

哈尔滨松北国家湿地公园春季浮游动物功能群研究

柴一涵^{1*}, 雷国康^{2*}, 陈方昕³, 曹 钊¹, 杨晨浩¹, 叶纯子³, 吴炳懿³, 于洪贤^{1#}, 柴方营^{4#}

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²中石油昆仑气电有限公司, 黑龙江 大庆

³哈尔滨市林业和草原科研中心, 黑龙江 哈尔滨

⁴黑龙江科技大学, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2021年12月19日; 录用日期: 2022年1月21日; 发布日期: 2022年1月28日

摘 要

为了解松北国家湿地公园春季的水体浮游动物群落结构特征及其与水环境因子之间的关系, 2021年5月在松北国家湿地公园设置了8个采样点并进行浮游动物的采集以及水体理化因子的测定。结果表明, 因未发现小型浮游动物捕食者SCC、中型浮游动物捕食者MCC、大型浮游动物捕食者LCF, 因此共划分为七个功能群, 其中以RF功能群占显著优势。除此之外, 通过Pearson相关分析和RDA多元统计分析, 功能群PF与LCC之间存在强负相关, 理化因子TN和TP与各浮游动物功能群之间存在明显的正相关性, pH具有一定的负相关性, 水温则不具有明显相关性。

关键词

浮游动物, 功能群, 松北国家湿地公园

Study on Zooplankton Functional Groups in Harbin Songbei National Wetland Park in Spring

Yihan Chai^{1*}, Guokang Lei^{2*}, Fangxin Chen³, Zhao Cao¹, Chenhao Yang¹, Chunzi Ye³, Bingyi Wu³, Hongxian Yu^{1#}, Fangying Chai^{4#}

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²PetroChina Kunlun Gas and Electricity Co., Ltd., Daqing Heilongjiang

³Harbin Forestry and Grassland Research Center, Harbin Heilongjiang

*共同第一作者。

#共同通讯作者。

文章引用: 柴一涵, 雷国康, 陈方昕, 曹钊, 杨晨浩, 叶纯子, 吴炳懿, 于洪贤, 柴方营. 哈尔滨松北国家湿地公园春季浮游动物功能群研究[J]. 世界生态学, 2022, 11(1): 30-37. DOI: 10.12677/ije.2022.111005

⁴Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

Received: Dec. 19th, 2021; accepted: Jan. 21st, 2022; published: Jan. 28th, 2022

Abstract

In order to understand the characteristics of the zooplankton community structure in the water column during spring in the Songbei National Wetland and the relationship between it and water environmental factors, as well as to evaluate the water environmental health system through data such as phytoplankton diversity, eight sampling sites were set in the Songbei National Wetland in May 2021 and collection of plankton and determination of water physicochemical factors were performed. A total of seven functional groups were classified, with the RF functional group dominating, since SCC of small zooplankton predators, MCC of medium zooplankton predators and LCF of large zooplankton predators were not found. Besides that, there were strong negative correlations between functional groups PF and LCC, clear positive correlations between physicochemical factors TN and TP and each zooplankton functional group by Pearson correlation analysis and RDA multivariate statistical analysis, some negative correlations between pH and water temperature.

Keywords

Plankton, Functional Groups, Songbei National Wetland Park

Copyright © 2022 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

在对水生态系统进行评估的过程中, 浮游动物作为其中关键的一个组成成分, 是可以被用来作为对水生态特征进行分析的关键性指标之一。目前大量文献研究表明, 浮游动物是自然存在的水域中的食物链不可或缺的一部分, 在物质循环中起到了促进作用, 同时也调节了能量传递[1]。且浮游动物在较大范围内都有分布、产生下一代的周期很短、且物种繁多, 是水体中重要的功能生态类群, 对水生态系统的物质循环起到促进作用, 同时对能量流动也有一定的调节作用[2]。

