

上海崇明岛明珠湖轮虫群落结构*

陈立婧¹ 顾 静¹ 彭自然² 胡忠军² 刘其根^{2**}

(¹ 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306 ; ² 上海海洋大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 201306)

摘 要 根据 2008 年 1—12 月上海市崇明岛明珠湖的综合调查资料, 分析了明珠湖轮虫的数量分布、群落特征、种类组成、优势种及物种多样性。结果表明: 本次调查共鉴定出轮虫 27 种, 隶属于 8 科 11 属, 优势种包括刺簇多肢轮虫、暗小异尾轮虫、萼花臂尾轮虫、未定名的旋轮属 1 种和剪形臂尾轮虫。轮虫生物密度的年均值为 $(1505.42 \pm 1304.63) \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 生物量年均值为 $(2.012 \pm 2.146) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 明珠湖轮虫的 Shannon-Wiener 多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均较低, 优势种的优势度指数较大, 反映出明珠湖轮虫群落结构不稳定; 其富营养种数/贫营养种数 (E/O) 的比值为 1.61 ± 1.46 , 臂尾轮虫属 (B) 种数和异尾轮虫属 (T) 种数的比值 ($Q_{B/T}$) 为 1.23 ± 0.84 。影响明珠湖轮虫生态特征分布的主要因子是水温; 目前明珠湖水水质呈轻度富营养化。

关键词 明珠湖 轮虫 群落结构 物种多样性

文章编号 1001-9332(2009)12-3057-06 中图分类号 Q959.1 文献标识码 A

Community structure of rotifer in Mingzhu Lake of Chongming Island, Shanghai. CHEN Li-jing¹, GU Jing¹, PENG Zi-ran², HU Zhong-jun², LIU Qi-gen² (¹Ministry of Education Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; ²Ministry of Agriculture Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquaculture Ecology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2009 20(12): 3057-3062.

Abstract: A comprehensive survey on the quantitative distribution, community structure, species composition, dominant species, and species diversity of rotifer was conducted in the Mingzhu Lake of Chongming Island, Shanghai in January-December, 2008. There were 27 species of rotifer in the Lake, belonging to 8 families and 11 genera. The dominant species were *Polyarthra trigla*, *Trichocerca pusilla*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus forficula*, and *Philodina* sp. The rotifer had an average annual density of $(1505.42 \pm 1304.63) \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, and an average annual biomass of $(2.012 \pm 2.146) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The Shannon-Wiener diversity index, evenness index, and richness index of rotifer community in the Lake were relatively low, while the dominance index was rather high, indicating that the community structure of the rotifer was unstable. The E/O value was 1.61 ± 1.46 on average, and the $Q_{B/T}$ values was 1.23 ± 0.84 on average. Water temperature was the main factor affecting the rotifer distribution. Biological assessment of water quality suggested that the Mingzhu Lake was on eutrophication.

Key words: Mingzhu Lake; rotifer; community structure; species diversity.

轮虫是淡水浮游动物的主要类群。湖泊轮虫的物种多样性与水体富营养化有关^[1]。许多学者将某些轮虫种类作为污染指示生物, 并以轮虫富营养种数与贫营养种数的比值 (E/O 值) 和臂尾轮虫属

(B) 种数与异尾轮虫属 (T) 种数的比值 ($Q_{B/T}$ 值) 对水质污染和水体营养状况进行评价^[2-4], 且国内外一些专家对轮虫在生物监测中的指示作用也进行了研究^[4-7]。

* 上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2006)第3-4号]、上海海洋大学博士启动项目和上海市重点学科建设项目(S30701)资助。
* * 通讯作者。E-mail: qgliu@shou.edu.cn
2009-04-17 收稿, 2009-10-07 接受。

