

长荡湖底栖动物群落结构及与环境因子关系

尹子龙, 吴沛沛, 胡晓东

(江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

摘要:为了研究长荡湖底栖动物群落结构组成以及影响因子,与 2018 年 1—12 月逐月对长荡湖区 10 个采样点进行了调查分析。长荡湖底栖动物共检出 13 种,主要为寡毛类、摇蚊幼虫以及软体动物 3 大类;通过优势度指数结果表明长荡湖底栖动物优势种为颤蚓(*Tubifex*)、黄色羽摇蚊(*Chironomus flaviplumus*)、刺铗长足摇蚊(*Tanypus punctipennis*)和梨形环棱螺(*Bellamya purpurificata*);RDA 多元统计分析结果显示,TN、COD_{Mn}、水深和总溶解固体是影响底栖动物优势种的主要水环境因子。

关键词:底栖动物;环境因子;长荡湖

中图分类号:Q958.8

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2020)02-0010-06

Community structure of zoobenthos and its relationship with environmental factors in Changdang Lake

YIN Zilong, WU Peipei, HU Xiaodong

(Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu)

Abstract: In order to study the community composition and impact factors of zoobenthos communities in Changdang Lake, 10 sampling points in Changdang Lake area were investigated and analyzed from January to December 2018. The results showed that 13 species of zoobenthos were detected in Changdang Lake, mainly including oligochaetes, chironomid larvae and mollusks. The dominant index results indicated that the dominant species of zoobenthos in Changdang Lake were *Tubifex*, *Chironomus flaviplumus*, *Tanypus punctipennis* and *Bellamya purpurificata*. The results of RDA multivariate statistical analysis showed that total nitrogen concentration, permanganate index, water depth and total dissolved solids were the main water environmental factors affecting the dominant species of zoobenthos.

Key words: zoobenthos; environmental factors; Changdang Lake

底栖动物是水生态系统的重要组成部分,与水体环境是相互依存、相互影响的统一体,具有分布广泛、生命周期较长、形体较易辨认、对污染的逃避能力弱和对环境变化较为敏感等特征,其群落结构作为预测环境质量变化的重要指标,已广泛应用于生物监测和生态评价^[1]。

长荡湖作为金坛市的饮用水源地,又地处太湖、太湖上游,对太湖流域水环境综合治理和湖泊

生态环境保护起着举足轻重的作用^[2]。随着社会经济的高速发展及受人类活动的影响,长荡湖水质不断恶化,水体富营养化速度加快,给周边市县人民的生活及经济的可持续发展带来了巨大威胁^[3]。本研究以 2018 年底栖动物生态调查数据为依据,分析了长荡湖水域底栖动物群落结构及其与环境因子的关系,为长荡湖水域生态治理提供基础性资料。

收稿日期:2019-09-10

作者简介:尹子龙(1992—),男,硕士,主要从事水生态与水环境工作。

1 研究区域

1.1 研究区域概况

长荡湖又名洮湖、长塘湖,跨金坛、溧阳两县市,湖型为长茄型。湖水依赖地表径流和湖面降水补给,计有大小进出河港 44 条。较大的入湖河港有大浦港、新开河(即丹金溧漕河)、温绿港、方荡港、荷花港、白石港及土山港等,其中除新开河直接引大运河及长江之水源外,其余多源自湖西部之茅山、方山、香草等。较大的出湖河流有湟里、北干、中干及南干河等,湖水东入太湖,转注太湖。湖区水环境功能规划为饮用、渔业和景观,水产养殖、农田灌溉也是湖区的主要功能^[4]。

1.2 采样点设置

根据长荡湖湖区面积、地形轮廓、养殖分布、以及主要出入湖河流等情况,在整个湖区共设置了 10 个采样点(图 1),在 2018 年 1~12 月期间对长荡湖湖区进行了全年的样品采集。

