

一座热带高产渔业水库枯水期轮虫的群落组成与动态分析*

杨 柳, 陈绵润, 林秋奇, 韩博平**

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘 要: 甘村水库是位于广东省雷州半岛的一座典型高产渔业水库, 为了解该水库枯水期的轮虫群落动态特征, 于2006–2007年的三个枯水期时段对该水库进行了周一次的高频率采样. 分析水库中轮虫的种类组成、丰度、生物量及相关生态因子间关系. 共采集到轮虫32种, 主要丰度优势种为热带亚热带水体常见的臂尾轮属种类: 尾突臂尾轮虫和裂痕龟纹轮虫. 由于受鱼类捕食压力影响, 甘村水库轮虫优势种具有个体小、有被甲的特征. 三阶段枯水期之间轮虫丰度变化范围为170–2152ind./L, 三个枯水期存在显著差异($P=0.01$). 枯水期 I 的轮虫丰度明显高于其它两个枯水期, 枯水期 II 的轮虫丰度最低, 枯水期 II 轮虫丰度低的原因是由于刚经历了夏季丰水期, 水体中浮游植物丰度减少, 轮虫的食物减少和鱼类捕食压力增加导致丰度降低. 采样期间轮虫生物量的变化范围为 10.6–677.5 $\mu\text{g/L}$, 三个枯水期之间没有明显差异($P=0.364$). 轮虫的丰度变化主要与水体中鱼类捕食、叶绿素 a 浓度(食物)等因素有关, 由于水体中生物量主要贡献者——大个体轮虫较少但稳定, 甘村水库轮虫的生物量变化不明显. 对三个枯水期轮虫种类的聚类分析表明轮虫的种类组成在丰水期前后的两个枯水期时段上存在一定差异, 但从前 8 个优势种的丰度贡献率看, 甘村水库枯水期轮虫群落组成具有较高稳定性.

关键词: 轮虫; 枯水期; 动态; 高产水库; 热带

Structural and dynamic analysis of rotifers in a tropical high yield fishery reservoir in dry season

YANG Liu, CHEN Mianrun, LIN Qiuqi & HAN Boping

(*Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, P.R.China*)

Abstract: Gancun Reservoir was a tropical high-yield fishery reservoir located in the Leizhou Peninsula of Guangdong Province. In order to understand the dynamic characteristics of rotifer community in the reservoir in dry season, rotifers were investigated once a week in three dry seasons in 2006–2007. Rotifer was sampled with vertical tows of a mesh plankton net (64 μm mesh size) and preserved in 5% sucrose formalin and counted under a binocular microscope. We analyzed the rotifer's species composition, abundance, biomass and their correlations with ecological factors. Altogether 32 species were identified, the most frequent species were ones from the genera of *Brachionus*: *Brachionus caudatus* and *Anuraeopsis fissa*. Because of the high predation pressure from fishes, the rotifer species in Gancun Reservoir were dominated by the small-sized species with hard armor. In the three dry seasons the rotifer abundance ranged from 170 to 2152ind./L, the difference in abundance was significant in the three dry seasons. The rotifer abundance in the first dry season was much higher than that in the other two seasons, the rotifer abundance in the second dry season was the lowest, because the dry season had just experienced the summer flood period, in which the phytoplankton as food of rotifers was largely reduced, while the fish predation pressure increased. The rotifer biomass ranged from 10.6 to 677.5 $\mu\text{g/L}$, there was no significant difference among the biomasses of the three dry seasons. Cluster analysis of rotifer community structure indicated that rotifer species composition in the two dry seasons before and after the flooding season, were classified into two relatively independent groups, however, the first 8 dominant species of rotifers contributing above 75% of total biomass, which strongly suggested that the rotifer community structure in the tropical reservoir kept rather stable in the dry seasons.

Keywords: Rotifer; community structure; dry season; high-yield; reservoir; tropic

* 国家自然科学基金项目(30670345)和广东省水利厅水库渔业养殖与水质重点项目(GDW2006-FWQ-1)联合资助. 2008-03-27 收稿; 2008-04-15 收修改稿. 杨柳, 女, 1983 年生, 硕士研究生; E-mail: yyylll1983317@163.com.

** 通讯作者; E-mail: tbphan@jnu.edu.cn.

轮虫是浮游动物的重要类群, 具有发育时间短、周转快、生产量高等特点, 在自然水体中能够维持较高种群数量, 特别是在营养状态较高的水体中。轮虫主要以水体中的颗粒有机物为食物来源(包括藻类、细菌和有机碎屑等), 是水体食物链“上行效应”和“下行效应”中的关键环节^[1,2], 其种类组成是水体营养水平、理化特征及生境多样性的表征^[3]。影响轮虫群落的组成与动态的因素有水温、光照、营养盐等理化因子以及其它浮游动物竞争、捕食等生物因素^[4-7]。