崇明岛面积 1083 km², 是我国第三大岛, 也是世界著名的河口冲积岛, 被誉为长江口的一颗明珠。在生态岛建设过程中, 许多研究机构和人员在崇明

岛进行了大量的生态学研究工作,如对滩涂湿地鸟类、鱼类、水生植物生态学和底栖生物生态学等的研究^[8-10],但目前尚未见有关该岛水域中轮虫群落结构特征的报道。明珠湖地处崇明岛西部绿华镇境内,位于崇明岛的西南端,由长江支流港汉演变而来,与长江仅一堤之隔。明珠湖面积 3 km²,湖面南北长 3000 m、东西宽近 1000 m,最深处 7~8 m,蓄水量 5×10⁶ m³,是目前岛上最大的天然淡水湖泊,也是崇明县计划开发的西部水上游乐度假区和西部生态农业观光旅游区的主要区域。由于崇明岛经济的发展和明珠湖旅游景点的开放,对明珠湖造成很大污染,明珠湖的水质状况正处在逐步恶化阶段,对明珠湖水质的监测和研究显得尤为重要。为此,本文对明珠湖的轮虫群落结构与物种多样性变化进行了研究,以期在今后评价环境污染、生态旅游、生态岛建设提供基础资料,为崇明岛乃至整个上海地区淡水生态系统轮虫生态学的深入研究与应用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

于 2008 年 1—12 月每月中旬采样一次。共设 6 个采样点(图 1)。

1.2 指标的测定

定性样品用 25 号筛绢制成的浮游生物网拖捞获取。定量样品用 5 L 采水器于距表层 0.5 m 水深处和接近底面水深处各取 5 L,充分混匀^[11]。取 1 L 水样现场用鲁哥氏液固定,然后带回实验室经 48 h 沉淀后浓缩至 30 ml,加 4% 福尔马林溶液保存以备镜检。轮虫计数采用 1 ml 计数框,在显微镜下全片计数,取 2 片计数的平均值作为轮虫密度。轮虫种类的鉴定按 Koste 分类系统。用柱状采水器采集湖水 1000 ml,带回实验室后分析水化指标(TN、TP)和叶绿素 a 含量,同时,现场测量水温、水深、透明度、溶解氧等水质因子(表 1)。

1.3 数据处理

采用 $Y = (N_i/N)f_i$ 计算种类优势度。其中: N_i

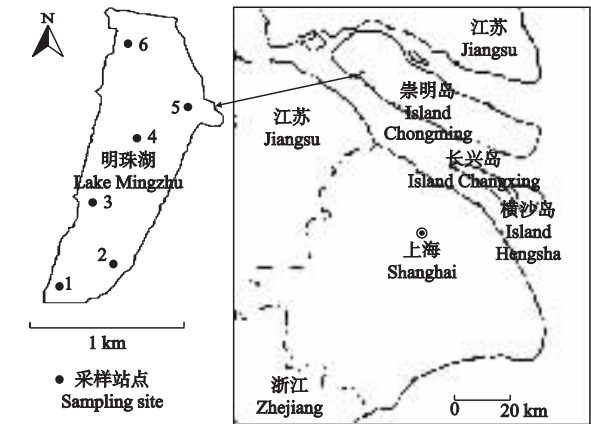


图 1 崇明岛明珠湖的轮虫采样站点分布
Fig. 1 Distribution of sampling sites in Mingzhu Lake of Chongming Island.

为第 i 种的个体数; N 为样品中所有种类的总个体数; f_i 为第 i 种的出现频率。 $Y > 0.02$ 为优势种^[12]。

采用 Shannon-Wiener 物种多样性指数 $H' = -\sum (N_i/N) \ln(N_i/N)$;Margalef 物种丰富度指数 $D = (S - 1)/\ln N$;Pielou 物种均匀度指数 $J = H'/\ln S$ 进行群落种类组成的多样性分析。其中: N 为样品中所有种类的总个体数; S 为样品中种类总数; N_i 为第 i 种的个体数^[4]。

轮虫富营养种数与贫营养种数的比值(E/O): < 0.5 为贫营养型; $0.5 \sim 1.5$ 为中营养型; $1.5 \sim 5.0$ 为富营养型; > 5.0 为超富营养型^[13]。

由于臂尾轮虫属多为富营养型种,异尾轮虫属几乎都是贫营养型种,故采用轮虫中臂尾轮虫属(B)种数与异尾轮虫属(T)种数的比值($Q_{B/T}$)来判断水体类型^[14]: $Q_{B/T} < 1$ 为贫营养型; $1 \sim 2$ 为中营养型; > 2 为富营养型。