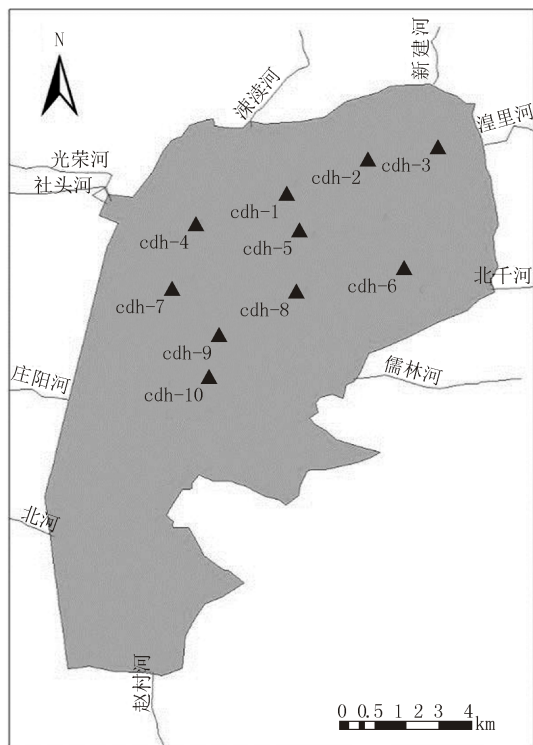


图 1 长荡湖底栖动物采样点

2 调查方法

2.1 底栖动物采集方法

底栖动物样品采集用面积为 $1/20 \text{ m}^2$ 的改良彼得生采泥器,每个采样点采集 3 次,底栖动物与底泥、碎屑等混为一体,必须冲洗后才能进行挑拣。洗涤工作通常采用网径为 0.45 mm 网尼龙筛网进

行洗涤,剩余物带回实验室进行分样。在每个采样点挑拣出各类动物后,放入已装好固定液的 50 ml 塑料瓶中。标本的固定可直接投入到 7% 福尔马林中固定。把每个采样点所采集到的底栖动物按不同种类准确地统计个体数,并用分析天平对不同种类的底栖动物进行分别称重,根据个体数以及称重所得结果推算出 1 m^2 内的数量以及生物量 (g/m^2)^[5]。底栖动物鉴定参照《中国经济动物志·淡水软体动物》《中国小蛭类研究》《辽河流域底栖动物监测图鉴》《中国北方摇蚊幼虫》等鉴定书籍。

2.2 水化学指标测定及分析方法

透明度(SD)采用塞奇氏盘测定,浊度(NTU)、电导率(COND)、pH 值、溶解氧(DO)、叶绿素 a(chl-a)采用 YSI—6600 多功能水质分析仪进行现场测定,总氮(TN)质量浓度、总磷(TP)质量浓度、氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)质量浓度、高锰酸盐指数(COD_{Mn})等水化学指标依据《水和废水监测分析方法》(国家环境保护总局)测定。

长荡湖底栖动物优势种各采样点密度数据和水化学因子数据通过 $\lg(x+1)$ 进行处理使之更趋于正态分布后,首先采用 Canoco for Windows 4.5 软件进行 DCA 分析^[6-8],发现 SD 值小于 3,因此,对物种数据和相关环境因子数据进行 RDA 分析。

3 调查结果

3.1 长荡湖水环境特征

长荡湖水环境因子情况,见表 1,方差分析结果表明,长荡湖各环境因子全年变化情况明显,水温、透明度、浊度、电导率、叶绿素 a、总氮、氨氮和高锰酸盐指数等均呈现明显的季节变化;水深、溶解氧和 pH 值相对其他环境因子变化较小。

3.2 底栖动物群落结构

3.2.1 底栖动物种类组成

2018 年 1 月至 2018 年 12 月期间长荡湖共鉴定出底栖动物 13 种(属),见表 2,其中摇蚊科幼虫种类最多,共计 7 种;寡毛类次之,共 5 种;其次为软体动物,共 1 种。