哈尔滨松北国家湿地公园介于北纬 45°51'~45°52', 东经 126°27'~126°28'之间。其中湿地面积 55.51 公顷, 湿地面积占总面积的 43.55% [3]。2019 年符合了国家验收标准。在本文中, 以松北国家湿地公园作为研究的主体, 讨论了湿地公园中浮游动物功能群的结构, 并通过浮游动物群落结构特征对水生态健康进行了分析, 为维持和保护松北国家湿地公园的生态环境健康提供参考。

2. 材料和方法

2.1. 采样点设置

为掌握松北国家湿地公园水质情况, 于 2021 年 5 月(春季)对松北湿地公园的共设置了 8 个采样点(图 1), 采样原则为以全湿地为尺度, 使采样点的分布尽量均匀, 同时考虑其水流支系与道路分布的情况,

最大限度地让采样得到的样品能够合理的代表采样地的真实情况，在每个采样点的中心部分每次重复采样 3 次，且每次取水样 1 升，回到室内进行室内分析测定。

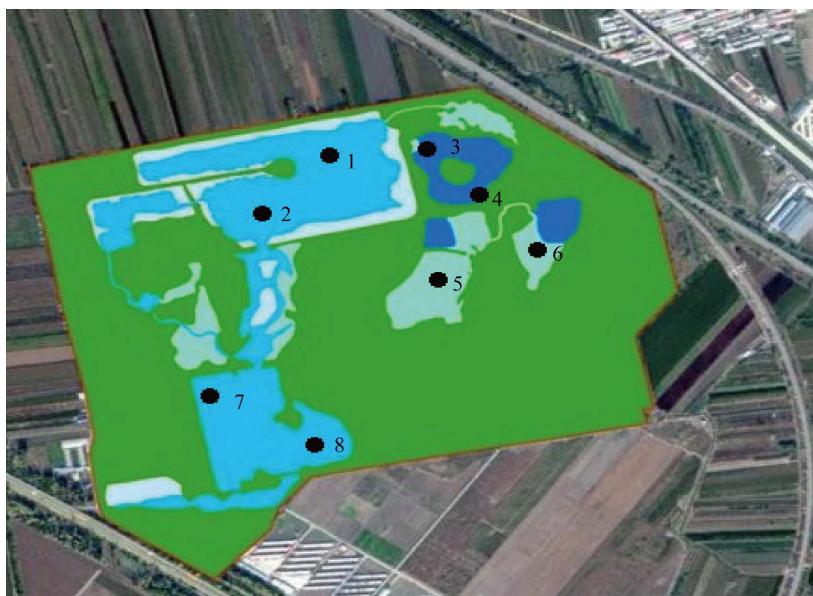


Figure 1. Sampling point map for water quality testing
图 1. 水质检测采样点图

2.2. 采样与处理

2.2.1. 定性样品的采集

使用浮游生物定性网进行多次拖网采集工作，于已经确定的采样点的水下 1 m 处呈“8”字形重复拖动多次，控制采样时间均处于 5~10 分钟的范畴内。样品采集工作完成后，将浮游生物定性网从水中取出，将多余的水分完全过滤，即可打开收集杯的栓塞，转移至特定的标本瓶中，贴上标签，方便在实验室进行下一步的鉴定与处理工作。

2.2.2. 定量样品的采集

采集定量样品可用采水器和定量网进行采集。每次采集水样 5 L，过滤浓缩后进行药物固定，带回实验室进行镜检。

2.3. 浮游动物功能群划分

如表 1 所示，根据浮游动物的大小的不同和摄食习性方面的差异，人为地把淡水生态系统中的浮游动物划分为 7 个功能群：PF、PC、RF、RC、SCF、MCF、LCC [4]。

Table 1. Classification of freshwater zooplankton functional groups
表 1. 淡水浮游动物功能群分类

| 功能群 Functional groups | 缩写 Abbreviation | 大小/mm Size | 摄食习性 Feeding habits |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|------------------------|
| 原生动物滤食者 Protozoas filter feeders | PF | | 滤食者，以细菌、藻类和有机质为食 |
| 原生动物捕食者 Protozoas carnivora | PC | | 捕食者，以小型原生动物为食 |