不同级别污染指示物种的划分方式及定义见文献[14]。

利用 SPSS 13.0 软件对明珠湖轮虫现存量、物种多样性及水质理化因子的相关性进行分析。

表 1 2008 年崇明岛明珠湖主要理化因子的年平均值
Tab. 1 Annual average values of main physical and chemical characteristics of Mingzhu Lake of Chongming Island in 2008

	水温 Water temperature (℃)	水深 Water depth (m)	透明度 SD (cm)	总氮 TN (mg·L ⁻¹)	总磷 TP (mg·L ⁻¹)	pH	溶解氧 DO (mg·L ⁻¹)	叶绿素 a Chl a (μg·L ⁻¹)
平均值 Average	17.8	2.4	64.7	1.085	0.105	7.8	8.57	20.511
范围 Range	17.6~18.0	1.4~3.2	61.6~67.5	1.050~1.156	0.098~1.109	7.7~7.8	8.55~8.63	4.150~69.888

2 结果与分析

2.1 明珠湖轮虫种类组成、季节分布及污染指示

2008 年 1—12 月 ,调查共鉴定出轮虫 27 种 ,隶属于 8 科 11 属 .其中臂尾轮科种类最多 ,达 4 属 11 种 ,鼠轮科 1 属 5 种 ,晶囊轮科 1 属 3 种 ,镜轮科、腔轮科和疣毛轮科均 1 属 2 种 ,其余均为 1 科 1 种 .冬春季明珠湖轮虫种类为 9 种 ,夏秋季(17 种)约为冬春季的 2 倍 .

随着季节的变化 ,明珠湖轮虫优势种发生变化 .春季主要优势种为刺簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)、刺盖异尾轮虫(*Trichocerca capucina*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*) ,其优势度指数分别为 0.38、0.24、0.13 ;夏季主要优势种为刺簇多肢轮虫、暗小异尾轮虫(*Trichocerca pusilla*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)、旋轮虫(*Philodina* sp.)、椎尾水轮虫(*Epiphanes senta*) ,其优势度指数分别为 0.16、0.14、0.11、0.07、0.03 ;秋季主要优势种为刺簇多肢轮虫、暗小异尾轮虫、旋轮虫、尾三肢轮虫(*Filinia major*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*) ,其优势度指数分别为 0.24、0.16、0.16、0.07、0.07 ;冬季主要优势种为刺簇多肢轮虫、前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)、旋轮虫、刺盖异尾轮虫 ,其优势度指数分别为 0.56、0.11、0.11、0.03 .可见 ,刺簇多肢轮虫为广温性种类 ,在一年四季中均有出现 ,而其他优势种均随季节温度的变化而改变 .

由表 2 可以看出 ,2008 年 1—12 月在明珠湖 6 个采样点发现的轮虫中 ,轮虫污染指示种共 16 种 ,其中 ,寡污-β 中污性为 5 种 ,占污染指示种总数的 31.25% ;寡污性为 4 种 ,占 25.00% ;β-α 中污性为 3 种 ,占 18.75% ;β-中污性为 3 种 ,占 18.75% ;α-中污性为 1 种 ,占 6.25% .从不同污染等级的轮虫种类占总种数的比例来看 ,明珠湖水体已受到一定污染 .

2.2 明珠湖轮虫现存量的变化

由图 2 可知 ,明珠湖轮虫现存量的季节变化较明显 .夏秋季 ,轮虫生物密度较高 ,为(2254.17 ± 1649.25) ind · L⁻¹ ,其中 7 月(5004.17 ind · L⁻¹)最高 ;冬春季 ,轮虫生物密度有所降低 ,为(756.67 ± 410.02) ind · L⁻¹ ,其中 2 月(320.00 ind · L⁻¹)最低 .夏秋季 ,研究区生物密度较高的种类为尾三肢轮虫、剪形臂尾轮虫和裂足臂尾轮虫 ;冬春季 ,生物密度较高的种类为刺簇多肢轮虫 .各调查站点中 ,4 号站点的轮虫生物密度最大 ,为(1772.92 ±