热带地区水温较高, 一些嗜高温的种类能够成为全年优势种, 导致该地区轮虫的种类组成与温带地区有一定区别^[8]。臂尾轮属(*Brachionus*)和异尾轮属(*Trichocerca*)是热带和亚热带地区的主要优势类群, 臂尾轮属的角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)和裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)在热带亚热带地区分布最为广泛^[9-11]。热带地区水温全年季节变化相对小, 浮游动物种群的动态直接受水温影响较小。通常认为热带水体中鱼类的捕食压力大, 持续时间长, 水体中缺少轮虫的主要竞争者——大型滤食性浮游动物^[12-14], 为轮虫成为主要的浮游动物类群提供了竞争空间。

近年对各种营养水平水体中轮虫的群落结构及季节演替的研究, 国外已有很多报道^[5,8,15-16], 但对热带高产渔业水库枯水期轮虫的群落动态变化研究较少。水库是一种半人工的生态系统, 人为活动对水体的影响主要表现为渔业养殖和水库的用水调度, 这两种人为活动显著地改变了水体的生态过程, 并最终影响水体中轮虫的种类组成与数量动态。热带水库的渔业生产具有放养量大、鱼类生长时间长的特点, 养殖鱼类对轮虫构成较强的捕食压力。在热带渔业高产水库中, 轮虫存在小型化现象, 大个体种类和个体数量极低^[10]。在热带地区, 由于台风、暴雨的影响, 轮虫组成和数量在丰水期变化较为剧烈^[17]。在枯水期, 降雨量少, 水体环境相对稳定, 这种稳定水体环境有否利于轮虫的数量增长并形成相对稳定的群落结构还不清楚。同时, 在丰水期前后的两个不同时段, 其轮虫组成与数量也可能存在差异。本文将针对这些问题, 对位于雷州半岛的典型热带高产的富营养化水库——甘村水库枯水期的轮虫进行高频率采样和分析, 了解该水库轮虫的种类组成、数量变化及影响因素, 为热带高产水库中渔业与生系统管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 甘村水库概况

广东省湛江市甘村水库(21°16'N, 110°30'E)位于雷州半岛的北缘, 属于热带季风气候, 终年高温, 年平均降雨量 1497mm。甘村水库于 1960 年竣工, 区域内没有地表河流, 水源主要依靠降水, 积雨面积 13 km², 库容 1056×10⁴m³, 最大水深 6.7m。2005 年, 水库总捕获量 78380kg, 其中罗非鱼 54.5%, 鲢 32.0%, 鳊 12.8%, 鳙 0.7%, 根据实际蓄水库容计算, 甘村水库养鱼密度约为 16.7g/m³。采样期间, 叶绿素浓度平均为 53.18mg/m³, 总氮平均浓度为 1.64 mg/L, 总磷浓度平均为 0.079mg/L。

1.2 采样时间与测定方法

于 2006 年 3 月 27 日-6 月 30 日, 10 月 16 日-12 月 13 日, 2007 年 3 月 11 日-5 月 17 日这 3 个枯水期时段(分别记为 I、II、III)进行了每周一次的高频采样, 共 29 次。轮虫的定性样品用 25 号浮游生物网(孔径为 64μm)在垂直和水平方向上拖取。轮虫的定量样品自水面下 0.5m 处到水深 2.5m 处每隔 0.5m 取水 10L 共采水 50L, 用孔径 64μm 的浮游生物网当场过滤浓缩。所有样品均用 5%的甲醛溶液固定, 并在显微镜和解剖镜下鉴定种类和计数^[18-19]。

营养盐浓度等每半个月测定 1 次, 枯水期 I 采 6 次, 枯水期 II 和枯水期 III 各采 5 次。水化指标中 TN、TP 实验用水用 250ml 的白色玻璃瓶盛装, TN 样品用碱性过硫酸钾消解分光光度法分析测定, TP 样品用钼酸铵分光光度法分析测定。叶绿素 a 样品用 0.45μm 的醋酸纤维滤膜抽滤 200-500ml 水样, 采用反复冻溶法处理和测定。

1.3 浮游动物个体大小和生物量的测定

根据浮游动物体积的近似计算公式^[18], 测定轮虫的体长、体宽和直径等以计算每个个体体积, 并设定浮游动物的密度与水(密度为 1g/ml)相同, 最后可计算轮虫的生物量。为减少误差, 每个样品计数和测量

均在 400 个个体以上. 数据分析采用 SPSS 软件.

2 结果与分析

2.1 水质状况

采样期间(表 1), 甘村水库的 TN 浓度在枯水期III时最高, 枯水期 II 最低. TP 浓度在枯水期III最高, 为 0.094mg/L. 枯水期 I 透明度为 0.54m, 枯水期III为 0.75m. 叶绿素水平在枯水期 I 最高, 超过 60mg/m³, 枯水期 II 最低, 41mg/m³. 整个采样期间, 水体富营养化水平呈增加的趋势.