3.1.2 底栖动物优势种

从表 2 中可以看出,长荡湖底栖动物密度和生物量被少数种类所主导。密度方面,寡毛类的颤蚓和克拉泊水丝蚓,摇蚊科幼虫的刺缺长足摇蚊、黄色羽摇蚊以及软体小摇蚊,分别占总密度的 13.15% 、 10.13% 、 22.20% 、 18.75% 和 10.13% 。生物量方面,由于软体动物个体较大,软体动物的

表 1 长荡湖环境因子

水深/ m	水温/ ℃	透明度/ cm	浊度/ NTU	电导率/ ($\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$)	溶解性总固体/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
1.30 ± 0.36	19.29 ± 7.70	14.75 ± 7.34	73.79 ± 32.81	341.08 ± 71.65	256.8 ± 49.34	8.80 ± 0.81
$\rho(\text{DO})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{chl-a})/$ ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	
10.25 ± 1.80	49.96 ± 31.38	2.68 ± 0.80	0.10 ± 0.06	0.12 ± 0.19	3.73 ± 1.58	

注:表中数据为平均值 \pm 标准差

表 2 2018 年 1~12 月长荡湖底栖动物密度和生物量

类别		平均密度/ ($\text{ind.} \cdot \text{m}^{-2}$)	相对密度/ %	平均生物量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	相对生物量/ %	出现 频次	优势度 指数
寡毛类	<i>Oligochaeta</i>						
苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbyi</i>	111.1	6.03	1.78	3.55	8	76.67
颤蚓	<i>Tubifex</i>	242.1	13.15	3.31	6.59	10	197.37
奥特开水丝蚓	<i>Limnodrilus udekemianus</i>	27.8	1.51	0.02	0.03	2	3.08
克拉泊水丝蚓	<i>Limnodrilus ciaparedeianus</i>	186.5	10.13	0.21	0.43	7	73.89
管水蚓	<i>Aulodrilus sp.</i>	87.3	4.74	1.24	2.48	6	43.32
摇蚊幼虫	<i>Chironomidae</i>						
黄色羽摇蚊	<i>Chironomus flaviplumus</i>	345.2	18.75	4.34	8.64	9	246.50
红裸须摇蚊	<i>Prosilocerus akamusi</i>	87.3	4.74	0.55	1.10	2	11.69
刺铗长足摇蚊	<i>Tanytus punctipennis</i>	408.7	22.20	1.47	2.93	7	175.93
溪流摇蚊	<i>Chironomus riparius</i>	115.1	6.25	0.27	0.54	6	40.75
喙隐摇蚊	<i>Cryptochironomus rostratus</i>	31.8	1.72	0.15	0.29	3	6.05
软铗小摇蚊	<i>Microchironomus tener</i>	186.5	10.13	0.25	0.50	8	85.02
缺损拟隐摇蚊	<i>Demicryptochironomus vulneratus</i>	4.0	0.22	0.02	0.04	1	0.26
软体动物	<i>Mollusca</i>	—	—	—	—	—	—
梨形环棱螺	<i>Bellamya purpurificata</i>	7.9	0.43	36.58	72.86	2	146.59

* 相对密度和相对生物量分别为某一物种占总密度和总生物量的百分比,出现频率为某物种在所有采样点中的出现次数,优势度指数 = (相对密度 + 相对生物量) \times 出现频率。

梨形环棱螺在总生物量上占据绝对优势,达到 72.86%,黄色羽摇蚊、颤蚓、苏氏尾鳃蚓以及刺铗长足摇蚊所占比重次之,分别为 8.64%、6.59%、3.55% 和 2.93%。从 13 个物种的出现频率来看,颤蚓、苏氏尾鳃蚓、克拉泊水丝蚓、黄色羽摇蚊以及

软铗小摇蚊等几个种类是长荡湖最常见的种类,其在大部分采样点均能采集到。综合底栖动物的密度、生物量以及各物种在 10 个采样点的出现频率,利用优势度指数确定优势种类,结果表明长荡湖现阶段的底栖动物优势种主要为颤蚓、黄色羽摇蚊、

