

长荡湖浮游动物群落结构特征及影响因子分析

郭刘超¹, 韩庚宝², 邓俊辰², 苏雨艳³, 吴沛沛¹

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 常州市金坛区水利局指前水利管理服务站, 江苏 常州 213022; 3. 南京市水利建筑工程检测中心有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要: 为了解长荡湖浮游动物群落结构特征以及与环境因子的关系, 于2016年1~12月对长荡湖浮游动物和水质理化指标进行监测、分析。结果显示: 长荡湖浮游动物共有48属74种, 其中原生动物17属23种, 占总种类的31.1%; 轮虫15属30种, 占总种类的40.5%; 枝角类8属10种, 占总种类的13.5%; 桡足类8属11种, 占总种类的14.9%。小型浮游动物(轮虫、原生动物)的生物数量和种类所占比例较高, 而大型浮游动物(甲壳动物)所占比例较低。浮游动物生物密度年均均为2653.6 ind./L, 生物量年均均为3.7027 mg/L。Pearson相关性分析表明: 水温与角突臂尾轮虫、简弧象鼻溞和广布中剑水蚤呈极显著的正相关关系; pH与多肢轮虫呈显著的正相关关系, 与钟形钟虫呈显著的负相关关系。

关键词: 浮游动物; 群落特征; 优势种; 环境因子

中图分类号: Q958

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2019)02-0001-05

Analysis on structure characteristics and influencing factors of zooplankton community in Changdang Lake

GUO Liuchao¹, HAN Gengbao², DENG Junchen², SU Yuyan³, WU Peipei¹

(1. Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu;
2. Zhiqian Water Conservancy Management Service Station of Jintan District, Changzhou 213022, Jiangsu;
3. Nanjing Water Conservancy Construction Engineering Testing Center Co., Ltd., Nanjing 210036, Jiangsu)

Abstract: In order to understand the structure characteristics of zooplankton community and the relationship with environmental factors in Changdang Lake, the physical and chemical indicators of zooplankton and water quality in Changdang Lake were monitored and analyzed from January to December 2016. The results showed that there were 74 species of zooplankton belonging to 48 genera in Changdang Lake, among which 17 genera and 23 species of protozoa accounted for 31.1% of the total species, 15 genera and 30 species of rotifers accounted for 40.5% of the total species, 8 genera and 10 species of Cladocera accounted for 13.5% of the total species, and 8 genera and 11 species of copepods accounted for 14.9% of the total species. The proportion of biomass and species of small zooplankton (rotifers and protozoa) was higher than that of large zooplankton (crustaceans). The annual biomass of zooplankton was 2653.6 ind./L and biomass was 3.7027 mg/L. Pearson correlation analysis showed that water temperature was positively correlated with *Brachionus keratoides*, Simple-arc elephant-nosed *Daphnia* elephant and *Cyclops* diffusely distributed, while pH was positively correlated with rotifers polypod and negatively correlated with bell-shaped rotifers.

Key words: zooplankton; community characteristics; dominant species; environmental factors

收稿日期: 2018-07-26

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20141013); 江苏省水利科技项目(2015034; 2016028)。

作者简介: 郭刘超(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事河湖健康诊断与评价方向的研究。

浮游动物作为湖泊生态系统结构中的主要生物组成部分,在湖泊生物链能量传递、物质循环等过程中起着重要作用^[1]。不同种类的浮游动物对水环境的敏感程度各有差异,其群落结构演替、生物密度以及污染指示种的变化常用来表征水体的营养水平^[2]。因此,水体中浮游动物群落结构特征在对水生态系统结构和功能、水体富营养化防治等方面研究具有重要的意义。

