

淮南焦岗湖轮虫群落结构特征及季节变化

洪 铨, 孙德鑫, 巩克核

烟台大学土木工程学院, 山东 烟台

收稿日期: 2024年1月5日; 录用日期: 2024年1月18日; 发布日期: 2024年2月23日

摘 要

焦岗湖是淮河流域重要的浅水湖泊和淮河中游最大的湖泊生态湿地系统, 浮游动物对湖泊生态系统结果平衡起着重要的调节作用。为研究安徽省淮南市焦岗湖浮游动物轮虫群落结构及季节变化, 于2016年12月至2017年11月开展12个自然月的调查研究, 采用生物多样性指数和均匀度指数评价方法对浮游动物多样性进行评价, 并且分析轮虫生物量的季节变化。研究表明, 秋季的浮游动物轮虫的生物量最大, 夏季的生物多样性指数最高。通过生物多样性指数的评价方法, 焦岗湖的水质情况为中度污染水平。

关键词

轮虫, 群落结构, 生物量, 多样性指数, 均匀度指数

Rotifer Community Structure Characteristics and Seasonal Changes in Jiaogang Lake, Huainan

Quan Hong, Dexin Sun, Kehe Gong

School of Civil Engineering, Yantai University, Yantai Shandong

Received: Jan. 5th, 2024; accepted: Jan. 18th, 2024; published: Feb. 23rd, 2024

Abstract

Jiaogang Lake is an important shallow lake in the Huaihe River Basin and the largest lake ecological wetland system in the middle reaches of the Huaihe River, and zooplankton plays an important role in regulating the balance of lake ecosystem results. In order to study the community structure and seasonal changes of zooplankton rotifers in Jiaogang Lake, Huainan City, Anhui Province, a 12-natural-month survey study was carried out from December 2016 to November 2017 to evaluate zooplankton diversity by using the biodiversity index and evenness index evaluation methods, and to analyze the seasonal changes of rotifer biomass. The study showed that the zoop-

lankton rotifers had the highest biomass in autumn and the highest biodiversity index in summer. The water quality condition of Jiaogang Lake was found to be at moderate pollution level by the evaluation method of biodiversity index.

Keywords

Rotifers, Community Structure, Biomass, Diversity Index, Evenness Index

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

轮虫是浮游生物群落中不可或缺的重要成员之一。它们以其快速的异源繁殖能力而闻名。轮虫属于一类微小的多细胞生物，其身体呈圆盘状，通常只有几毫米长。它们广泛分布于淡水和海水中，是水生生态系统中的重要组成部分。它们是第一个通过放牧浮游植物造成影响的浮游动物[1]。此外，轮虫影响微生物食物网内的各种相互作用，这些相互作用发生在几个营养水平上。轮虫是微小的食草动物，常见于淡水栖息地的浮游生物中，以单细胞藻类和细菌为食。在食物丰富的地方，它们可能超过每升水 5000 [2]。它们的丰度反映了富营养化；例如，耳蜗角质菌和四方角藻随着磷输入的增加而增加。

轮虫参与了湖泊生态系统中的物质循环。它们通过摄食和排泄的过程，将有机物质转化为无机物质，并释放出营养物质，如氮、磷等，进一步促进了湖泊中的营养循环。此外，轮虫还能够分解有机废弃物，将其转化为可利用的营养物质，从而减少了湖泊中有机物的积累。轮虫对于湖泊生态系统的能量流动也起着重要的作用。它们作为食物链中的重要环节，通过食物链的能量传递，进行有机污染物的传递，常被国内外学者作为生态环境研究的指示物种[3] [4]。

淮河流域位于中国东部，长江和黄河流域之间，全长 1000 公里，流域总面积 27 万平方公里。淮河流域的产业以煤炭、电力、轻工业为主。淮河流域周边随着流域城市化和工业化进程的推进，越来越多的污染物排入河流，导致水环境恶化。焦岗湖位于淮河中游左岸，为省级湖长主管，是淮北平原最大的淡水湖泊湿地生态系统，发挥着蓄洪、灌溉、水产养殖、水质净化、气候调节、区域生物多样性维护等重要的生态功能[5]。