刺铗长足摇蚊以及梨形环棱螺。

3.2.3 底栖动物密度与生物量分布

长荡湖底栖动物密度和生物量全年及各季度平均值的空间分布格局如图(图2)。总体而言,生

从图3(a、b、c、d)可以看出,各个季度中各采样点空间密度分布不均、差异较大,且呈季节变化趋势,秋季以及冬季长荡湖底栖动物密度整体上呈高位,而夏季以及春季底栖动物密度相对较低。这个

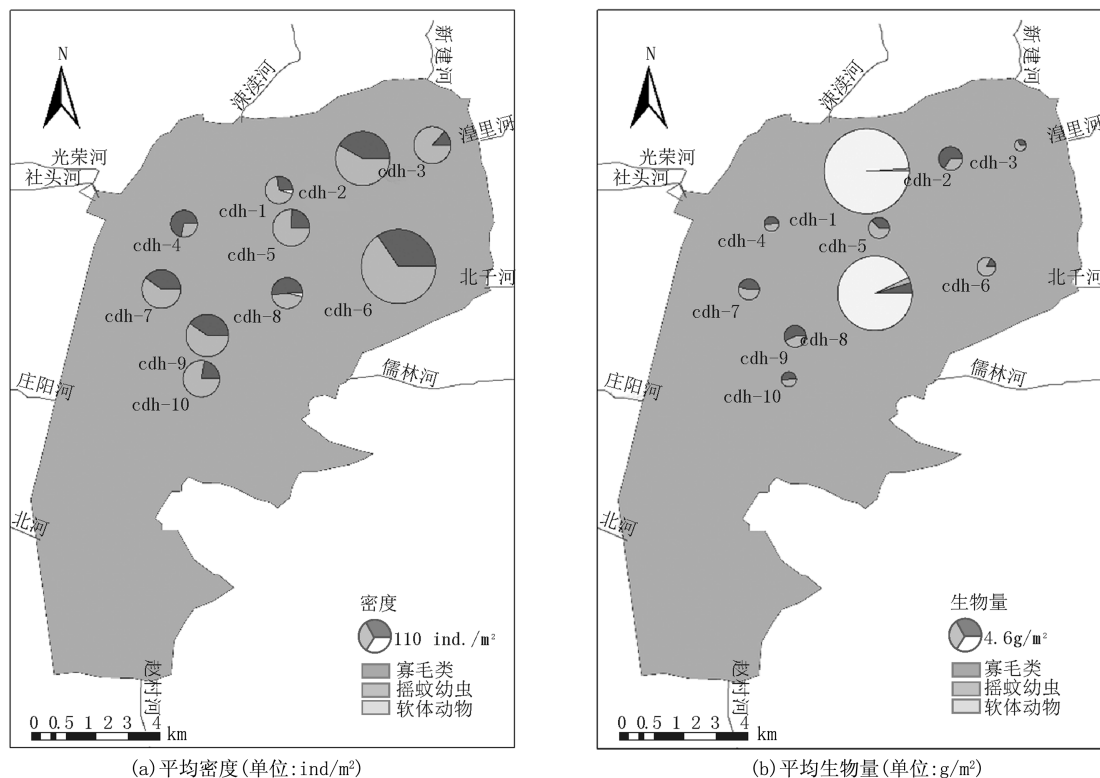


图2 2018年长荡湖底栖动物年均密度和年均生物量

物量较密度空间差异更大。从图2可以看出,在全年平均密度中各采样点空间密度分布相对均匀,底栖动物密度较高的采样点主要分布在长荡湖的东北部区域,长荡湖底栖动物最大密度出现在cdh-6采样点,最大值为496 ind./m²;底栖动物密度较低的采样点主要分布在长荡湖的中部区域,大部分分布在长荡湖资源保留区以及渔业资源繁保区,长荡湖底栖动物最小密度出现在cdh-4采样点,最小值为83.3 ind./m²;而底栖动物生物量方面,从图中可以看出,空间差异极大,生物量较大的采样点是cdh-1和cdh-8采样点,其中软体动物占据绝对主导地位,长荡湖底栖动物最大生物量出现在cdh-1采样点,最大值为21.24 g/m²,最小生物量出现在cdh-3采样点,最小值为0.64 g/m²;位于渔业资源繁保区的cdh-5采样点底栖动物密度及生物量均表现出较低值,说明长荡湖渔业资源繁保区的区域功能性作用明显。长荡湖底栖动物呈现区域特性,原因可能是长荡湖近几年养殖围网的拆除后,人类停止投放饵料,鱼类转而捕食底栖动物,抑制了底栖动物的生长繁殖。