长荡湖,又名洮湖,位于金坛市和溧阳市交界处,大部分区域位于金坛市境内,湖泊保护范围总面积为 120.74 km²,为江苏省省管湖泊。目前长荡湖不仅是金坛市的重要饮用水源地(长荡湖水厂),而且还是江苏省省级旅游度假区。笔者于 2016 年对长荡湖浮游动物和水体理化指标进行调查,探讨浮游动物群落结构特征及与水质因子的关系,以期为该区域饮用水保障和湖泊综合健康管理提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

根据长荡湖的地形轮廓、主要出入湖河流、生态功能区等状况,秉承全湖覆盖、重点突出、经济性等原则设置 10 个采样点(cdh-1 ~ cdh-10,见图 1)。



图 1 长荡湖采样点分布图

1.2 采样与处理

1.2.1 水质采样与处理

水质样品采样时间为 2016 年 1 ~ 12 月,采样频次为每月中旬一次。水体理化指标水温、pH、浊度、溶解氧等参数现场使用 YSI 公司生产的水质多参数分析仪(EXO 型)测定;透明度用塞氏盘测定;水质化学需氧量、总磷、总氮参照《水与废水分析方法》测定^[3]。

1.2.2 浮游动物采样与处理

浮游动物样品采集时间为 2016 年 1 ~ 12 月,每月中旬定量采取长荡湖浮游动物一次,原生动动物、轮虫样品取水水面下 0.5 m 处湖水 1000 ml 装瓶,立即用鲁哥氏液加以固定,固定剂用量为 15 ml,将其带回室内在筒形分液漏斗中进行沉淀和浓缩,静置沉淀时间为 48 h。吸掉上清液,最后留下约 20 ~ 30 ml 时,将沉淀物放入容积为 50 ml 的试剂瓶中。枝角类、桡足类用采水器取 10 L 水样,经 25 号浮游生物网过滤,把过滤物放入 50 ml 塑料瓶后,应立即加甲醛固定,以杀死水样中浮游动物和其他生物。原生动物定量样品用 0.1 ml 计数框内,在 10×20 倍显微镜下全片计数(计数 2 片,取平均值)。轮虫定量样品用 1 ml 计数框,在 10×10 倍显微镜下全片计数(计数两片,取平均值),枝角类、桡足类定量样品用 5 ml 计数框将样品分若干次全部计数,再根据浮游动物近似几何图形测量长、宽、厚,并通过求积公式计算出生物体积,换算生物量。

1.2.3 数据处理与分析

采用 EXCEL 和 SPSS22.0 软件对数据进行处理与分析^[4]。

(1) 湖泊浮游动物优势度计算方法

浮游动物优势度指数计算公式为:

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

式中, n_i 为第 i 种类的丰度(个/L), f_i 为第 i 种类出现的频率(%), N 为物种的总丰度(个/L), 取优势度 $Y \geq 0.02$ 的种为优势种。

2 结果与分析

2.1 长荡湖浮游动物群落结构时空变化

2.1.1 长荡湖浮游动物种类组成及优势种

根据长荡湖浮游动物的定量水样分析,2016 年浮游动物水样镜检见到的种类共有 48 属 74 种

(含桡足类的无节幼体和桡足幼体), 其中原生动物 17 属 23 种, 占总种类的 31.1%; 轮虫 15 属 30 种, 占总种类的 40.5%; 枝角类 8 属 10 种, 占总种类的 13.5%; 桡足类 8 属 11 种, 占总种类的 14.9%。

2016 年长荡湖中的浮游动物优势种, 原生动物有: 钟形钟虫、侠盗虫、球形砂壳虫、瓶砂壳虫、长筒拟铃壳虫、王氏拟铃壳虫; 轮虫有: 螺形龟甲轮虫、曲腿龟甲轮虫、角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、针簇多肢轮虫、长肢多肢轮虫; 枝角类有: 长肢秀体溞、筒弧象鼻溞、卵形盘肠溞、角突网纹溞; 桡足类有: 广布中剑水蚤、中华窄腹水蚤、近邻剑水蚤。此外还有无节幼体和桡足幼体。长荡湖 2016 年浮游动物优势度, 见表 1。