表 2 明珠湖轮虫种类组成及其分布
Tab.2 Species composition and distribution of rotifer occurring in Mingzhu Lake

种 类 Species	出现月份 Occurring month	污染指示等级 Indicating degree of pollution
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	1 2 5—11	β-α
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>	1—7 ,10 ,12	
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	1—6	β-α
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	6 8—9	β
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	6—9	α-β
肛突臂尾轮虫 <i>Brachionus bennini</i>	7	
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>	2—11	α
纵长异尾轮虫 <i>Trichocerca elongata</i>	5—8	α
罗氏异尾轮虫 <i>Trichocerca rousseleti</i>	5—7	α
等刺异尾轮虫 <i>Trichocerca similis</i>	10	α
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>	7—12	β
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	3 7—8	α
尾三肢轮虫 <i>Filinia major</i>	1 3—4 6—10	
刺簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	1—12	β-α
广布多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>	8 ,10	
盖氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna girodi</i>	4 ,12	α-β
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	4—12	β
卜氏晶囊轮 <i>Asplanchna brightwelli</i>	6	
精致单趾轮虫 <i>Monostyla elachis</i>	4	
四齿单趾轮虫 <i>Monostyla quadridentata</i>	5—10	
矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>	4 8	α-β
曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>	2 4 8—11	α-β
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	12	α-β
四角平甲轮虫 <i>Platylas quadricornis</i>	2	
椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>	1 5—7 9—11	
1 种旋轮虫 <i>Philodina</i> sp.	6—11	
探索前翼轮虫 <i>Proales decipiens</i>	9	

α :寡污性 Oligosaprobity ;α-β :寡污-β 中污性 Oligo-β-mesosaprobity ;β :β-中污性 β-mesosaprobity ;β-α :β-α 中污性 β-α-mesosaprobity ;α :α-中污性 α-mesosaprobity .

1435.21) ind · L⁻¹ ,2 号站点最小 ,为(1083.33 ± 917.34) ind · L⁻¹ ,各站点间的密度差异不显著 .

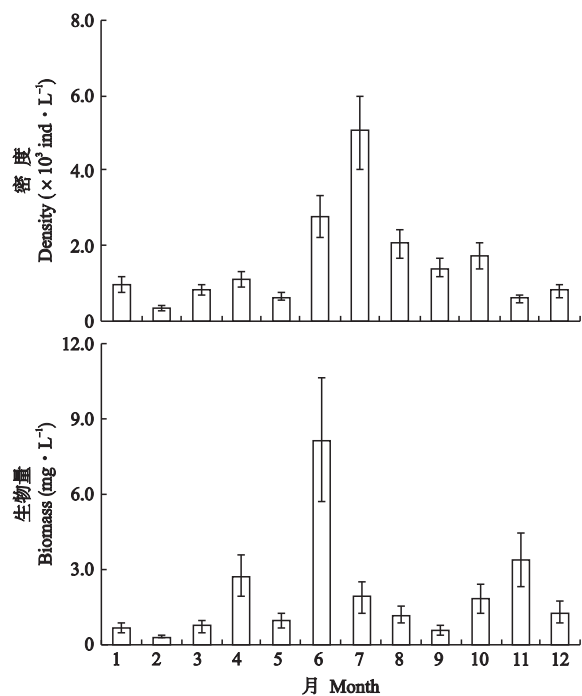


图2 2008 年明珠湖轮虫密度和生物量的变化
Fig. 2 Change of density and biomass of rotifer in Mingzhu Lake in 2008 (mean ± SE).

由图2 可见,明珠湖轮虫生物量在6 月达最大值,为 $8.180\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其次为4 月($2.749\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),11 月($3.416\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),这与密度较大值出现在6、7、8 月有所不同.其原因在于4、6 和11 月晶囊轮虫等个体鲜质量较大[(3.027 ± 2.503) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]的物种为优势种类,而6、7、8 月刺簇多肢轮虫、臂尾轮虫和暗小异尾轮虫等个体鲜质量较小[(0.131 ± 0.163) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$]的物种为优势种类,导致生物量与密度的高峰存在一定差异.各调查站点中4 号、5 号站点的轮虫生物量分别为(3.241 ± 4.124) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和(3.120 ± 4.766) $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,这与两站点中晶囊轮虫数量较多有关.