Continued

| | | | |
|---|-----|---------|-------------------------------|
| 轮虫滤食者 Rotifers filter feeders | RF | | 滤食者，以细菌、藻类和有机质为食 |
| 轮虫捕食者 Rotifers carnivora | RC | | 捕食者，以原生动物、其他轮虫和小型甲壳动物等为食 |
| 小型浮游动物滤食者 Small copepods and claochera filter feeders | SCF | <0.7 | 滤食者，以细菌、藻类、有机质和原生动物为食 |
| 中型浮游动物滤食者 Middle copepods and claochera filter feeders | MCF | 0.7~1.5 | 滤食者，以细菌、藻类、有机质和原生动物为食 |
| 大型浮游动物滤食者 Large copepods carnivora | LCC | >1.5 | 捕食者，以轮虫、枝角类、双翅目昆虫(摇蚊幼虫)和寡毛类为食 |

2.4. 数据处理

2.4.1. 浮游动物功能群分析

在实验室对数据进行整理，然后将其进行数学处理，使分布正态化。以便建立更直观合理的数学模型。在数据处理后，首先基于皮尔森分析法，对浮游动物不同的功能群之间的相互作用进行了分析。然后基于 Canoco 4.5 软件的内嵌算法，对浮游动物种群数据和相关理化因子数据进行冗余分析[5]。

2.4.2. 物种优势度评价

物种优势度则可以用以下公式进行计算[6]

$$y = f_i \times P_i \quad (1)$$

y 表示优势度， P 指物种个体数与总数的比值， f 是所选取的物种在该采样时间的物种频率， i 代表第 i 个物种。当 $y > 0.02$ 时，即可认为是优势种。

3. 结果

3.1. 浮游动物种类组成

2021 年 5 月，松北浮游动物共计 3 门 27 属 36 种。其中，轮虫共有 13 属 18 种，占 50.0%；原生动物共 7 属 10 种，占种类数的 27.8%；桡足类共计 3 属 4 种，占种类数的 11.1%；枝角类 4 属 4 种，占 11.1% (图 2)。

3.2. 浮游动物的优势种

根据浮游动物的频率和丰度计算出各个浮游动物物种的优势度，其中优势度 $y > 0.02$ 的物种认定为优势种。由表 2 可知，在春季所有浮游动物中，优势种包括：曲腿龟甲轮虫 *Keratella valga*、小口钟虫 *Vorticella microatoma*、透明薄皮蚤 *Leptodora kindti* 和幼虫无节幼体 *Nauplius* (表 2)。

3.3. 松北国家级自然保护区春季浮游动物功能群分类

在设置的 8 个采样点中，总共统计出 36 种浮游动物，可划分为七个功能群(图 3)。由图可知，松北国家自然保护区春季浮游动物功能群以 RF 功能群占显著优势。

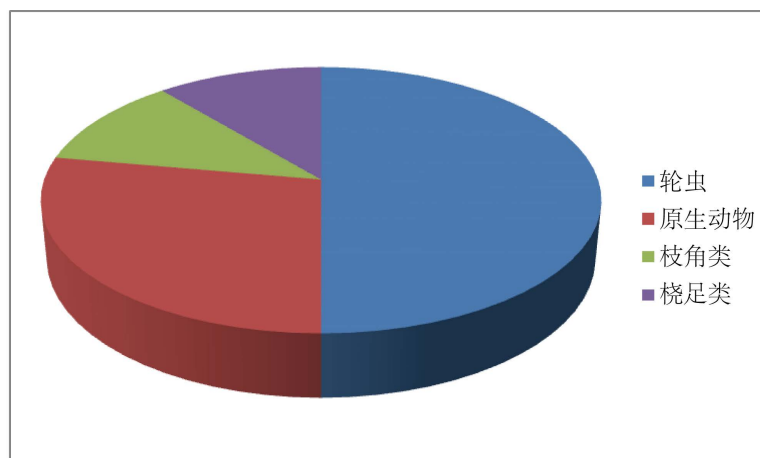


Figure 2. Species composition of zooplankton in Songbei National Nature Reserve in May