表 1 长荡湖 2016 年浮游动物优势种(属)及优势度

优势种(属)	优势度
原生动物 (Protozoa)	
钟形钟虫 (<i>Vorticella campanula</i>)	0.02
侠盗虫 (<i>Strobilidium sp.</i>)	0.12
球形砂壳虫 (<i>Diffugia globulosa</i>)	0.07
瓶砂壳虫 (<i>Diffugia urceolata</i>)	0.04
长筒拟铃壳虫 (<i>Tintinnopsis longus</i>)	0.05
王氏拟铃壳虫 (<i>Tintinnopsis wangi</i>)	0.08
轮虫 (Rotifera)	
螺形龟甲轮虫 (<i>Keratella cochlearis</i>)	0.12
曲腿龟甲轮虫 (<i>Keratella valga</i>)	0.04
角突臂尾轮虫 (<i>Brachionus angularis</i>)	0.10
萼花臂尾轮虫 (<i>Brachionus calyciflorus</i>)	0.05
长肢多肢轮虫 (<i>Polyarthra dolichoptera</i>)	0.09
针簇多肢轮虫 (<i>Polyarthra trigla</i>)	0.08
枝角类 (Cladocera)	
长肢秀体溞 (<i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i>)	0.03
筒弧象鼻溞 (<i>Bosmina coregoni</i>)	0.25
卵形盘肠溞 (<i>Moina micrura</i>)	0.02
角突网纹溞 (<i>Ceriodaphnia cornuta</i>)	0.03
桡足类 (Copepoda)	
广布中剑水蚤 (<i>Mesocyclops leuckarti</i>)	0.04
中华窄腹水蚤 (<i>Limnithona sinensis</i>)	0.02
近邻剑水蚤 (<i>Cyclops vicinus</i>)	0.04
桡足幼体 (<i>Copepodid</i>)	0.07
无节幼体 (<i>Nauplii</i>)	0.13

2.1.2 长荡湖浮游动物现存量和季节变化

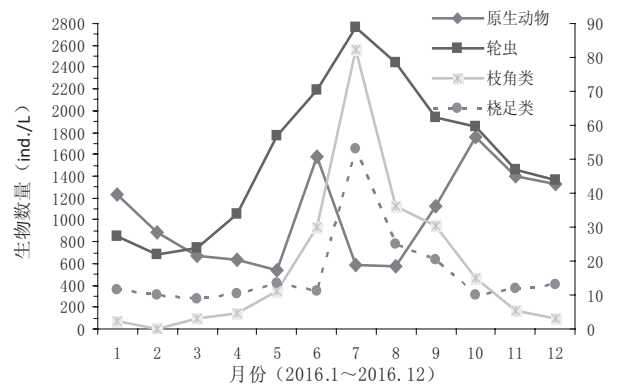
调查显示长荡湖 2016 年浮游动物的总数量年平均为 2653.6 ind./L。其中原生动物为 1026.7 ind./L, 占浮游动物总数量年平均的 38.7%; 轮虫为 1591.7 ind./L, 占 60.0%; 枝角类为 18.6 ind./L, 占 0.7%; 桡足类为 16.6 ind./L, 占 0.6%。数据表明, 长荡湖浮游动物的总数量是轮虫数量多寡决定, 其次是原生动物的数量; 枝角类和桡足类的数量较少, 占总数量的 1.3%。

原生动物周年数量中, 数量最多的是 10 月为 1760 ind./L, 最少的是 5 月为 540 ind./L, 月平均数量超过年平均数的有 6 个月, 主要集中在秋季和冬季。

轮虫周年数量中, 数量最多的是 7 月为 2760 ind./L, 最少的为 2 月为 680 ind./L, 月平均数超过年平均的有 6 个月, 主要集中在夏秋季节。