2.3 明珠湖轮虫优势种的年动态变化

在所观察到的明珠湖轮虫优势种中,刺簇多肢轮虫、暗小异尾轮虫、旋轮虫属的优势度指数较大,分别占优势种总密度的43.59%、20.03%、11.91%.研究区轮虫优势种在季节上有一定的变化(图3)刺簇多肢轮虫在每个月均有出现,其冬春季的密度占年优势种总密度的比例为43.59%,夏秋季仅占19.86%,旋轮虫、暗小异尾轮虫在温度较高的夏秋季大量出现,其密度占年优势种总密度的比例分别为15.29%、15.05%.

2.4 明珠湖轮虫的多样性分析

在明珠湖轮虫的物种多样性指数中, H' 值为

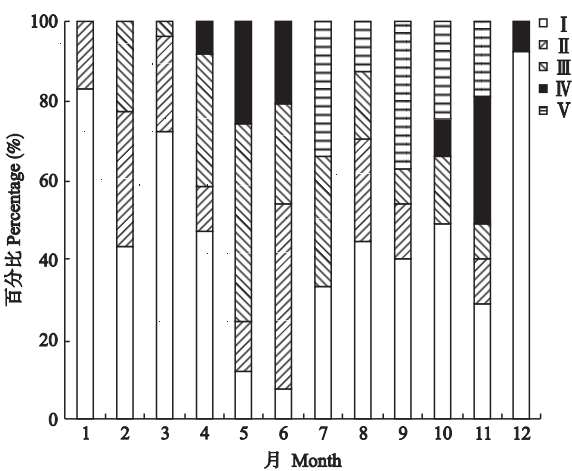


图3 明珠湖轮虫重要属、种密度百分比组成的年变化
Fig. 3 Annual variation in species composition shown as a percentage of total density of some important rotifera genera and species in Mingzhu Lake (2008).

I 刺簇多肢轮虫 *Polyarthre trigla* ;II :臂尾轮虫属 *Brachionus* sp. ; III 暗小异尾轮虫 *Trichocerca pusilla* ;IV 晶囊轮虫属 *Asplanchna* sp. ; V 旋轮虫属 *Philodina* sp.

0.46 ~ 0.93 , D 值在 0.38 ~ 1.28 , J 值在 0.53 ~ 1.97.3 种指数在各站点间的差异均不显著.

群落因素对轮虫物种多样性指数月变化的影响表现为轮虫的 H' 、 D 与轮虫种类数均呈极显著正相关关系($H' = 0.073 + 0.120 \times \text{种类数}$, $n = 12$, $r = 0.796$, $P < 0.002$; $D = -0.220 + 0.092 \times \text{种类数}$, $n = 12$, $r = 0.895$, $P < 0.001$),而3 种多样性指数与轮虫优势度指数间却呈极显著的负相关关系($H' = 2.264 - 4.675 \times \text{优势度指数}$, $n = 12$, $r = -0.922$, $P < 0.001$; $D = 1.330 - 2.581 \times \text{优势度指数}$, $n = 12$, $r = -0.819$, $P < 0.001$; $J = 0.981 - 1.113 \times \text{优势度指数}$, $n = 12$, $r = -0.914$, $P < 0.001$).

2.5 明珠湖轮虫的 E/O 和 $Q_{B/T}$ 值

明珠湖轮虫 E/O 值为 1.61 ± 1.46 ,在 1.00 ~ 6.00 之间波动; $Q_{B/T}$ 值为 1.23 ± 0.84 ,其值在 1.00 ~ 4.00(表3).明珠湖所有站点的 E/O 值和 $Q_{B/T}$ 值大多处于1 左右,站点间无显著性差异.因此,可初步确定明珠湖为轻度富营养型,并有污染加重的趋势.

2.6 明珠湖轮虫现存量与主要理化因子、叶绿素 a 含量的关系

水温与明珠湖轮虫密度呈极显著的正相关关系;总氮、叶绿素 a 含量与轮虫密度和生物量均呈正相关,其中与密度的相关性达极显著水平(表4).

