

杏林湾水库春季浮游生物群落生态特征与生物多样性健康评价

周 登¹, 王 添¹, 谢钦铭^{1,2*}

¹集美大学水产学院, 福建 厦门

²农业农村部东海海水健康养殖重点实验室, 福建 厦门

收稿日期: 2024年11月26日; 录用日期: 2024年12月21日; 发布日期: 2024年12月30日

摘要

于2023年春季, 对厦门杏林湾水库开展了浮游生物群落生态特征的调查, 并从水质变化参数与生物多样性健康评价。结果表明, 浮游植物4门45种, 其中绿藻门种类数最多, 占总种类数的58.00%, 主要优势种有长刺根管藻、梅尼小环藻、四尾栅藻等; 浮游植物的平均密度和平均生物量分别为 9.22×10^4 cells/L和41.5 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。浮游动物共鉴定出4类28种, 其中轮虫数量最多, 约占50.00%, 主要优势种有无节幼体、圆型臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫等; 浮游动物的平均密度和平均生物量分别为55.51 ind/L和0.542 mg/L。综合浮游植物和浮游动物的调查结果, 根据生物多样性水质评价标准可知杏林湾水库的水质整体较差, 浮游生物丰富度较低。

关键词

杏林湾, 浮游生物, 水质评价

Ecological Characteristics of Plankton Community and Health Evaluation of Biodiversity in Xinglinwan Reservoir of Xiamen in Spring

Deng Zhou¹, Tian Wang¹, Qinming Xie^{1,2*}

¹Fisheries College of Jimei University, Xiamen Fujian

²Key Laboratory of Healthy Mariculture for the East China Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xiamen Fujian

Received: Nov. 26th, 2024; accepted: Dec. 21st, 2024; published: Dec. 30th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 周登, 王添, 谢钦铭. 杏林湾水库春季浮游生物群落生态特征与生物多样性健康评价[J]. 水产研究, 2024, 11(4): 265-273. DOI: [10.12677/ojfr.2024.114030](https://doi.org/10.12677/ojfr.2024.114030)

Abstract

The plankton in Xinglinwan Reservoir was investigated and health evaluation was studied from water quality change parameters and biodiversity in the spring of 2022. The results showed that there were a total of 45 species of phytoplankton belonging to 4 phyla, among which Chlorophyta accounted for 58.00% of the total phytoplankton species, the main dominant species were Rhizosolenia longiseta, Cyclotella meneghiniana, Scenedesmus quqdricauda, etc. The average density and average biomass of phytoplankton were 9.22104 cells/L and 41.5 $\mu\text{g}/\text{L}$, respectively. There were 28 species of zooplankton belonging to 4 groups, the number of rotifera was the most, accounting for 50.00% of the total zooplankton species, the main dominant species were Nauplius, Brachionus rotundiformis, Brachionus calyciflorus, etc. The average density and average biomass of zooplankton were 55.51 ind/L and 0.542 mg/L, respectively. Based on the survey results of phytoplankton and zooplankton, the water quality evaluation standard of biodiversity shows that the water quality of Xinglinwan Reservoir is poor and the plankton richness is low.

Keywords

Xinglinwan Reservoir, Plankton, Water Quality Evaluation

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

杏林湾水库($24^{\circ}35'N$, $118^{\circ}4'E$)位于厦门市集美区的南部,于1979年建成,其上游与后溪相连,下游通过涵闸与海水相通[1]。杏林湾水库处于亚热带海洋性季风气候地区,每年雨季集中在2~6月[2],其流域面积 142 km^2 ,集水面积 67.3 km^2 ,库容面积约为 2.2 km^2 ,平均水深 2.5 m ,不仅是省级水利风景区,还具有防洪排涝、灌溉、养殖、供水等功能[3]。

