种类数进行统计, 对浮游动物的丰度、生物量、生物多样性指数、优势度进行计算; 使用 SPSS 26.0 对退耕湿地与自然湿地浮游动物群落结构进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 检验浮游动物丰度、生物量、生物指数的差异是否显著。

3. 结果与分析

3.1. 浮游动物种类及组成

在 2020 年挠力河保护区湿地 18 个样点夏、秋季两次调查中, 共鉴定浮游动物 163 种(包括无节幼体)。其中, 轮虫物种数在夏秋两季及各湿地类型中均最多, 为 78 种, 占总数的 47.85%; 枝角类 30 种, 占总数的 18.40%; 原生动物 28 种, 占总数的 17.18%; 桡足类 27 种, 占总数的 16.56%。夏秋两季各类型湿地浮游动物物种数见图 2。夏季共检出浮游动物 123 种, 秋季共检出 114 种, 经方差分析可知, 夏季和秋季浮游动物物种数及组成无明显差异($P > 0.5$)。夏季物种数及生物量略高于秋季, 且夏季近期恢复湿地物种数略高于早期恢复湿地和自然湿地, 秋季早期恢复湿地物种数略高于近期恢复湿地和自然湿地。

3.2. 挠力河自然保护区浮游动物优势种

挠力河保护区夏秋两季浮游动物优势种也存在一定差异(表 2)。轮虫主要优势种有针簇多肢轮虫

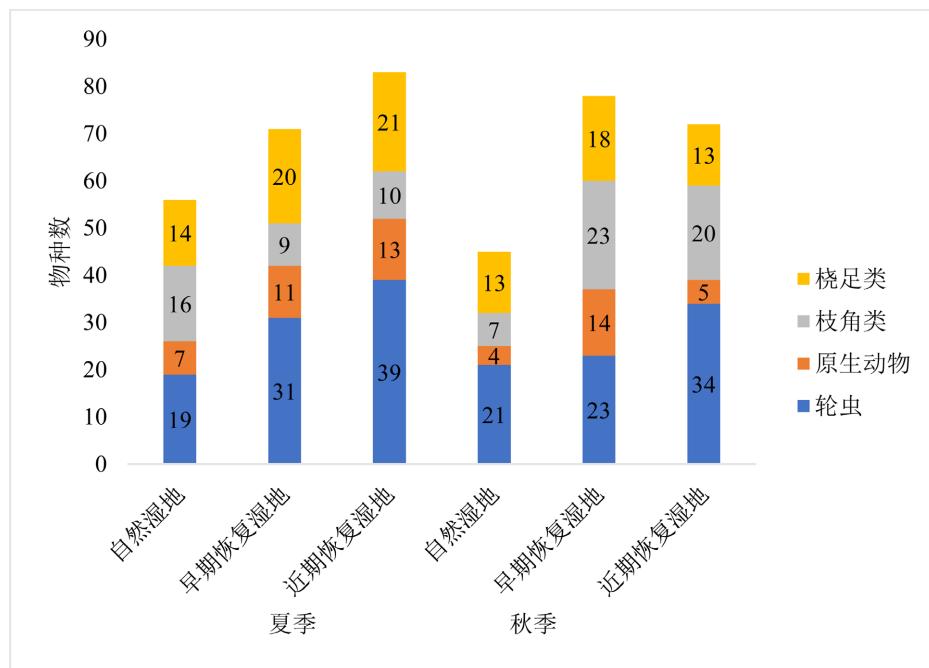


Figure 2. Species composition of zooplankton in Naoli River Nature Reserve
图 2. 挠力河自然保护区浮游动物物种组成

Table 2. Dominant zooplankton species and the dominance in Naoli River Nature Reserve
表 2. 挠力河自然保护区浮游动物优势种及其优势度