表 3 明珠湖 6 个采样点的轮虫 E/O 值和 $Q_{B/T}$ 值
Tab.3 E/O value and $Q_{B/T}$ value of rotifera at 6 sampling stations in Mingzhu Lake (mean \pm SE)

采样站点 Sampling site	E/O	$Q_{B/T}$
1	1.08 \pm 1.20	0.95 \pm 0.98
2	1.76 \pm 1.82	1.13 \pm 0.77
3	1.46 \pm 1.75	1.22 \pm 0.98
4	1.71 \pm 1.63	1.28 \pm 0.77
5	1.82 \pm 1.02	1.35 \pm 0.82
6	1.82 \pm 1.27	1.47 \pm 0.89

表 4 明珠湖主要理化参数与轮虫密度和生物量相关系数
Tab.4 Regression coefficient of main physicochemical parameters in Mingzhu Lake with density and biomass of rotifera ($n = 70$)

参 数 Parameter	密 度 Density	生物量 Biomass
水 温 Water temperature ($^{\circ}\text{C}$)	0.544 **	0.214
透明度 SD (cm)	-0.439 **	-0.092
总 氮 TN ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.477 **	0.071
叶绿素 a Chl a ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.664 **	0.116

** $P < 0.01$.

3 讨 论

3.1 明珠湖轮虫优势种的季节动态

黄祥飞等^[15]研究了温度对轮虫卵发育的影响,并根据不同温度下出现的种类,把轮虫分成 3 种类型:冷水性种类、广温性种类和暖水性种类.温度对轮虫的繁殖、生长发育及时空分布起着关键性作用.明珠湖 27 种轮虫中,绝大多数为广温性种类,如臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、多肢轮虫、三肢轮虫、晶囊轮虫等,少数为冷水性和暖水性种类,异尾轮虫多属暖水性种类,适宜温度在 $25^{\circ}\text{C} \sim 29^{\circ}\text{C}$,所以明珠湖轮虫在夏秋季出现数量高峰.

淡水轮虫群落中优势种类常常只有少数几种,且因水体的不同而异. Kobayashi 等^[16]和 Pace 等^[17]分别对澳大利亚 Hawkesbury Nepea 河和加拿大 Hudson 河的调查结果表明,龟甲轮属、多肢轮属和异尾轮属的轮虫为优势种. Van Dijk 等^[18]在对 Rhine 河的研究中发现,角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫和矩形龟甲轮虫为优势种.本研究的明珠湖轮虫优势种类中,刺簇多肢轮虫在每个月均出现,印证了该种为广温性种类,其他种类如异尾轮属、旋轮属、臂尾轮属、晶囊轮属等均出现明显的季节演替.在温度较低的冬春季,臂尾轮属、晶囊轮属的数量相对较多,在温度较高的夏秋季,异尾轮属、旋轮属的数量较多,印证了这两属为暖水性种类.

3.2 生态因子对轮虫密度的影响

多数学者认为,决定轮虫种类季节演替的主要因子是水温^[1-4,19-20].明珠湖溶解氧平均值为 $8.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH 值为 7.8,并且基本维持稳定,因此可认为溶解氧和 pH 值对明珠湖轮虫密度的影响不大.轮虫密度与水温呈极显著正相关,可见水温是影响明珠湖轮虫密度的主要非生物因子.在明珠湖轮虫种类密度的年变化中,多肢轮属与臂尾轮属($r = -0.081$),异尾轮属密度($r = -0.098$)均呈负相关关系($P < 0.1$),其原因可能是多肢轮属为广温性种类(最适温度约 15°C),同属广温性种类的臂尾轮虫的生长适应温度(约 20°C)比多肢轮虫稍高^[15],而异尾轮属为暖水性种类,故在温度较高的季节,异尾轮虫密度比多肢轮虫高.