图 2. 松北国家级自然保护区 5 月份浮游动物的种类组成

Table 2. The dominant species of zooplankton in Songbei National Nature Reserve in spring

表 2. 松北国家级自然保护区浮游动物春季优势种

| 优势种 | 丰度 | 频率 f | 优势度 y |
|-----------------------------------|------|----------|----------|
| 曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i> | 3700 | 0.666667 | 0.231357 |
| 小口钟虫 <i>Vorticella microatoma</i> | 3207 | 0.535579 | 0.171378 |
| 透明薄皮蚤 <i>Leptodora kindti</i> | 5084 | 0.655123 | 0.152321 |
| 无节幼体 <i>Nauplius</i> | 4033 | 0.665513 | 0.092323 |

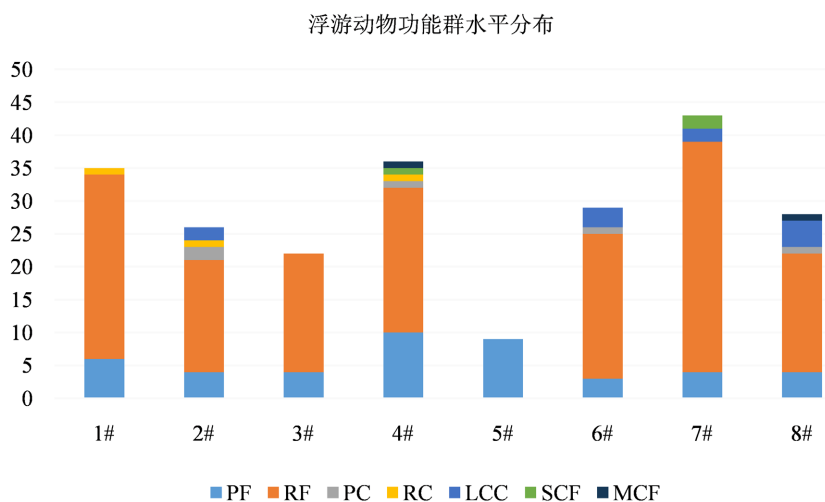


Figure 3. Schematic diagram of the biomass of zooplankton functional groups

图 3. 浮游动物功能群生物量示意图

3.4. 浮游动物功能群与理化因子相关性分析

3.4.1. 浮游动物功能群与理化因子的 RDA 分析

分析结果见表 3。冗余分析显示，前两轴的特征值和为 0.7247，即解释了物种数据累计变化率的

72.47%，第三轴和第四轴的特征值之和为 0.1496，所有理化相关因子说明了 87.73% 的物种累积变化。

如图 4，在轴 1，总磷 TP 具有较明显的负相关性，其次是总氮 TN，也具有较明显的负相关性，正相关因子水温具有较强的正相关性。在轴 2，负相关因子只有两个，负相关因子 pH 具有最强的负相关性，其次是负相关因子 CODCr。正相关因子方面，溶解氧 DO 具有最强的正相关性。对总氮和总磷进行分析，结果表明，它们同划分的 7 个功能群之间是正相关的，pH 具有一定的负相关性，水温则不具有明显相关性。

Table 3. RDA analysis results of zooplankton functional groups

表 3. 浮游动物功能群 RDA 分析结果

| Axes | Eigen values | Pseudo-canonical correlation | Explained variation (cumulative) | Explained fitted variation (cumulative) |
|------|--------------|------------------------------|----------------------------------|---|
| 1 | 0.5777 | 0.9931 | 57.77 | 64.99 |
| 2 | 0.1470 | 0.8826 | 72.47 | 81.52 |
| 3 | 0.0866 | 0.9480 | 81.13 | 91.27 |
| 4 | 0.0630 | 0.9292 | 87.73 | 98.35 |