浮游生物是水生生态系统中重要组成部分,对生态系统的结构和功能具有重要调控作用[4],可作为评估水环境质量与水生态系统健康的指示生物[5]。近年,随着杏林湾水库周边城市建设迅速发展,严重影响了库区水域生态环境,改变了浮游生物的生存环境,虽然其生态修复工程也一直持续跟进,但水质并没有转好,一直处于富营养状态[6]。杏林湾水库是厦门市重要的后备水源,也是风景宜人的休闲胜地,对其进行持续的水质观测,有利于保障其水域生态安全,也为营造美丽厦门提供助力。现对杏林湾水库浮游生物群落结构进行调查,拟为厦门地区水生生物资源的保护和水生态健康评价提供参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 调查时间及位点设置

2023年3~5月开展浮游生物的水样采集并观测,使用经纬度定位软件现场记录采样点(W1~W4)经纬度并用ArcGIS10.8制作采样位点图(图1)。其中W1($24^{\circ}34'30''N$, $118^{\circ}3'43''E$)位于园博苑附近,W2($24^{\circ}34'44''N$, $118^{\circ}3'57''E$)位于下游入海口附近,W3($24^{\circ}35'17''N$, $118^{\circ}4'54''E$)位于杏林湾绿道海上步道的中部,W4($24^{\circ}36'9''N$, $118^{\circ}3'55''E$)位于上游杏林湾大桥附近。

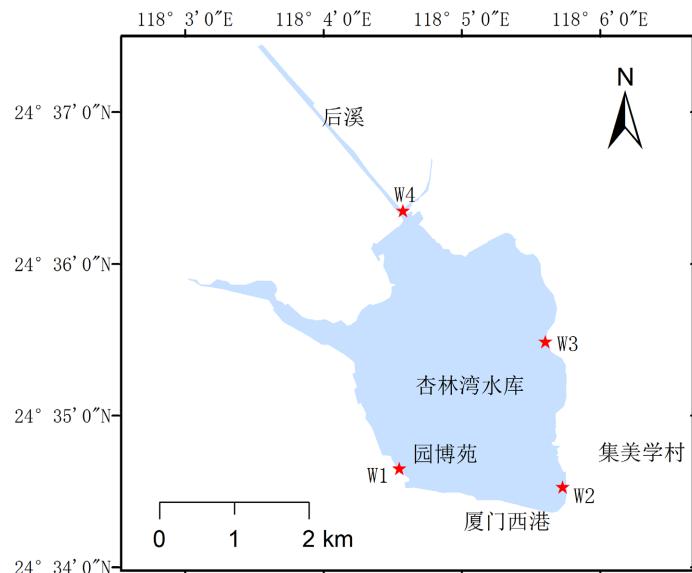


Figure 1. Diagram of sampling section in Xinglinwan Reservoir

图1. 杏林湾水库采样区域示意图

2.2. 样品采集与鉴定

浮游植物采集定量样品, 用 2.5 L 的有机玻璃采水器在水面下 0.5 m 处采集 25 L 水样, 并用浮游生物网(25#)进行过滤, 收集部分过滤水进行洗网 2~3 次, 最终得到约 100 mL 的浓缩液。用 5% 的福尔马林固定, 静置沉淀 24 h 后, 浓缩至 20 mL, 进行鉴定和计数。浮游动物同法。浮游植物样品定量分析时, 先摇匀水样, 用移液枪吸取 0.1 mL 样液于 0.1 mL 的浮游植物计数框内计数, 浮游动物样品定量分析用 1 mL 的浮游动物计数框进行全片计数, 每个样品重复计数两次, 取平均值进行数据处理分析。