明珠湖轮虫生物密度与明珠湖叶绿素 a 含量、总氮呈极显著正相关关系.叶绿素 a 含量是表征藻类现存量的重要指标之一^[21],直接反映了藻类数量的变化,而大多数轮虫是以藻类、碎屑为食. Zimmermann^[22]研究结果表明,低的叶绿素 a 浓度可以降低轮虫密度,反之,轮虫密度则呈上升趋势.明珠湖叶绿素 a 含量在夏秋季为 $30.719 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,冬春季为 $10.303 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,明珠湖藻类的变化亦是夏秋季较高、冬春季较低,这与明珠湖轮虫密度的季节变化一致,印证了轮虫密度与叶绿素 a 含量呈显著正相关.明珠湖是上海市一个较重要的水产品养殖基地,随着不断向水体投放人工饵料,水产饵料残留物使水体中氮、磷含量不断增加,导致藻类数量上升,而藻类和大量的碎屑正是轮虫的适宜饵料,充足的食物为轮虫数量的增长提供了条件.因此,明珠湖轮虫的密度高峰出现在夏秋季,这与鄱阳湖^[4]、香溪河库湾^[6]、千岛湖^[10]、巢湖^[20]、涪湖^[23]等的变化规律基本一致.

3.3 明珠湖水质的生态学评价

一般认为,水质富营养化的典型指示种有 10 种:臂尾轮虫、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*),沟痕泡轮虫(*Pompholyx sulcata*),扁平泡轮虫(*Pompholyx complanata*),圆筒异尾轮虫(*Trichocerca cylindrica*),长三肢轮虫、暗小异尾轮虫、螺形龟甲轮虫、矩形龟甲轮虫和真翅多肢轮虫(*Polyarthra eurypetra*)^[24].本次调查的 27 种轮虫中,富营养型指示种出现了 8 种,占所有种类的 33.33%.

明珠湖轮虫年均 H' 值为(1.500 ± 0.530), D 值为(0.780 ± 0.156), J 值为(0.871 ± 0.374). $H' > 3$ 为轻度污染或无污染, $2 \sim 3$ 为 β 中度污染, $1 \sim 2$ 为

α 污染, <1 为严重污染^[13]. 因此, 明珠湖水体总体达 α -中度污染. 由明珠湖的 E/O 值 (1.61 ± 1.46) 和 $Q_{B/T}$ 值 (1.23 ± 0.84) 可见, 明珠湖属轻度富营养型.

调查期间, 明珠湖 2~3 个月换水一次, 对该湖水水质有一定程度的改善作用. 尽管如此, 轮虫的多样性指数及污染指示种仍显示明珠湖水体已受到较严重的污染. 这可能与明珠湖前期水产品养殖有关, 饵料残留等会造成底泥及水体有机污染严重, 沉积在底泥中的氮、磷会不断释放到水体中, 从而加重明珠湖的水质污染.

致 谢 上海海洋大学吴竹臣、张俊杰、史维刚、白奥琪等同学参加部分野外调查与室内试验; 上海崇明明珠湖发展有限公司施兵、陆美超等调查期间给与大力支持, 一并感谢.

参考文献

[1] Wen X-L (温新利), Xi Y-L (席贻龙), Zhang L (张雷), *et al.* Community structure and species diversity of rotifers in the Wuhu section of the Qingyi River. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2004, **12** (4): 387-395 (in Chinese)

[2] Lin Y-Z (林育真), Li Y-X (李玉仙), Guo P-Y (郭沛涌), *et al.* The rotifers' community and evaluation of water quality in Dongping Lake. *Journal of Shandong Normal University* (Natural Science) (山东师范大学学报 · 自然科学版), 1998, **13** (1): 63-67 (in Chinese)

[3] Xie Q-M (谢钦铭), Li Y (李 云), Li C-C (李长春). Studies on seasonal changes of the species composition and standing crop of rotifera in Poyang Lake. *Jiangxi Science* (江西科学), 1997, **15** (4): 235-241 (in Chinese)

[4] Li G-G (李共国), Yu Z-M (虞左明). Community structure of rotifera and ecological assessment of water quality in Qiandao Lake. *Journal of Lake Sciences* (湖泊科学), 2003, **15** (2): 169-178 (in Chinese)

[5] Zhou S-C (周淑婵), Huang X-F (黄祥飞), Tang T (唐 涛), *et al.* Primary studies on plankton rotifers and water quality assessment in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2006, **30** (1): 52-57 (in Chinese)