焦岗湖作为淮河流域一个重要的支流河道型湖泊，近年来，随着焦岗湖流域周边社会经济的快速发展，导致生态系统产生负面影响，水质出现恶化趋势，呈现轻度富营养化状态[6]，亟需各界对焦岗湖的生境提供生态修复方法。本研究的目标是研究淮河支流焦岗湖的浮游动物轮虫群落结构特征和季节变化规律，以期为保护湖泊河流生态环境提供科学依据。焦岗湖是淮河的一个支流，其浮游动物轮虫群落是我们研究的对象。我们将通过采集焦岗湖的水样，并使用现代生物学技术对其中的浮游动物轮虫进行分析。我们将研究轮虫的群落结构特征，包括物种组成、生物量和多样性等方面的变化。此外，我们还将关注季节变化对轮虫群落的影响，以了解不同季节下轮虫群落的变化趋势。

2. 材料与方法

2.1. 研究区域概况

焦岗湖位于淮河左岸，流域面积达 480 km²，横跨安徽省淮南市和阜阳市。湖泊大致呈东西稍长南北

稍窄的椭圆形, 平均水深为 2 m 左右。年均气温 15℃, 年均水温 14℃; 多年平均降水量为 905.2 mm, 汛期为 5~9 月, 降水年际变化较大, 季节分配不均。焦岗湖水系通达, 主要入湖河流有南中心沟、北中心沟、穆台沟、枣林涵、丁家沟等, 主要出水河流为便民沟, 便民沟为一人工河道, 全长 2.7 km, 从焦岗湖东南流出汇入淮河。焦岗湖上游河道接纳大量生活污水以及湖区养殖是焦岗湖水环境持续污染的主要原因, 污染物通过入湖河流进入湖体, 影响湖区水质, 同时湖区水质也与土地利用类型的变化密切相关[7]。

2.2. 样品采集与分析

本研究在焦岗湖上游设置 1 个浮游动物轮虫采样点, 于 2016 年 12 月至 2017 年 11 月, 每个月(共计 12 次)进行的轮虫样品采集工作(图 1)。轮虫样本为混合试样, 采集方法与对浮游动物的采集方法一致。采用浅水 I 型浮游生物网(网长 145 cm, 网口内径 50 cm, 网口面积 0.2 m², 网目尺寸 507 μm)从底层垂直拖至水面采集浮游动物。如果倾斜角超过 45 度, 则使用较重的沉降片重新采集样本。浮游动物样本在采集后立即用 5% 福尔马林保存。浮游动物样本送到实验室浓缩后, 使用立体解剖显微镜和显微镜, 根据专业书籍或同行评审的参考文献, 尽可能以最低的分类分辨率进行鉴定[8] [9] [10]。



Figure 1. Schematic diagram of the research area
图 1. 研究区域示意图

2.3. 数据处理

本研究采用优势度指标(Y)确定优势物种, 运用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)对花家湖浮游植物群落结构进行分析评价。各项指数的计算公式如下:

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

$$p_i = n_i / N \quad (2)$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (3)$$

$$J = \frac{H'}{\ln S} \quad (4)$$

在这些方程中, N 是样本中的个体总数; S 是样品中鉴定的物种总数; p_i 是第 i 种的个体总数与收集的个体总数的比率; n_i 为物种 i 的个体总数; f_i 是每个样本中第 i 种的频率。当物种优势 $Y \geq 0.02$ 时, 该物