浮游生物采样和计数按 SC/T 9012《渔业生态环境监测规范》(淡水)^[7]标准进行。浮游生物种类的鉴定参照相关文献^{[8]-[10]}。

2.3. 数据处理与分析

优势度(Y), 浮游生物密度(N), Shannon-Wiener 多样性指数(H'), Pielou 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(d)计算公式为:

$$Y = (N_i / N) \times f_i \quad (1)$$

式中, N_i 为水样中第 i 个物种的个数, N 为样品中生物总个数, f_i 为水样中对应物种出现的频率。优势种的优势度应大于 0.02^[11]。

$$N = (V_0 / V_1) \times N_1 \quad (2)$$

单位 ind/L 或 cell/L; N ——1 L 水中浮游生物的个数; V_0 ——1 L 水样浓缩后的体积; V_1 ——计数的标本水量; N_1 ——计数的浮游生物的个数

$$H' = -\sum (N_i / N) \log 2(N_i / N) \quad (3)$$

式子中, N 为总个数; N_i 为第 i 个物种的个数

$$J = H' / \ln N \quad (4)$$

式中, H' 为多样性指数, N 为所有种类的总个数

$$d = (S-1) / \log 2N \quad (5)$$

式子中, N 为总个数; S 为物种数。

应用 Excel 2016 和 Origin 2022 软件进行数据记录、分析和作图。

浮游生物多样性指数水质评价标准分为 5 个等级(表 1)。

Table 1. List of water quality grading evaluation standards by plankton diversity index [12]

表 1. 生物多样性指数分级评价标准[12]

生物多样性指数			评价状态	水体污染程度
$H' > 3$	$J > 0.8$	$d > 6$	物种种类丰富, 个体分布均匀	清洁
$3 \geq H' > 2$	$0.8 \geq J > 0.5$	$6 \geq d > 4$	物种丰富度较高, 个体分布比较均匀	轻污染
$2 \geq H' > 1$	$0.5 \geq J > 0.3$	$4 \geq d > 1$	物种丰富度较低, 个体分布比较均匀	中污染
$1 \geq H' > 0$	$0.3 \geq J > 0.1$	$1 \geq d > 0$	物种丰富度低, 个体分布不均匀	重污染
$H' = 0$	$J < 0.1$	$d = 0$	物种单一, 多样性基本丧失	严重污染