[6] Zong Z-X (宗志祥), Xu C-R (许崇任), Ren J-C (任久长), *et al.* The application of rotifer on community structure in the assessment of water quality in the Yanghe Reservoir. *Acta Scientiae Circumstantiae* (环境科学学报), 1993, **13** (1): 101-106 (in Chinese)

[7] Duggan IC, Green JD, Shiel RJ. Distribution of rotifers in North Island, New Zealand and their potential use as bioindicators of lake trophic state. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 155-164

[8] Zhang F-J (章飞军), Tong C-F (童春富), Xie Z-F (谢志发), *et al.* The re-colonisation progress of intertidal benthic fauna community in the Changjiang Estuary. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27** (12): 4944-4952 (in Chinese)

[9] Dai Y-Q (戴雅奇), Xiong Y-Q (熊昀青), You W-H (由文辉). The impacts of dredging on the community structure of the Macro-invertebrate in Suzhou Creek.

Journal of East China Normal University (Natural Science) (华东师范大学学报 · 自然科学版), 2003, **2** (3): 83-87 (in Chinese)

[10] Hu Z-J (胡志军), Liu Q-G (刘其根), Chen L-J (陈立婧), *et al.* Structural characteristics of Chironomid community and their indicative significance in biological assessment of water quality in Mingzhu Lake of Chongming Island, Shanghai. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2009, **20** (4): 929-935 (in Chinese)

[11] Zhang J-M (张觉民), He Z-H (何志辉). Research Handbook of Natural Resources of Fisheries from Inland Waters. Beijing: China Agriculture Press, 1991 (in Chinese)

[12] Wang Y-L (王云龙), Yuan J (袁 骥), Shen X-Q (沈新强). Ecological character of phytoplankton in spring in the Yangtze River estuary and adjacent waters. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), 2005, **12** (3): 300-306 (in Chinese)

[13] Shang Y-C (尚玉昌). General Ecology. Beijing: Peking University Press, 2002 (in Chinese)

[14] Sladek V. Rotifera as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, **100**: 169-201

[15] Huang X-F (黄祥飞), Hu C-Y (胡春英), Wu X-T (伍焯田). Rotifers in Lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 1985, **9** (2): 129-143 (in Chinese)

[16] Kobayashi T, Shiel RJ, Gibbs P, *et al.* Freshwater zooplankton in the Hawkesbury Nepean River: Comparison of community structure with other rivers. *Hydrobiologia*, 1998, **377**: 133-145

[17] Pace ML, Finlay SEG, Lints D. Zooplankton in advective environments: The Hudson River community comparative analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, **49**: 1060-1069

[18] van Dijk GM, Van Zanten B. Seasonal changes in zooplankton abundance in the lower Rhine during 1987-1991. *Hydrobiologia*, 1995, **304**: 29-38

[19] Arora J, Mehra NK. Seasonal dynamics of rotifers in relation to physical and chemical conditions of the river Yamuna (Delhi), India. *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 101-109

[20] Chen L-J (陈立婧), Gu J (顾 静), Peng Z-R (彭自然), *et al.* The community structure of rotifer and ecological assessment of water quality of Lake Gehu. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), 2008, **43** (3): 7-16 (in Chinese)

[21] Lorenzen CJ. Determination of chlorophyll a and phaeopigments: Spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 1967, **12**: 343-346

[22] Zimmermann H. The microbial community on aggregates in the Elbe estuary. *Aquatic Microbial Ecology*, 1997, **13**: 37-46

[23] Hu J-X (胡菊香), Wu S-G (吴生桂), Chen J-S (陈金生), *et al.* Effect of eutrophication on rotifers in Chaohu Lake. *Environmental Science and Technology* (环境科学与技术), 2007, **30** (12): 16-19 (in Chinese)

[24] Haberman J. Zooplankton of Lake Vortsjarv. *Limnologia*, 1998, **28**: 49-65

作者简介 陈立婧, 女, 1971 年生, 副教授. 主要从事水域生态研究, 发表论文 20 余篇. E-mail: ljchen@shou.edu.cn

责任编辑 杨 弘