种将被确定为优势物种。 H' 是一个用来衡量样品中浮游动物轮虫多样性的指数。它通过计算每种浮游动物轮虫个体数占总个体数的比例来得出。 H' 的值越大,表示采样点的物种多样性越高。根据评价标准, H' 被分为三个级别,具体的分级标准可以参考表 1。多样性指数是生态系统健康和稳定性的重要指标。一个生物多样性丰富的区域通常意味着存在着多种不同的物种,这些物种之间相互依存、相互作用,形成了复杂的生态网络。这种多样性有助于提高生态系统的抵抗力和恢复力,使其能够应对环境变化和干扰。

Table 1. Biodiversity index pollution level evaluation and classification

表 1. 生物多样性指数污染水平评价分级

多样性指数	$0 < H' < 1$	$1 < H' < 2$	$2 < H' < 3$	$H' > 3$
污染水平	重度污染	中度污染	轻度污染	清洁

3. 结果与分析

3.1. 轮虫种类组成及生物量

如图 2 所示,2016 年 12 月~2017 年 11 月期间主要监测出 6 种轮虫,分别为臂尾轮虫属、三肢轮属、龟甲轮属、晶囊轮属、多肢轮属、异尾轮属,以及其他一些占比较少的轮虫属。秋季和冬季是轮虫生物量变化的两个重要季节。在秋季,多肢轮属和晶囊轮属的轮虫生物量占比最大,其次是龟甲轮属。而在冬季,多肢轮属和龟甲轮属的轮虫生物量占比较大。具体来说,在 2017 年 5 月份,轮虫生物量显著增高,并在夏季维持了一段较高的水平。这段时间以晶囊轮属、多肢轮属和异尾轮属的轮虫属为主。这表明这些轮虫属在这个时期的生态环境中具有较高的适应能力和竞争力。总的来说,不同季节和时段,不同的轮虫属在轮虫总生物量中占据主导地位。

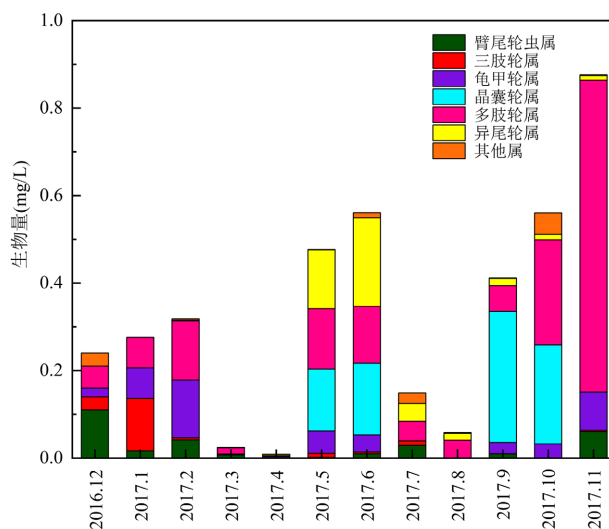


Figure 2. Schematic diagram of rotifer biomass proportion in Jiaogang Lake

图 2. 焦岗湖轮虫生物量占比示意图

焦岗湖监测点的四季下轮虫优势种组成(表 2)如下:冬季和春季是浮游动物轮虫优势物种最多的季节,其次是秋季和夏季,秋季有 4 种优势种,夏季最少,仅有 3 种优势种。这可能是因为秋季和夏季的环境条件对这些物种的生存和繁殖不太有利,导致它们在这两个季节中数量较少。夏季的针簇多肢轮虫的优势度最大($Y = 0.37$),其次是暗小异尾轮虫($Y = 0.33$);在秋季,针簇多肢轮虫是最具优势的物种($Y = 0.54$),

然后是无棘螺形龟甲轮虫($Y = 0.14$)。而在冬季,有三种物种的优势度均超过了0.1。针簇多肢轮虫仍然是最具优势的物种($Y = 0.34$)。其次是迈氏三肢轮虫($Y = 0.18$)、有棘螺形龟甲轮虫($Y = 0.10$)、矩形龟甲轮虫($Y = 0.09$)和萼花臂尾轮虫($Y = 0.08$)。这些物种在冬季中表现出了较高的竞争力和适应能力。总的来说,针簇多肢轮虫在秋季和冬季都是最具优势的物种之一,而其他物种也展现出了一定的竞争力。