与底栖动物的生活习性有关,长荡湖底栖动物主要由寡毛类、摇蚊幼虫和软体动物组成,秋季及冬季为摇蚊幼虫等的繁殖期,以摇蚊幼虫为主导的长荡湖底栖动物密度较高;夏季气温较高,有利于摇蚊幼虫的羽化,对长荡湖底栖动物密度影响较大。从图3(e、f、g、h)可以看出,各个季度中各采样点空间生物量受软体动物的影响较大,在各个季度的分布较为不均,且具有不确定性,这主要与软体动物的样品采集有关,软体动物个体较大,在生物量统计方面占优,软体动物在采样点出现的不确定性导致了生物量分布的不确定性,除去软体动物的影响,生物量的分布与密度相类似,最高值主要分布在长荡湖的北部以及西部区域。

3.3 底栖动物与环境因子关系

将底栖动物优势种各采样点密度数据和水环境因子数据通过 $\lg(x+1)$ 进行处理后,通过Canoco for Windows 4.5软件先进行DCA分析,结果显示SD值小于4,根据结果判断选择RDA分析,对物种数据和相关环境因子分析结果如图(图4)。图中SP1~SP4分别为颤蚓、黄色羽摇蚊、刺铗长足摇蚊

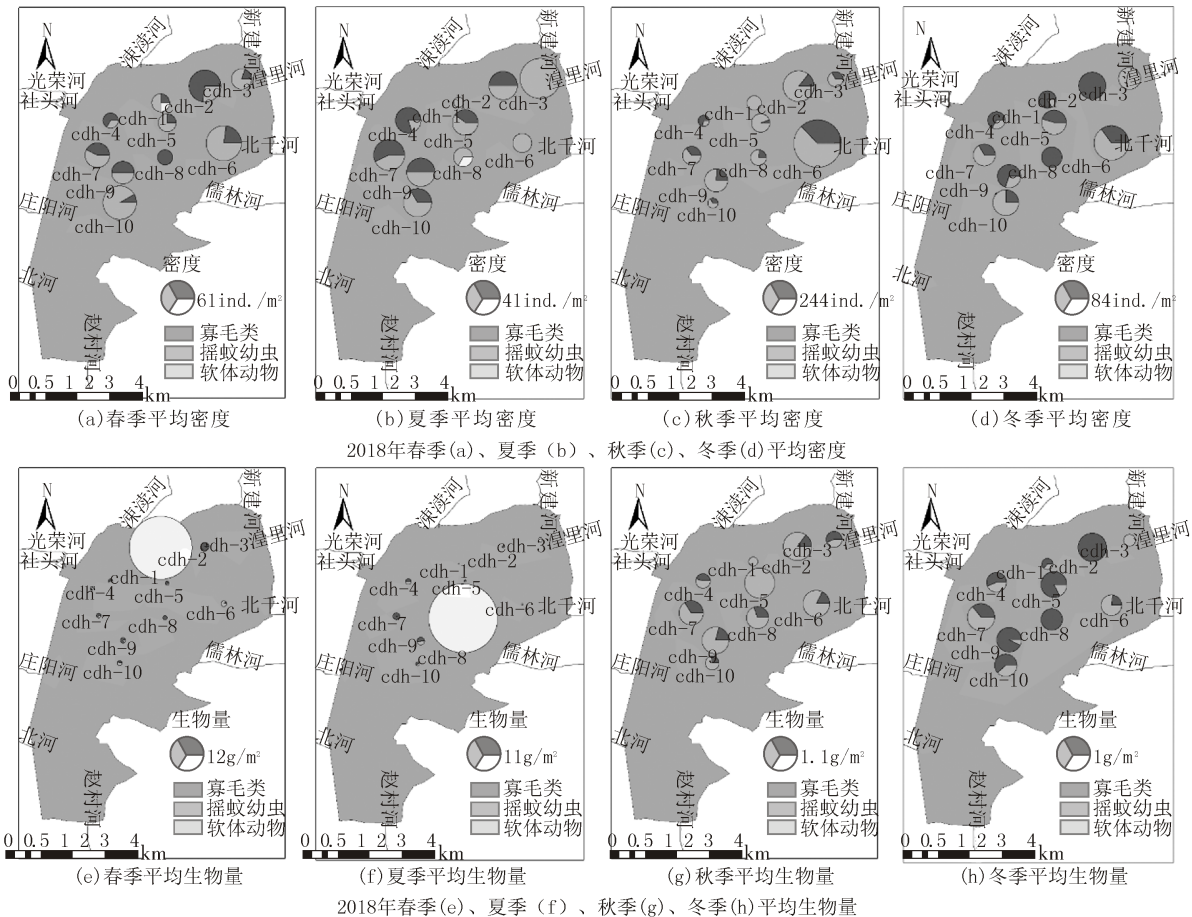


图3 长荡湖2018年四季底栖动物密度和平均生物量空间分布格局

和梨形环棱螺。