3. 结果与分析

3.1. 杏林湾水体浮游生物观测结果与分析

3.1.1. 浮游生物群落组成及数量变动

浮游植物 Phytoplankton		浮游动物 Zooplankton	
一. 蓝藻门 Cyanophyta		30. 螺旋纤维藻 <i>Ankistrodesmus spiralis</i>	一. 原生动物 Protozoa
1. 水华微囊藻 <i>Microcystis flos-aquae</i>		31. 针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus aciculatus</i>	1. 辣球虫 <i>Acanthosphaera sp.</i>
2. 小形球藻 <i>Chroococcus minor</i>		32. 卷曲纤维藻 <i>Ankistrodesmus convolutus</i>	2. 毛吸管虫 <i>Trichophrya sp.</i>
3. 细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>		33. 镰形纤维藻 奇异变种	3. 太阳虫 <i>Actinophrys sp.</i>
4. 点状平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>		<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabilis</i>	二. 轮虫 Rotifera
5. 球形念珠藻 <i>Nostoc sphaericum</i>		34. 土生绿球藻 <i>Chlorococcum humicola</i>	4. 圆型臂尾轮虫 <i>Brachionus rotundiformis</i>
6. 类颤藻 鱼腥藻 <i>Anabaena oscillarioides</i>		35. 四足十字藻 <i>Crucigenia tetraptera</i>	5. 莴花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>
7. 卷曲球腥藻 <i>Anabaena circinalis</i>		36. 华美十字藻 <i>Crucigenia lauterbornaei</i>	6. 角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>
8. 大螺旋藻 <i>Spirulina major</i>		37. 韦氏藻 <i>Westella botryoides</i>	7. 剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>
9. 小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>		38. 集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>	8. 褶皱臂尾轮虫 <i>Brachionus plicatilis</i>
二. 硅藻门 Bacillariophyta		39. 蹄形藻 <i>Kirchneriella lunaris</i>	9. 壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>
10. 颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>		40. 眼状微绿球藻 <i>Nannochloris oculata</i>	10. 大肚须足轮虫 <i>Euchlanis dilatata</i>
11. 膨胀桥弯藻 <i>Cymbella tumida</i>		41. 硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i>	11. 曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>
12. 梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>		42. 拟菱形弓形藻 <i>Schroederia nitzschioides</i>	12. 月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>
13. 线形舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>		43. 裂开圆丝鼓藻 <i>Hyalotheca dessiliens</i>	13. 前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>
14. 尖布纹藻 <i>Gyrosigma acuminatum</i>		44. 小空星藻 <i>Caelastrum microporum</i>	14. 卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i>
15. 布氏双尾藻 <i>Ditylum brightwellii</i>		四. 裸藻门 Euglenophyta	15. 暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>
16. 长刺根管藻 <i>Rhizosolenia longiseta</i>		45. 绿裸藻 <i>Euglena viridis</i>	16. 十趾平甲轮虫 <i>Platyias militaris</i>
17. 尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>			17. 椎尾水轮虫 <i>Epiphantes senta</i>
18. 双头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>			三. 枝角类 Cladocera
三. 绿藻门 Chlorophyta			18. 多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>
19. 小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>			19. 长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>
20. 四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadridicauda</i>			20. 圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i>
21. 斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>			四. 梳足类 Copepoda
22. 二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>			21. 广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>
23. 二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i>			22. 英勇剑水蚤 <i>Cyclops stremmus</i>
24. 钝鼓藻 <i>Cosmarium obtusatum</i>			23. 大同长腹剑水蚤 <i>Oithonidae similis</i>
25. 月牙藻 <i>Selenastrum bibraianum</i>			24. 汤匙华哲水蚤 <i>Simocalanus dorrii</i>
26. 微小四角藻 <i>Tetraedron minimum</i>			25. 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>
27. 三角四角藻 <i>Tetraedron trigonum</i>			26. 瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>
28. 三叶四角藻 <i>Tetraedron trilobulatum</i>			27. 湖泊美丽猛水蚤 <i>Nitocra lacustris</i>
29. 湖生卵囊藻 <i>Ocystis lacustris</i>			28. 无节幼体 <i>Nauplius</i>