Table 2. Dominant species of rotifers in Jiaogang Lake
表 2. 焦岗湖轮虫的优势种

冬		春		夏		秋	
种类	优势度	种类	优势度	种类	优势度	种类	优势度
萼花臂尾轮虫	0.08	无棘螺形龟甲轮虫	0.33	对棘同尾轮虫	0.04	无棘螺形龟甲轮虫	0.14
有棘螺形龟甲轮虫	0.10	有棘螺形龟甲轮虫	0.23	暗小异尾轮虫	0.33	有棘螺形龟甲轮虫	0.07
矩形龟甲轮虫	0.09	对棘同尾轮虫	0.06	针簇多肢轮虫	0.37	暗小异尾轮虫	0.09
针簇多肢轮虫	0.34	暗小异尾轮虫	0.10			针簇多肢轮虫	0.54
迈氏三肢轮虫	0.18	针簇多肢轮虫	0.22				

3.2. 轮虫多样性和均匀度

根据图3的数据,我们可以看出焦岗湖的多样性指数和均匀度指数在不同季节之间存在显著变化。夏季的多样性指数最高($H' = 2.37$),而春季的均匀度指数最高($J = 0.74$)。相比之下,秋季的多样性指数和均匀度指数都是最低的,分别为2.13和0.61;春季和冬季的多样性指数分别为2.24和2.21,夏季和冬季的均匀度指数都为0.71。夏季到秋季的多样性指数下降了10.13%,均匀度指数下降了14.08%。根据生物多样性指数污染水平的评价标准,焦岗湖的水质污染水平可以被归类为中度污染。这些指数的变化表明全年焦岗湖的水质情况较差,其中夏季和春季的水质相对较好,而秋季的水质最差。这些结果对于了解焦岗湖的生态环境和水质状况非常重要,可以为相关部门提供相关数据支持。

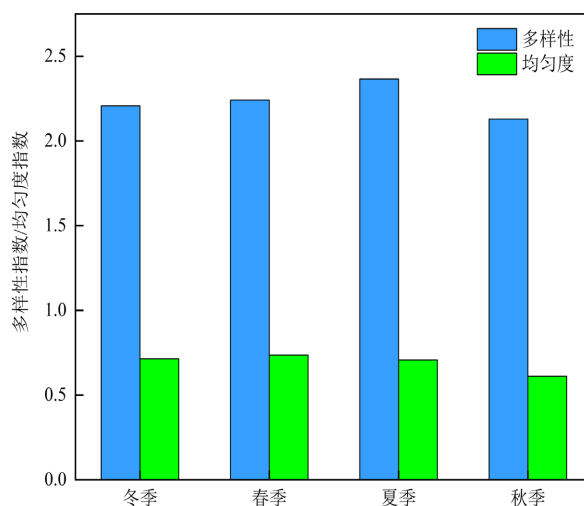


Figure 3. Diversity index and evenness index of rotifers in Jiaogang Lake
图 3. 焦岗湖轮虫多样性指数与均匀度指数

4. 结论

本研究对焦岗湖的湖中心采样,共检测到轮虫动物6种主要的轮虫属,根据季节变化,生物量的顺序是秋季 > 冬季 > 春季 > 夏季。夏季的物种多样性相对较低,而冬季和春季的物种多样性较高,秋季则位于两者之间。这是因为夏季的高温和干旱条件限制了许多物种的生存和繁殖能力,导致物种种类数较少。相比之下,冬季和春季的温度和湿度更适宜物种的繁衍,因此有更多的物种能够在这两个季节中繁衍生息。冬季的优势物种种类最多,这是因为冬季的低温和降雪为一些特定的物种提供了理想的生存环境。例如,一些动物和植物物种具有适应寒冷环境的特殊生理和生态特征,使它们能够在冬季生存和繁殖。