不同水环境因子对底栖动物优势种影响不同。RDA 结果表明,第一轴、第二轴共解释了属种累计方差值的 30.7%,环境变量对物种的解释量达到 90.0%;总氮质量浓度、高锰酸盐指数、水深和总溶解固体对底栖动物优势种影响较大,颤蚓与刺铗长足摇蚊受环境因子的影响较为相似,同高锰酸盐指数呈显著正相关关系,同总氮质量浓度呈显著负相关关系;黄色羽摇蚊同水深呈显著正相关关系,同总溶解固体总量呈显著负相关关系;梨形环棱螺受环境因子影响较小,与环境因子没有明显的相关性。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)长荡湖 2018 年度底栖动物主要以摇蚊幼虫为主,共鉴定出摇蚊幼虫 7 种,占总种类数的一半以上,密度方面也是摇蚊幼虫占比最高,所有种类摇蚊幼虫密度总和占总密度的 64.01%,其中密度排在前 2 位的刺铗长足摇蚊和黄色羽摇蚊的密度分别为 409 ind./m² 和 345 ind./m²,分别占总密

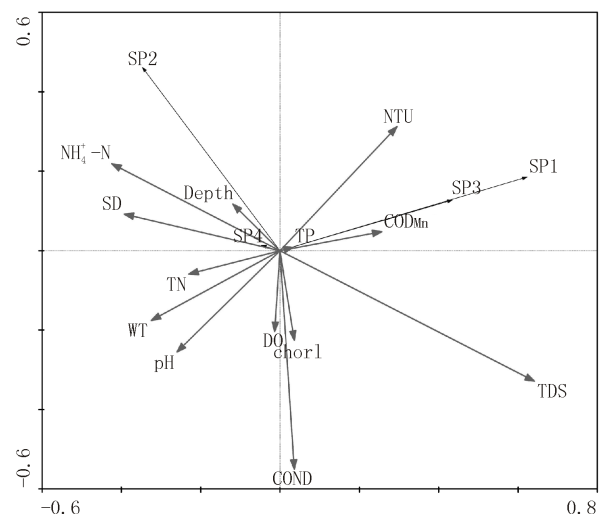


图4 长荡湖底栖动物优势种 RDA 分析

度的 22.2% 和 18.75%。生物量方面除去个体较大的软体动物,也是摇蚊幼虫占比较高。黄色羽摇蚊和刺铗长足摇蚊也是湖区常见种和优势种。

(2)根据长荡湖底栖动物分布可以看出,在各个季度中,密度和生物量最高值均出现在长荡湖的东北部区域,空间格局较为一致,而在湖区中部区域,密度和生物量均较低。这种密度、生物量空间