Figure.2 Species of plankton in Xinglinwan Reservoir

图 2 杏林湾浮游生物物种名录

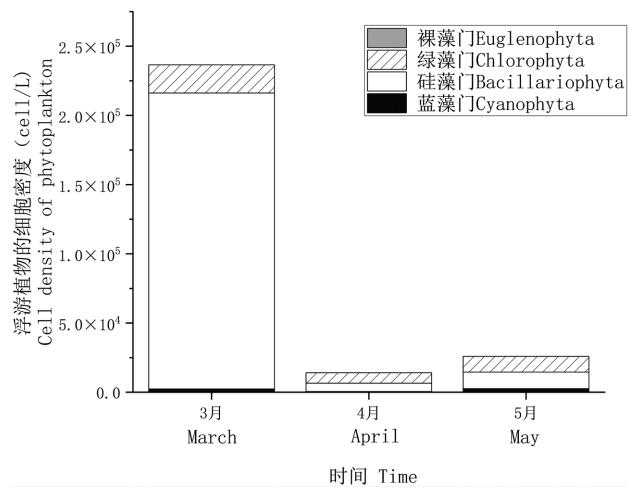


Figure 3. Changes of major taxa density of phytoplankton
图 3. 浮游植物主要类群平均数量的变化

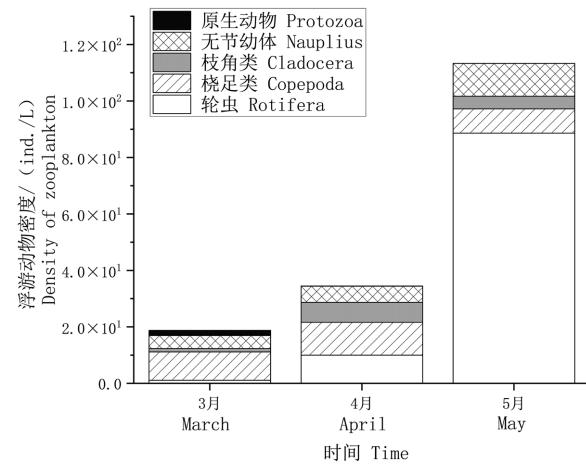


Figure 4. Changes of major taxa density of zooplankton
图 4. 浮游动物主要类群平均数量的变化

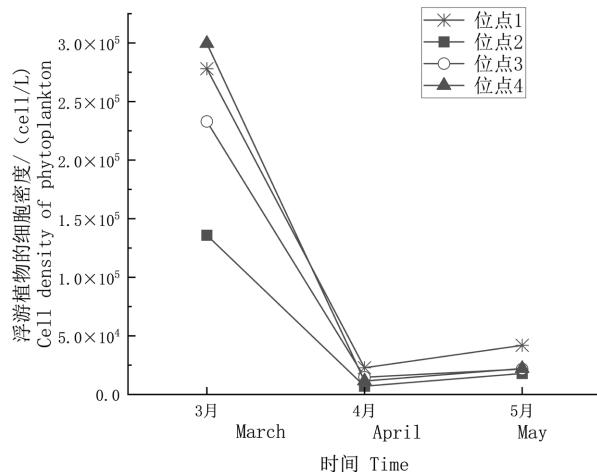
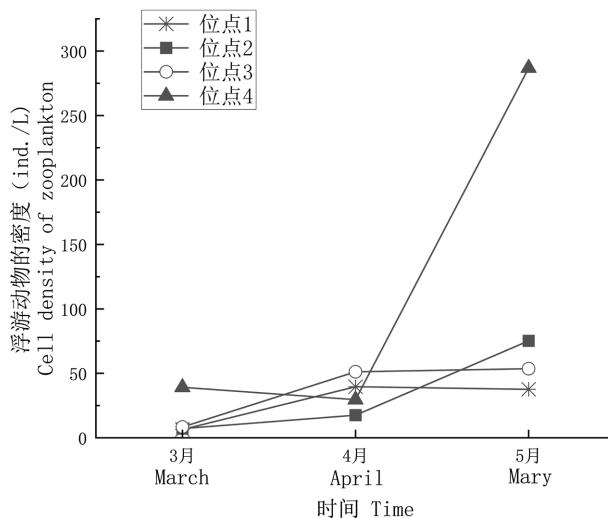


Figure 5. Changes of phytoplankton density in five stations
图 5. 各采样点浮游植物数量变化

**Figure 6.** Changes of zooplankton density in five stations**图 6.** 各采样点浮游动物数量变化

杏林湾共监测出浮游植物 4 门 45 种(图 2), 绿藻门最为丰富, 有 26 种(占 58.00%), 其次是硅藻门有 9 种(20.00%)、蓝藻门 9 种(20.00%)和裸藻门 1 种(2.00%)。浮游动物共鉴定出 4 类 28 种, 轮虫 14 种(占 50.00%), 桡足类 8 种(占 28.57%), 枝角类和原生动物各 3 种(各占 10.71%)。

浮游植物密度为 1.40×10^4 ~ 2.37×10^5 cells/L, 平均密度为 9.22×10^4 cells/L, 硅藻密度最大, 占比 83.79%。生物量为 4.810~111.7 $\mu\text{g/L}$, 平均生物量为 41.5 $\mu\text{g/L}$ 。在春季大部分时间里, 硅藻数量处于优势, 且三月份硅藻占 90.3%, 后期硅藻和绿藻数量相当, 蓝藻一直处于劣势, 裸藻只在五月出现过(图 3)。浮游动物的密度为 18.74~113.30 ind/L, 平均密度为 55.51 ind/L, 其中轮虫占比 59.87%。生物量为 0.459~0.680 mg/L, 平均生物量为 0.542 mg/L。在春季, 轮虫的数量逐渐增多, 桡足类的数量比较稳定, 枝角类数量和原生动物的数量较少(图 4)。春季不同时期, 浮游生物组成及数量都有所差异, 总体呈现浮游植物数量减少, 浮游动物数量增加。