焦岗湖的水质污染水平为中度污染,表明研究区域的水质情况较差,使得生态环境较为恶劣,不适宜浮游动物轮虫生长,因此浮游动物轮虫多样性一般。秋季的浮游动物轮虫的生物量最大,说明轮虫更适宜在秋季稳定的温度环境下生存繁殖,并且随着时间的推移,温度逐渐降低,浮游动物轮虫的生物量逐渐减小,在春季末期,温度逐渐提升至轮虫适宜生存繁殖的温度,生物量逐渐提高,并且在夏季较高温的情况下,繁衍出较多种类的轮虫。温度、盐度和一些营养物质是影响浮游动物群落组成和结构的最重要因素。水温对浮游动物的生理活动和生活习性有显著影响。较高的水温可以促进浮游动物生物的新陈代谢率和生长速度,加速其生命周期和繁殖过程。然而,如果水温超过某些物种的耐受范围,它们的生存和繁殖可能会受到高度抑制。

5. 讨论

作为淡水湖泊湿地生态系统,浮游动物群落发生深刻变化。人类活动对湖泊浮游动物轮虫群落结构有较大影响。这反映在物种数量、生物多样性指数,尤其是轮虫的生物量上。焦岗湖在本研究中被视为淮河支流河道型湖泊,浮游动物轮虫的营养物质和丰度自然很高。在现场调查时发现,在焦岗湖周边存在居民的生活污水和工业废水的排放,从而导致水质恶化,使得焦岗湖的水生态系统遭到破坏,轮虫的生物量、均匀度全年也较低,并且生物多样性指数表现为中度污染水平。

参考文献

- [1] 师艳丽,张依章,闫祯,等.天津市近岸海域秋季浮游动物群落结构与环境因子相关性[J].环境工程技术学报,2022,12(6):1995-2001.
- [2] 孙海博,王小豪,何苗,等.长江如皋段的浮游动物群落结构及其与水环境因素的关系[J].湿地科学,2023,21(4):555-563. <https://doi.org/10.13248/j.cnki.wetlandsci.2023.04.009>
- [3] 陈菁怡,耿兆楣,张秋英,等.白洋淀浮游生物群落结构及关键环境因子分析[J/OL].青岛农业大学学报(自然科学版),1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1459.N.20240103.1403.002.html>,2024-01-05.
- [4] Zolotareva, T.V., et al. (2022) Seasonal Dynamics of the Alien Species *Kellicottia bostoniensis* (Rotifera, Brachionidae) in the Urban Heterogeneous Lakes. *Inland Water Biology*, **15**, 573-579.
- [5] 高月香,严若孟,张毅敏,等.2014-2019年焦岗湖水水质时空变化与影响因子分析[J].生态与农村环境学报,2022,38(12):1567-1575. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2021.0544>
- [6] 王羽辉.河湖健康评价体系在安徽省焦岗湖的探索与应用[J].江淮水利科技,2022(2):8-11. <https://doi.org/10.20011/j.cnki.JHWR.202202003>
- [7] 杨阳,蔡怡敏,白艳莹,等.焦岗湖湿地土地利用格局演变及区域可持续性评价[J].环境科学,2015,36(6):2320-2326. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.2015.06.054>
- [8] 陈立婧,刘樵,彭自然,等.阳澄湖养蟹网围内外轮虫群落结构的变化及分析[J].水产学报,2011,35(8):1247-1257.
- [9] 陈佳林,余海军,王茜.大清河流域浮游动物的群落特征研究[J].水生态学杂志,2021,42(3):72-78.

<https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.201911220291>

- [10] 叶文建, 杜萍, 寿鹿, 等. 舟山海域大中型浮游动物群落时空变化及受控要素[J]. 生态学报, 2021, 41(1): 254-267.