枝角类周年数量最多的是 7 月为 82.5 ind./L, 最少的是 2 月为 0 ind./L。月平均数量超过年平均数量的有 4 个月, 主要集中在夏季。

桡足类周年数量最多的是 7 月为 53 ind./L, 最少的为 3 月为 9 ind./L。月平均数量超过年平均数量的有 3 个月, 主要集中在夏季。浮游动物各种类的生物数量逐月变化, 见图 2。



(注: 枝角类和桡足类生物数量绘制在次坐标轴上)

图 2 长荡湖浮游动物各种类数量的逐月变化图

长荡湖浮游动物的总生物量年平均为 3.7027 mg/L。其中原生动物的生物量为 0.0513 mg/L, 占浮游动物的总生物量的 1.4%; 轮虫的生物量为 2.7058 mg/L, 占 73.1%; 枝角类的生物量为 0.4098 mg/L, 占 11.1%; 桡足类的生物量为 0.5358 mg/L, 占 14.4%。虽然枝角类和桡足类的数量年均总和占浮游动物总数量的 1.3%, 可它们的生物量却占到

25.5%; 枝角类和桡足类组成的浮游甲壳类生物量的大起大落是长荡湖浮游动物生物量变化的一个特点。浮游动物各种类的生物量逐月变化, 见图 3。

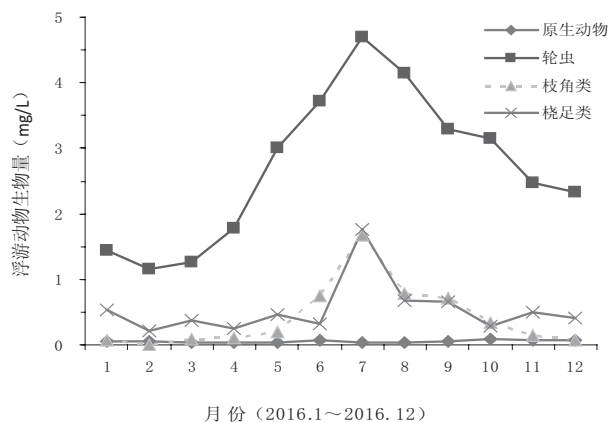


图3 长荡湖浮游动物各种类生物量的逐月变化图

2.1.3 长荡湖浮游动物空间变化

长荡湖浮游动物各采样点年均生物密度变化范围为 2150.4 ~ 3484.2 ind./L, 生物密度排在前五位的是 1#、2#、8#、3#、7#, 最低生物密度出现在 10#; 其中 1# 浮游动物生物密度变化范围为 720 ~ 4615 ind./L, 年均值为 3484.2 ind./L; 2# 浮游动物生物密度变化范围为 1040 ~ 5495 ind./L, 年均值为 3281.7 ind./L; 8# 浮游动物生物密度变化范围为 1315 ~ 4740 ind./L, 年均值为 2625.1 ind./L; 3# 浮游动物生物密度变化范围为 1105 ~ 4170 ind./L, 年均值为 2629.2 ind./L; 7# 浮游动物生物密度变化范围为 800 ~ 8845 ind./L, 年均值为 2595.4 ind./L; 10# 浮游动物生物密度变化范围为 900 ~ 3110 ind./L, 年均值为 2150.4 ind./L, 长荡湖浮游动物年均生物密度空间分布, 见图 4。

长荡湖浮游动物各采样点生物量年均值的变化范围为 2.6879 ~ 5.0313 mg/L, 生物量排在前五位的是 1#、2#、3#、5#、4#, 年均生物量分别为 5.0313、4.8879、4.2000、3.7450、3.5521 mg/L; 最低年均生物量出现在 10#, 为 2.6879 mg/L。长荡湖浮游动物年均生物量空间分布, 见图 5。