从图 5 可以看出浮游植物的数量在春季变化显著, 监测的四个站点浮游植物数量均在四月份出现低值(站点 2 最低值为 7.12×10^3 cell/L), 最大值出现在三月(站点 4 最大值为 3.00×10^5 cell/L), 其中硅藻占 91.61%。从图 6 中可以看出浮游动物的数量在春季是逐渐增多的, 最大值出现在五月份的站点 4(密度为 286.80 ind/L), 其中轮虫的数量占 90.38%。大致可以看出, 在春季大部分时间里, 站点 2 的浮游植物和浮游动物的数量在四个监测点中最低。

3.1.2. 生物优势度及多样性

杏林湾春季浮游植物优势种变动大(表 2), 三月有 2 种长刺根管藻(0.898)占绝对优势; 四月有 10 种, 其中绿藻有 9 种; 五月也有 10 种, 绿藻有 6 种。五月浮游动物的优势种数量(8 种)数量比三、四月(6 种)多, 且以轮虫为主, 其中无节幼体在春季的三个月份中均为优势种。

浮游植物的 Shannon-Wiener 指数为(H')为 0.614~3.763, 种类均匀度(J)为 0.166~0.857, 丰富度指数(d)为 0.645~1.693 (表 3)。由生物多样性指数分级评价标准可知, 3 月 W1 点水质最差, 为重污染, 物种丰富度低; 4 月 W4 点水质较各位点好, 为清洁, 物种丰富度一般。浮游动物的 Shannon-Wiener 指数(H')为 1.363~3.140, 种类均匀度(J)为 0.574~0.857, 丰富度指数(d)为 0.977~2.263 (表 3)。由生物多样性指数分级评价标准可知, 3 月 W3 位点物种丰富度低, 水质最差, 为中污染; 5 月 W3 位点物种丰富度一般, 水质最好, 为清洁。

Table 2. Changes of dominant phytoplankton and zooplankton species in Xinglinwan Reservoir in spring
表 2. 杏林湾水库春季浮游生物优势种的情况

日期		优势种及其优势度		
3/19	浮游植物	镰形纤维藻藻奇异变种(0.026)	长刺根管藻(0.898)	
		汤匙华哲水蚤(0.142)	长额象鼻溞(0.054)	
	浮游动物	小拟哲水蚤(0.101)		
		无节幼体(0.150)	棘球虫(0.023)	
4/22	浮游植物	梅尼小环藻(0.394)	湖生卵囊藻(0.048)	
		四尾栅藻(0.036)	绿球藻(0.036)	
		钝鼓藻(0.038)	四足十字藻(0.060)	
		微小四角藻(0.042)	韦氏藻(0.040)	
	浮游动物	三角四角藻(0.037)	裂开圆丝鼓藻(0.027)	
		壶状臂尾轮虫(0.032)	无节幼体(0.165)	
		圆型臂尾轮虫(0.186)		
		广布中剑水蚤(0.275)	多刺裸腹溞(0.188)	
5/15	浮游植物	水华微囊藻(0.049)	微小四角藻(0.023)	
		细小平裂藻(0.032)	湖生卵囊藻(0.094)	
		梅尼小环藻(0.426)	绿球藻(0.049)	
		线形舟形藻(0.021)	裂开圆丝鼓藻(0.079)	
	浮游动物	钝鼓藻(0.037)	小空星藻(0.020)	
		圆型臂尾轮虫(0.045)	褶皱臂尾轮虫(0.027)	
		萼花臂尾轮虫(0.354)	前节晶囊轮虫(0.024)	
		角突臂尾轮虫(0.056)	广布中剑水蚤(0.071)	
		剪形臂尾轮虫(0.235)	无节幼体(0.102)	