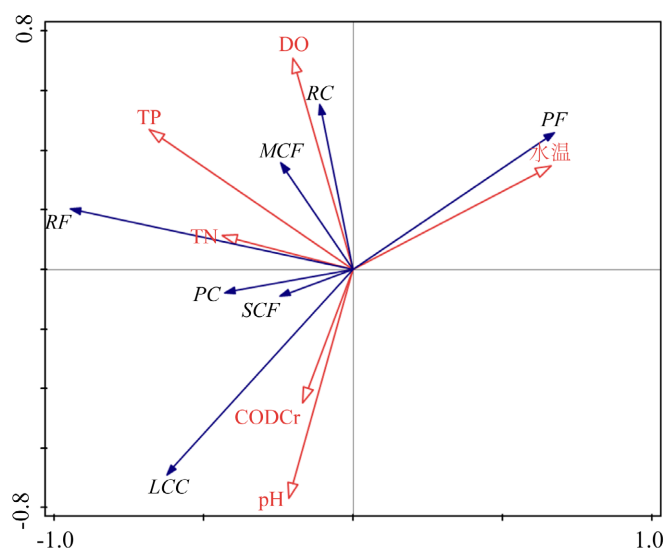


Figure 4. Double-RDA analysis diagram of zooplankton functional groups and physical and chemical factors

图 4. 浮游动物功能群与理化因子的 double-RDA 分析图

3.4.2. 浮游动物功能群间的 Pearson 相关性分析

由表 4 可知，除功能群 PF 与 LCC 具有强负相关外，研究中的其它功能群之间的相关关系均处于较低水平。

Table 4. Pearson correlation analysis among zooplankton functional groups

表 4. 浮游动物功能群间的 Pearson 相关性分析

| | PF | RF | PC | RC | LCC | SCF | MCF |
|----|--------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|
| PF | 1 | -0.517 | -0.211 | 0.395 | -0.774* | 0.172 | 0.327 |
| RF | -0.517 | 1 | 0.22 | 0.251 | 0.353 | 0.359 | 0.165 |

Continued

| | | | | | | | |
|-----|---------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| PC | -0.211 | 0.22 | 1 | 0.372 | 0.55 | -0.173 | 0.41 |
| RC | 0.395 | 0.251 | 0.372 | 1 | -0.329 | 0.014 | 0.149 |
| LCC | -0.774* | 0.353 | 0.55 | -0.329 | 1 | 0.021 | 0.135 |
| SCF | 0.172 | 0.359 | -0.173 | 0.014 | 0.021 | 1 | 0.177 |
| MCF | 0.327 | 0.165 | 0.41 | 0.149 | 0.135 | 0.177 | 1 |

*在 0.05 水平显著相关。

4. 讨论与结论

4.1. 浮游动物多样性及水环境生态健康系统的关系

浮游动物作为淡水生态系统中重要的生态类群，是物质流通和能量传递的重要环节，有着极其重要的生态学研究意义[7]。一方面，浮游动物对环境变化非常敏感，被广泛用于水体污染的指示[8]；另一方面，作为饵料生物，浮游动物群落的变化与分布情况在一定程度上影响着上层食物链生物群落的结构和分布，从而对环境水生态起到整体的调控作用。