2.2 长荡湖浮游动物群落结构与环境因子关系分析

2.2.1 长荡湖环境因子选取

为研究长荡湖环境因子对浮游动物群落结构的影响, 考虑选取水温 (WT)、pH、溶解氧 (DO)、浊度 (Turbidity)、透明度 (SD)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、化学需氧量 (COD) 水体环境因子, 具体见表 2。

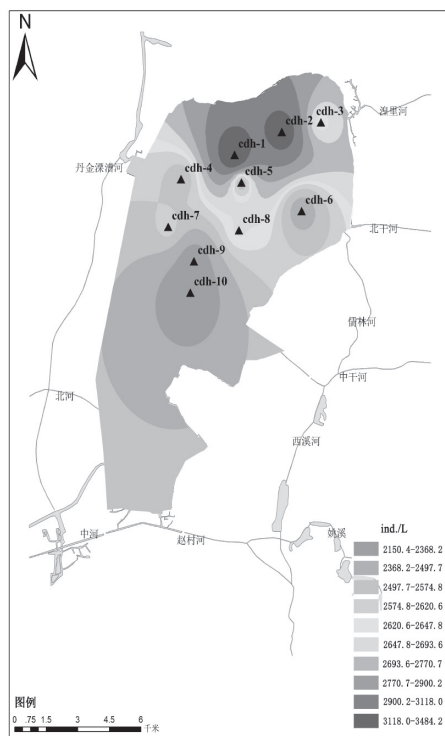


图4 长荡湖浮游动物年均生物密度空间分布

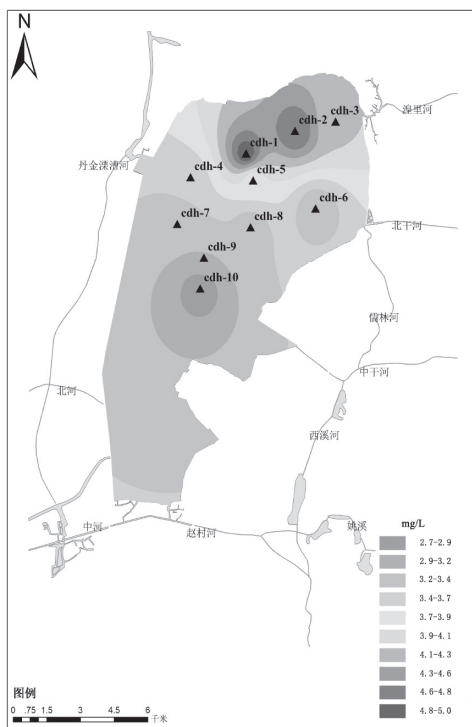


图5 长荡湖浮游动物年均生物量空间分布

2.2.2 长荡湖浮游动物与环境因子的 Pearson 相关性分析

将长荡湖各采样点的环境因子与主要优势种的生物密度进行相关性分析, 结果见表 3。

表 2 长荡湖水体环境因子 (平均值)

样点数	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
WT (°C)	5.19	3.24	12.62	19.65	21.24	23.68	29.90	30.97	26.90	20.65	14.46	10.92
pH	8.08	7.89	7.96	7.95	8.04	8.08	7.91	8.28	7.93	7.91	8.00	7.70
DO (mg/L)	6.08	7.86	6.22	7.20	7.24	6.96	6.14	8.09	6.01	6.60	6.79	7.68
Turbidity (NTU)	73.95	77.24	59.13	33.02	22.69	20.35	43.44	80.53	77.84	79.15	72.91	66.66
SD (cm)	19.85	19.00	27.50	32.00	39.25	46.50	36.75	18.00	19.50	22.00	22.35	25.70
TP (mg/L)	0.06	0.10	0.11	0.09	0.10	0.06	0.11	0.12	0.08	0.09	0.09	0.07
TN (mg/L)	2.14	2.42	2.76	3.25	2.62	2.41	2.71	2.11	2.63	2.40	2.53	1.98
COD (mg/L)	26.10	27.00	27.40	19.20	24.40	21.90	22.00	23.30	24.00	26.10	23.40	23.10