种名	夏季(7月)	秋季(10月)
叉爪单趾轮虫 <i>Monostyla furcata</i>	0.06	-
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	0.34	0.04
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	0.04	-
罗氏同尾轮虫 <i>Diurella rousseleti</i>	/	0.04
舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i>	-	0.03
腹足腹尾轮虫 <i>Gastropus hyptopus</i>	/	0.03
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.99	0.77
前节晶囊轮虫 <i>A. priodonta</i>	0.09	0.16
旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i>	-	0.04
绿急游虫 <i>S. viride</i>	0.39	0.08
大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i>	-	0.06
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.29	0.18
奇异尖额溞 <i>Alina eximia</i>	-	0.07
棘爪低额溞 <i>Stmocephalus exspinosus</i>	-	0.05
老年低额溞 <i>S. velulus</i>	-	0.03
短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurun</i>	0.08	-
长肢秀体溞 <i>D. leuchtenbergianum</i>	0.21	-

续表

卵形盘肠溞 <i>Chydorus ovalis</i>	/	1.89
无节幼体 <i>Nauplius</i>	0.72	0.13
英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	0.62	0.58
近邻剑水蚤 <i>C. vicinus vicinus</i>	0.26	0.26
矮小刺剑水蚤 <i>Acanthocyclops vernalis</i>	-	0.03
棘尾刺剑水蚤 <i>A. bicuspidatus</i>	0.03	0.05
毛饰拟剑水蚤 <i>Paracyclops fimbriatus</i>	0.36	0.14
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	1.98	1.10
等刺温剑水蚤 <i>Thermocyclops kawamurai</i>	0.36	0.23
长尾小剑水蚤 <i>Microcyclops longiramus</i>	1.04	0.40
跨立小剑水蚤 <i>M. varicans</i>	0.18	0.32
锥肢蒙镖水蚤 <i>Mongolodiaptomus birulai</i>	0.03	-
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	0.03	-
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	0.06	-

注：“/”表示未检出，“-”表示检出但非优势种。

(*Polyarthra trigla*)、螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)，原生动物优势种主要为绿急游虫(*Strombidium viride*)，枝角类主要优势种有长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、长肢秀体溞(*Diaphanosoma leuchtenbergianum*)、卵形盘肠溞(*Chydorus ovalis*)，桡足类主要优势种有无节幼体(*Nauplius*)、英勇剑水蚤(*Cyclops strenuus*)、广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)、长尾小剑水蚤(*Microcyclops longiramus*)。

3.3. 浮游动物丰度的时空分布及多样性、丰富度指数

挠力河自然保护区浮游动物丰度时空差异较大(表 3)。夏季浮游动物总丰度为 10.43 个·L⁻¹，秋季为 21.91 个·L⁻¹；自然湿地夏季浮游动物平均丰度为 6.67 个·L⁻¹，秋季为 12.49 个·L⁻¹；近期恢复湿地夏季平均丰度为 14.01 个·L⁻¹，秋季为 28.99 个·L⁻¹；早期恢复湿地夏季平均丰度为 9.38 个·L⁻¹，秋季为 12.50 个·L⁻¹，各采样点间总丰度差异显著($P < 0.05$)。夏季近期恢复湿地浮游动物丰度相对较大，其次是早期恢复湿地，自然湿地浮游动物丰度相对较小，5#主河道浮游动物丰度基本处于近期恢复湿地与早期恢复湿地之间；秋季近期恢复湿地与早期恢复湿地浮游动物丰度基本相似，自然湿地浮游动物丰度略小，5#主河道浮游动物丰度最小。

各采样点浮游动物多样性指数、丰富度指数在时空分布也略有差异。挠力河保护区夏季浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数平均值为 2.053，其中自然湿地为 1.694，早期恢复湿地为 2.078，近期恢复湿地为 2.289；秋季平均值为 2.380，其中自然湿地为 3.821，早期恢复湿地为 2.227，近期恢复湿地为 2.437，夏秋两季三类湿地间差异不显著($P > 0.05$)。夏季浮游动物 Margalef 丰富度指数平均值为 4.620，其中自然湿地为 2.480，早期恢复湿地为 4.517，近期恢复湿地为 5.256；秋季平均值为 5.042，其中自然湿地为 4.812，早期恢复湿地为 5.150，近期恢复湿地为 5.021，夏季与秋季的自然湿地、早期恢复湿地和近期恢复湿地间存在显著差异($P < 0.05$)。