Table 3. The plankton diversity index in Xinglinwan Reservoir
表 3. 杏林湾浮游生物多样性指数

时间	监测点	浮游植物			浮游动物		
		H'	J	d	H'	J	d
3/19	W1	0.614	0.166	0.664	2.397	0.854	2.240
	W2	0.827	0.231	0.645	2.439	0.869	2.107
	W3	0.813	0.195	0.953	1.363	0.682	0.977
	W4	0.698	0.167	0.934	2.405	0.802	1.323
4/22	W1	2.976	0.700	1.243	2.290	0.689	1.696
	W2	2.865	0.733	1.094	2.379	0.847	1.450
	W3	3.259	0.754	1.372	2.848	0.857	1.585
	W4	3.763	0.857	1.482	2.817	0.848	1.841

续表

5/15	W1	3.257	0.685	1.693	2.546	0.710	2.102
	W2	3.033	0.714	1.274	2.864	0.774	1.925
	W3	3.272	0.714	1.597	3.140	0.825	2.263
	W4	2.684	0.593	1.524	2.124	0.574	1.470

综合杏林湾水库浮游生物群落动态调查结果,三月份的水质较差,浮游生物种类均匀度和种类分布丰富度都较低;四、五月份的水质有好转,浮游生物个体分布较均匀,但种类分布丰富度仍较低。

4. 讨论

浮游生物的生活史与其生活水域生态息息相关,其种类、数量、多样性等可以间接反映出水环境状况。本次杏林湾春季浮游生物动态调查共鉴定出45种浮游植物和27种浮游动物,以绿藻和轮虫为主,优势种主要为梅尼小环藻、微小四角藻、圆型臂尾轮虫、无节幼体等。相比1999年12月至2001年2月杏林湾采样调查的95种浮游植物[13]和150种浮游动物[1],本次春季调查的浮游生物种类数是大大减少的,但与同样城市化严重的汤逊湖的43种浮游植物和14种浮游动物[14]相比,本次调查的种类数相对较多。可见,不同水体浮游生物种类及优势种间的差异与其所处地理位置和生态环境相关。

浮游生物多样性指数不仅是研究浮游生物群落结构特征和动态规律的必须指标,同时也常用于判断水体富营养化程度。 H' 、 J 、 d 指数值越大,群落结构越复杂,稳定性越强,水质也就越好[15]。本次调查中,杏林湾水库浮游生物多样性指数为0.614~3.763,平均值为2.403,虽然数值波动较大,但基于浮游生物水质评价标准看,该水域春季整体水质处于轻污染状态,与同样城市化严重的大明湖水质(2.245)[16]基本相同但与同区域的闽江建溪流域5月份水质(3.11)[17]较差一些。

杏林湾主要入库水源后溪属于山溪性溪流,径流量在汛期的集中时间短,大部分直接渲泄入海。汛期时后溪河床中沉积物被带入杏林湾库区,枯水期库区得不到有效补水[18]。近几年通过环湾截污整治,底泥环保清淤,生态修复等一系列措施,杏林湾水质污染状况有所缓解,但由于杏林湾区域城市建设快速发展,城镇生活污染、流域农业污染、工业污染的持续影响,再加上杏林湾水资源短缺,导致库区污染物得不到有效的稀释和净化,目前杏林湾水库仍处于劣V类水质,大部分时间水体呈重度富营养状态,水质较差[6] [19] [20]。因此,进行杏林湾的污水治理,首先应该加大对污染源的治理力度,监测并收集和拦截所有可能流入杏林湾库区的工业、农业和生活污水等。同时,对后溪进行河道整治和防洪排涝整治等措施,避免水土流失,以保证杏林湾水库的清洁水源。其次,加强生态修复,在浅水区建立湿地生态净化系统,在库中设立人工浮床等,提高水体的生态调节和自净能力。此外,在加强水环境质量保护的同时,通过科学的管理方法兼顾区域发展,合理利用水资源,为厦门市水域生态保护和城市高质量发展提供有力帮助。