表 3 长荡湖浮游动物主要优势种与各环境因子的 Pearson 相关性分析

	WT	pH	DO	Turbidity	SD	TP	TN	COD
<i>V.campanula</i>	-.514	-.581*	.012	.324	-.457	-.352	-.521	.187
<i>Strobilidium</i> sp.	-.066	-.141	-.274	.452	-.381	-.487	-.445	.133
<i>Diffugia</i> sp.	.180	.130	-.457	.479	-.353	-.353	-.207	.043
<i>K.cochlearis</i>	.145	-.171	-.274	-.108	.069	.121	.373	.047
<i>K.valga</i>	.547	.433	.006	.473	-.314	.170	-.318	-.004
<i>B.angularis</i>	.835**	-.090	-.101	-.456	.531	-.291	-.109	-.488
<i>B.calyciflorus</i>	.569	.284	.162	-.349	.416	.401	.069	-.280
<i>Polyarthra</i> sp.	.237	.601*	-.134	-.448	.527	-.312	-.061	-.326
<i>B.coregoni</i>	.801**	.336	-.130	-.305	.586	.141	-.023	-.422
<i>M.leuckarti</i>	.793**	.036	-.141	-.193	.368	.271	.010	-.416
<i>C.vicinus</i>	-.451	.166	-.355	.407	-.406	-.128	-.114	.422

**. $P < 0.01$, 在 0.01 水平双侧上呈极显著相关

*. $P < 0.05$, 在 0.05 水平双侧上呈显著相关

结果表明, 水温(WT) 与角突臂尾轮虫 (*Brachionus angularis*)、筒弧象鼻溞 (*Bosmina coregoni*) 和广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*) 呈极显著的正相关关系。pH 与多肢轮虫 (*Polyarthra* sp.) 呈显著的正相关关系, 与钟形钟虫 (*Vorticella campanula*) 呈显著的负相关。透明度 (SD) 与筒弧象鼻溞 (*Bosmina coregoni*) 呈显著的正相关关系。

3 结论

2016 年长荡湖浮游动物定量水样镜检见到

的种类共有 48 属 74 种, 其中原生动物 17 属 23 种; 轮虫 15 属 30 种; 枝角类 8 属 10 种; 桡足类 8 属 11 种。浮游动物优势种属中砂壳虫、臂尾轮虫、龟甲轮虫、针簇多肢轮虫、广布中剑水蚤等富营养水体指示种较多^[5], 说明长荡湖已经为富营养型湖泊。

长荡湖小型浮游动物 (轮虫、原生动物) 的生物数量和种类比大型浮游动物 (甲壳动物) 所占比例较高, 这与近 30 年来长荡湖功能的改变、生境

(下转第 10 页)

长荡湖水体环境因子中水温与角突臂尾轮虫、简弧象鼻溞和广布中剑水蚤呈极显著的正相关关系; pH 与多肢轮虫呈显著的正相关关系, 与钟形钟虫呈显著的负相关; 透明度与简弧象鼻溞呈显著的正相关关系。

[1] 陈立婧. 太湖富营养化对浮游生物影响的生态学研究[D].

- [2] 颜庆云, 余育和, 冯伟松, 等. 武汉东湖浮游生物群落 DNA 多态性与富营养化 [J]. 生态学报, 2007, 25 (3): 461-465.
- [3] 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 (第 4 版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [4] 杨金艳, 徐勇, 高小平, 等. 尚湖浮游植物时空变化特征及影响因素分析 [J]. 江苏水利, 2017 (12): 1-6.
- [5] 陶雪梅, 王先云, 王丽卿, 等. 溇湖后生浮游动物群落结构研究 [J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29 (1): 81-86.
- [6] 赵苇航, 朱彧, 朱亮, 等. 长荡湖水环境变化趋势及其主要影响因子 [J]. 水资源保护, 2014, 30 (6): 48-53.