Table 3. Zooplankton abundance, diversity index, and richness index in Naoli River Nature Reserve
表 3. 挠力河自然保护区浮游动物丰度、多样性指数、丰富度指数

采样点	夏季							秋季						
	物种数/种				总丰度/ 个·L ⁻¹	H'	D	物种数/种				总丰度/ 个·L ⁻¹	H'	D
	轮虫	原生 动物	枝角 类	桡足 类				轮虫	原生 动物	枝角 类	桡足 类			
1#	15	3	4	8	18.60	3.266	7.452	9	5	19	13	36.50	2.607	7.634
2#	5	7	0	1	12.05	2.079	3.171	2	7	7	6	42.35	2.592	5.211
3#	14	5	3	12	19.75	2.723	6.417	6	3	3	6	10.35	2.512	5.490
4#	0	0	1	7	0.40	1.677	3.417	9	3	3	2	26.30	2.585	5.080
5#	4	1	4	2	5.30	2.119	4.309	4	0	2	1	4.15	1.946	3.736
6#	3	3	0	0	6.00	1.440	2.612	7	1	1	2	11.15	2.305	4.500
7#	13	7	5	15	21.00	2.787	6.828	6	1	4	8	10.55	1.697	5.551
8#	18	9	6	16	28.10	2.771	8.306	6	0	0	3	9.20	2.138	3.601
9#	8	6	6	14	15.00	2.391	6.153	14	2	4	8	49.15	2.451	5.460
10#	10	1	2	5	11.35	2.066	4.453	7	1	1	3	13.45	2.350	4.391
11#	15	5	8	10	20.90	2.845	6.403	12	1	1	4	31.45	2.672	5.163
12#	3	1	0	0	4.00	1.330	2.885	5	1	1	2	8.15	2.146	4.248
13#	0	0	0	0	0.00	0.000	0.000	9	0	0	1	11.05	2.254	3.751
14#	0	0	0	4	0.20	1.330	3.349	4	0	0	2	5.15	1.733	3.177
15#	10	1	0	3	11.15	1.962	4.120	6	2	2	8	18.65	2.491	4.809
16#	2	2	6	13	4.95	1.865	4.588	6	2	0	9	8.65	2.780	5.816
17#	1	1	1	3	2.20	1.642	3.806	5	1	4	8	7.15	2.746	5.595
18#	4	2	3	11	6.70	2.668	4.732	10	2	16	9	90.95	2.810	6.893
平均	6.9	3.0	2.7	6.9	10.43	2.053	4.611	7.1	1.8	3.8	5.3	21.91	2.379	5.006

4. 讨论

4.1. 夏秋两季浮游动物群落差异

本次调查共采集到浮游动物 163 种, 夏季(7 月)采集到 123 种, 秋季(10 月)114 种。挠力河浮游动物中轮虫相对占有优势, 桡足类、枝角类次之, 原生动物种类较少, 夏季总体略高于秋季, 但物种组成与物种数无明显差异, 与过去研究[8]结果基本一致。Balvay [9]的研究表明, 浮游动物受其所在水环境中水流流速影响较显著, 挠力河水流相对较缓, 有利于浮游动物生存。各采样点附近各类水生植物繁茂, 水环境复杂, 营养程度较高, 丰富的有机质可为浮游动物提供充足的食物来源, 不同的水生植物类群也可为其创造多种适宜其生存的生境。此外, 侯文久等[10]对挠力河保护区退耕湿地与自然湿地水质进行了评价, 发现水质均处于中富营养到富营养状态, 水体中浮游植物群落结构较稳定, 种类及生物量也较为丰富, 轮虫世代交替周期较短, 耐污种类较多, 这些都是可能导致轮虫种类相对丰富的原因。