5. 结论与建议

本研究对杏林湾水库春季浮游生物群落结构特征进行3次4个采样点的调查,共鉴定出45种浮游植物和27种浮游动物,浮游植物以绿藻为主,占比达58.00%;浮游动物以轮虫为主,约占50.00%。综合杏林湾水库浮游生物群落动态调查结果,春季浮游生物种类和丰富度变化较大,三月水质较差,四、五月水质情况好转。

根据本次春季浮游生物多样性调查结果,建议持续开展浮游生物多样性监测,对杏林湾水库进行综合的水质健康评价,并依据评价的水质状况进行有效的水域环境改善工作。控制工业、生活等污水的排放,及时清淤,改善水质,加强管理等。

参考文献

- [1] 卢亚芳, 周立红, 黄永春, 等. 杏林湾水库浮游动物群落多样性的研究[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2002, 7(2): 119-124.
- [2] 黄永春, 卢亚芳, 周立红, 等. 杏林湾水库水质的理化特性[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2002, 7(4): 300-303.
- [3] 厦门市水利局. 厦门水资源公报(2022年) [R]. 厦门: 厦门市水利局, 2023.
- [4] 文威, 李双双, 冯桃辉, 彭祺. 基于浮游生物完整性的汉江中下游生态健康评[J]. 水生态学杂志, 2023, 44(4): 85-91.
- [5] Chadel, P., Mahajan, D., Thakur, K., Kumar, R., Kumar, S., Brar, B., et al. (2023) A Review on Plankton as a Bioindicator: A Promising Tool for Monitoring Water Quality. *World Water Policy*, **10**, 213-232. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12137>
- [6] 庄乾, 余兴光, 林志兰, 等. 厦门杏林湾生态修复效果评估和保护对策[J]. 海洋开发与管理, 2021, 38(4): 91-98.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 全国水产标准化技术委员会. SC/T9102.3-2007 渔业生态监测规范第三部分: 淡水[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [8] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [9] 周凤霞, 陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [10] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979.
- [11] 罗民波, 陆健健, 王云龙, 等. 东海浮游植物数量分布与优势种[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5076-5085.
- [12] 白海锋, 王怡睿, 宋进喜, 等. 渭河浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2022, 31(1): 117-130.
- [13] 卢亚芳, 黄永春, 黄世玉, 等. 厦门杏林湾水库浮游植物密度与生态因子的灰关联分析[J]. 台湾海峡, 2002(2): 209-216.
- [14] 曹鹏阳, 李丽雪, 郭彪辉, 等. 汤逊湖浮游生物群落结构变化的现状调查及分析[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(12): 23-26+56.
- [15] 林小植, 胡苑玲, 王瑞旋, 等. 广东韩江潮州段浮游植物群落结构特征与水质评价[J]. 水生态学杂志, 2023, 44(4): 52-60.
- [16] 贾丽, 黄雪梅, 张秋英, 等. 大明湖浮游生物群落结构调查[J]. 水产养殖, 2023, 44(5): 26-29+51.
- [17] 李万宝. 闽江建溪流域浮游植物群落结构与评价[J]. 渔业研究, 2020, 42(5): 500-508.
- [18] 龚春明, 刘永春, 黄小达. 厦门杏林湾水库截污效果分析及防控对策[J]. 环境保护前沿, 2018, 8(2): 106-111.
- [19] 厦门市环境保护局. 关于杏林湾生态环境整治提升一期工程环境影响报告书的批复[R]. 厦门: 厦门市环境保护局, 2023.
- [20] 吴龙洋, 阎希柱, 杨军. 杏林湾水库上游水域水华期和非水华期水质变化[J]. 环境科学导刊, 2021, 40(2): 7-10.