分布格局与长荡湖的地理位置以及功能区划有密切关系,长荡湖的中部区域,大部分为长荡湖资源保留区以及渔业资源繁保护区,区域功能性作用明显,原因可能是长荡湖近几年养殖围网拆除后,人类停止投放饵料,鱼类转而捕食底栖动物,抑制了底栖动物的生长繁殖。周边沿岸区域受人类活动影响,人类生产生活加剧对湖区周边水域的生态环境恶化,使污染指示种相对较多。

长荡湖底栖动物的年际变化,在秋、冬季,底栖动物密度有所提高,寡毛类、摇蚊幼虫的密度在各采样点均有很程度的增大,随着温度的升高,摇蚊幼虫逐渐羽化成摇蚊成虫后离开水体,密度开始下降。生物量方面变化相类似,但由于软体动物的特殊性,软体动物生物量所占比重过大,在各个季度均占据绝对优势。

(3)根据 RDA 多元统计分析结果,长荡湖底栖动物优势种与水环境因子相关性较高,其中颤蚓和刺桡长足摇蚊与水环境因子中的高锰酸盐指数呈显著正相关关系,黄色羽摇蚊与水环境因子中的氨氮质量浓度呈正相关关系,高锰酸盐指数与氨氮质量浓度较高区域水质指标一般较差,水体存在富营养化风险,颤蚓又属于耐污种,说明长荡湖部分地区污染较重。

4.2 建议

长荡湖水生态环境目前正处于一个关键阶段,应当继续进行相关生态方面的实时监测、治理,同时加强宣传管理,减少污染源头的扩大化、严重化。在长荡湖出湖河道北干河附近的水街有大量餐饮船,产生的污水、垃圾未能回收处理,对长荡湖生态环境带来了不利的影响。而湟里河和北干河是太湖的入湖河流,为避免对太湖的生态造成影响,因此建议在湟里河附近建立生态湿过滤系统等生态修复措施,加快水街的餐饮船整治^[9-10]。

长荡湖不仅作为金坛市的饮用水源地,又地处太湖、太湖水上游,对太湖流域的湖泊生态环境也有着很强的影响作用。近几年,在各级政府和部门的

大力推进下,长荡湖退渔还湖工作逐年推进,收效明显,希望同时加强退渔还湖区生态系统修复和重建,从而发挥退渔还湖的最大生态效益。

参考文献:

- [1] 任淑智. 北京地区河流中大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究[J]. 环境科学学报, 1991, 11(1):31-46.
- [2] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998:293-294.
- [3] 王菲菲, 李小平, 陈小华, 等. 长荡湖近 15 年营养状态评价及限制因子研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(S1):353-357.
- [4] 蔡永久, 刘劲松, 戴小琳, 等. 长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5):1224-1232.
- [5] Yin Xuwang, Li Qingnan, Zhu Meihua et al. Community structure and biological integrity of macroinvertebrates in the wet and dry seasons of Wei River basin, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14):4784-4796.
- [6] Flores L N, Barone R. Phyto plankton dynamics in two reservoirs with different trophic state (Lake Rosa marina and Lake Arancio, Sicily, Italy) [J]. Hydrobiologia, 1998, 369/370:163-178.
- [7] Lopes M R M, Bicudo C E M, Ferragut M C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, south east Brazil [J]. Hydrobiologia, 2005, 542(1):235-247.
- [8] Muylaert K, Sabbe K, Vyverman W. Spatial and temporal dynamics of phytoplankton communities in a freshwater tidal estuary (Schelde, Belgium) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2000, 50(5):673-687.
- [9] 郭刘超, 韩庚宝, 邓俊辰, 等. 长荡湖浮游动物群落结构特征及影响因子分析[J]. 江苏水利, 2019, (02):1-5, 10.
- [10] 尹子龙, 陆晓平, 翁松干, 等. 固城湖底栖动物群落结构及水质生态评价[J]. 江苏水利, 2018, (11):14-19, 25.