挠力河保护区浮游动物丰度时空差异显著。浮游动物丰度呈现出秋季大于夏季, 可能受捕食者如浮游生物食性的鱼类种群密度及捕食强度等因素影响, Glivicz 等[11]的研究发现, 鱼类在夏季摄食强度明

显增加, 浮游动物被捕食概率随之增大。8#采样点夏季轮虫生物量明显高于其他样点, 推测可能由于该区域上述蓝藻爆发性增长导致。

4.2. 不同类型退耕湿地浮游动物群落差异

分析 Shannon-Wiener 多样性指数与 Margalef 丰富度指数可知, 夏季二者均表现为自然湿地 < 近期恢复湿地 < 早期恢复湿地, 可能由于退耕的农田逐渐恢复为湿地, 原土壤中残留的大量有机物及氮、磷等营养元素随之释放到水体中, 引起水体有机物质和营养盐浓度的升高, 高营养程度导致浮游植物大量繁殖, 也为浮游动物提供了生存繁殖基础。秋季浮游动物多样性指数在三组湿地无显著差异, 具体来说, 自然湿地 > 早期恢复湿地 > 近期恢复湿地, 由此可知退耕湿地恢复情况较好, 但仍未恢复到自然湿地状态, 早期恢复湿地的恢复情况优于近期恢复湿地。虽然关于挠力河保护区浮游动物的研究还处于空白状态, 但刘笳旻等[12]曾对挠力河保护区退耕湿地与自然湿地的软体动物群落进行了研究, 发现挠力河保护区退耕湿地恢复状态良好, 但仍处于恢复状态, 这与本文结论相似。

5. 结论

- 1) 本研究中挠力河自然保护区共鉴定到浮游动物 3 门 163 种, 其中夏季(7 月)123 种, 秋季 114 种。不同季节及各类型湿地浮游动物物种组成及物种数无明显差异, 但不同季节优势种存在一定差异。
- 2) 挠力河保护区浮游动物丰度时空差异表现为秋季 > 夏季, 近期恢复湿地 > 早期恢复湿地 > 自然湿地。生物多样性和丰富度指数在夏季与秋季的自然湿地、早期恢复湿地和近期恢复湿地间存在一定差异, 生物多样性指数夏季为早期恢复湿地 > 近期恢复湿地 > 自然湿地, 秋季为自然湿地 > 早期恢复湿地 > 近期恢复湿地。
- 3) 不同类型湿地对水体理化因子产生一定影响, 早期恢复湿地的恢复情况优于近期恢复湿地, 说明退耕还湿工作已经有了显著成效, 退耕湿地恢复情况较好, 但仍未恢复到自然湿地状态。

参考文献

- [1] 吴转璋, 朱超, 唐萍, 等. 巢湖湖区浮游动物群落结构及其水质评价[J]. 能源环境保护, 2022, 36(4): 109-116.
- [2] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [3] 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.
- [4] 沈嘉瑞, 戴爱云. 中国动物志, 节肢动物门, 甲壳纲, 淡水挠足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [5] 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>
- [6] Shannon, C.E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- [7] Margalef, R. (1951) Diversidad de Especies en las comunidades naturales. *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, **9**, 5-27.
- [8] 李上. 大佳河自然保护区浮游生物功能群研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
- [9] Balvay, G. (1990) Long-Term Changes in Zooplankton Abundance and Water Transparency in Lake Geneva. *Hydrobiologia*, **207**, 31-36. <https://doi.org/10.1007/bf00041437>
- [10] 侯文久, 于洪贤, 刘曼红, 等. 挠力河自然保护区不同作物类型退耕还湿地浮游植物群落结构特征[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(4): 60-65.
- [11] Gliwicz, Z.M. and Pijanowska, J. (1989) The Role of Predation in Zooplankton Succession. In: Sommer, U., Ed., *Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities*, Springer, 253-296. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74890-5_7
- [12] 刘笳旻. 挠力河保护区退耕湿地与自然湿地底栖动物群落比较研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2022.