4.2. 浮游动物功能群划分

依据浮游动物的相关特点与浮游动物与环境及与其他物种的相互作用，并且为了方便研究评估，我们采用了功能群划分的方法对浮游动物进行分类，保证了结果的科学性与严谨性。

4.3. 浮游动物优势种

浮游动物优势种是指在浮游动物群落中占据主导地位，能最大程度的影响当前的生态环境，对反映水体特征有一定作用的生物物种[9]。2021 年 5 月松北浮游动物占据优势地位的物种为曲腿龟甲轮虫 *Keratella valga*；小口钟虫 *Vorticella microatoma*；透明薄皮蚤 *Leptodora kindti* 和幼虫无节幼体 *Nauplius*。无节幼虫包含了较多种类的浮游动物且难以鉴定，所以在此暂不进行讨论。而小口钟虫、曲腿龟甲轮虫为典型的污染指示种，它们作为优势种能够在一定程度上说明水体富营养化[10] [11]。透明薄皮蚤能够在较短时间内大量生殖并且摄食所用时间短效率高，透明薄皮蚤作为优势种，同样能说明水体富营养化程度较高[12]。这也与本文得到的研究结论相符合，即水体中的理化因子包括 TN、TP 等浓度较高，部分属于轻度污染。

4.4. RDA 分析结果与实际情况的联系

冗余分析的结果表明，TP、DO、TN 是该地区水环境最大的影响因素。各浮游动物功能群与 TN、TP 均处于较高的相关水平，pH 具有一定的负相关性，水温则不具有明显相关性。

在松北国家湿地公园所选取的 8 个采样点中，4 号采样点位置接近居民区，人类活动会对 4 号采样点造成较大影响，水体处于较不稳定的状态，这也与本文的研究结果相符合。即在 2021 年 5 月的 8 个采样点中，4 号采样点中的 TN、TP、COD_{Cr} 均为各采样点中的最高水平，具有水体富营养化的风险。浮游植物生长会被高浓度的总氮影响，进而通过上行效应影响浮游动物。

4.5. 建议和展望

为了尽可能保护松北国家自然保护区的浮游生物多样性与水生态系统健康，建议要防止面源污染，减少流域周围化肥农药摄入，降低水体富营养化的风险，同时提高水体溶解氧浓度，合理开发利用水生

生物资源和水资源，以多种方式尽可能保证松北国家湿地全方面的良好生态环境。

参考文献

- [1] 陈立婧. 溲湖富营养化对浮游生物影响的生态学研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
- [2] 林志, 万阳, 徐梅, 等. 2018. 淮南迪沟采煤沉陷区湖泊后生浮游动物群落结构及其影响因子[J]. 湖泊科学, 30(1): 171-182.
- [3] 国家林业局. 《国家林业局关于同意北京房山长沟泉水等 140 处湿地开展国家湿地公园试点工作的通知》[R]. 2014.
- [4] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [5] Xiao, L.J., Wang, T., Hu, R., Han, B.P., Wang, S., Qian, X. and Padisak, J. (2011) Succession of Phytoplankton Functional Groups Regulated by Monsoonal Hydrology in a Large Canyon-Shaped Reservoir. *Water Research*, **45**, 5009-5019. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.07.012>
- [6] Pianka, E.R. (1971) Ecology of the Agamid Lizard *Amphibolurus isolepis* in Western Australia. *Copeia*, **1971**, 527-536. <https://doi.org/10.2307/1442450>
- [7] 罗欢, 吴琼, 陈倩, 陈文龙, 陈华香, 沈振乾, 曾志鹏, 王珂. 生态修复后九曲湾水库浮游动物优势种演替及生态位特征分析[J]. 生态环境学报, 2021, 30(2): 320-330.
- [8] 戴丹超, 马旭洲, 张文博, 张勇, 周桢. 河蟹生态养殖池塘后生浮游动物群落结构及水质生态学评价[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(2): 208-216.
- [9] 彭静静. 泰山湖泊浮游动物群落优势种调查及分析[J]. 泰山学院学报, 2014(5): 30-36.
- [10] 蔺庆伟, 靳萍, 杨程, 徐婷婷, 杨佩昀, 高伟, 靳同霞, 马剑敏. 牧野湖轮虫群落结构及水质生态学评价[J]. 河南农业科学, 2014, 43(6): 59-65.
- [11] 王乃发, 闵如强, 张淑英. 活性污泥好转的指示生物[J]. 鹤城环境, 1994(1): 19-20.
- [12] 黄翠, 刘其根, 等. 不同食物对透明溠种群生长的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2014(4): 131-135.