表 1 甘村水库水质情况

Tab.1 Physical-chemical parameters in Gancun Reservoir

| 时段 | TN (mg/L) | TP (mg/L) | 透明度(m) | Chl.a(mg/m ³) |
|---------|-----------|-------------|------------|---------------------------|
| 枯水期 I | 1.67±0.20 | 0.056±0.028 | 0.54±0.058 | 65.9±10.3 |
| 枯水期 II | 1.28±0.21 | 0.086±0.029 | 0.68±0.09 | 41.0±11.9 |
| 枯水期 III | 1.97±0.18 | 0.094±0.026 | 0.75±0.05 | 55.1±18.6 |

2.2 轮虫种类组成

共鉴定到轮虫 24 属 32 种 1 变种, 其中 8 种软壳, 26 种 1 变种为硬壳. 其中, 臂尾轮科 12 种 1 变种, 异尾轮科 4 种, 腔轮科 5 种, 胶鞘轮科 2 种, 疣毛轮科 2 种, 旋轮科 2 种, 晶囊轮科、聚花轮科、镜轮科、椎轮科、六腕轮科各 1 种(表 2).

采样期间出现超过 10 周的种类有 19 种, 其中热带地区的典型种属臂尾轮属、异尾轮属和多肢轮属的出现频率较高, 大型轮虫前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)的出现频率也可达到 27 周, 而营着生或底栖生活的科属腔轮科和椎轮科的轮虫出现的频率较低.

表 2 枯水期甘村水库轮虫的种类与出现频次

Tab.2 Rotifer species and frequency occurring in Gancun Reservoir in three dry seasons

| 种类 | 出现频次 | 种类 | 出现频次 |
|--|------|---|------|
| 前节晶囊轮虫(<i>Asplanchna priodonta</i>) | 27 | 热带龟甲轮虫(<i>Keratella tropica</i>) * | 22 |
| 裂痕龟纹轮虫(<i>Anuraeopsis fissa</i>) * | 29 | 囊形单趾轮虫(<i>L.(Monostyla) bulla</i>) * | 6 |
| 角突臂尾轮虫(<i>Brachionus angularis</i>) * | 26 | 尖趾单趾轮虫(<i>L.(Monostyla) cornuta</i>) * | 1 |
| 浦达臂尾轮虫(<i>Brachionus budapestiensis</i>) * | 26 | 梨形单趾轮虫(<i>L.(Monostyla) pyriformis</i>) * | 1 |
| 萼花臂尾轮虫(<i>Brachionus calyciflorus</i>) * | 26 | 红眼旋轮虫(<i>Philodina erythrophthalma</i>) * | 5 |
| 尾突臂尾轮虫(<i>Brachionus caudatus</i>) * | 28 | 广布多肢轮虫(<i>Polyarthra vulgaris</i>) * | 27 |
| 尾突臂尾 B(<i>B. caudatus f.apsteini</i>) * | 8 | 污前翼轮虫(<i>Proales sordida</i>) | 9 |
| 裂足臂尾轮虫(<i>Brachionus diversicornis</i>) * | 27 | 尖尾疣毛轮虫(<i>Synchaeta stylata</i>) * | 20 |
| 剪形臂尾轮虫(<i>Brachionus forficula</i>) * | 4 | 暗小异尾轮虫(<i>Trichocerca pusilla</i>) * | 21 |
| 方型臂尾轮虫(<i>Brachionus quadridentatus</i>) * | 1 | 罗氏异尾轮虫(<i>Trichocerca rousseleti</i>) * | 28 |
| 敞水胶鞘轮虫(<i>Collotheca pelagica</i>) | 21 | 冠饰异尾轮虫(<i>Trichocerca lophoessa</i>) * | 15 |
| 多态胶鞘轮虫(<i>Collopyheca ambigua</i>) | 6 | 对棘异尾轮虫(<i>Trichocerca stylata</i>) * | 18 |
| 叉角拟聚花轮虫(<i>Conochioides dossnarius</i>) | 21 | 圆筒异尾轮虫(<i>Trichocerca cylindrical</i>) * | 5 |
| 长三肢轮虫(<i>Filinia longiseta</i>) | 28 | 奇异六腕轮虫(<i>Hexarthra mira</i>) * | 3 |
| 水轮虫(<i>Epiphanes macroure</i>) | 17 | 长圆腔轮虫(<i>Lecane ploenensis</i>) * | 1 |
| 曲腿龟甲轮虫(<i>Keratella valga</i>) * | 2 | 缺刻镜轮虫(<i>Testudinella incise</i>) * | 4 |
| 螺形龟甲轮虫(<i>Keratella cochlearis</i>) * | 12 | | |

* 为硬壳.

在枯水期 I, 甘村水库轮虫种类数变化不大, 除最后 2 周, 均高于 17 种, 高于其它时期. 在枯水期 II, 第 4 周(11 月 5 日)和第 5 周(11 月 12 日), 轮虫种类数较高, 为 20 种, 其余时间轮虫种类数为 15-17 种. 在枯水期 III, 轮虫种类数略低于枯水期 I、II, 第 7 周(4 月 22 日)达到最低值, 轮虫种类数仅为 12 种(图 1).

对 3 个枯水期平均每次采样的种类数进行单因子方差分析(F 检验), $F=2.918$, $P=0.072$, 按 $\alpha=0.05$ 标准, 3 个枯水期出现的种类数差异不明显.

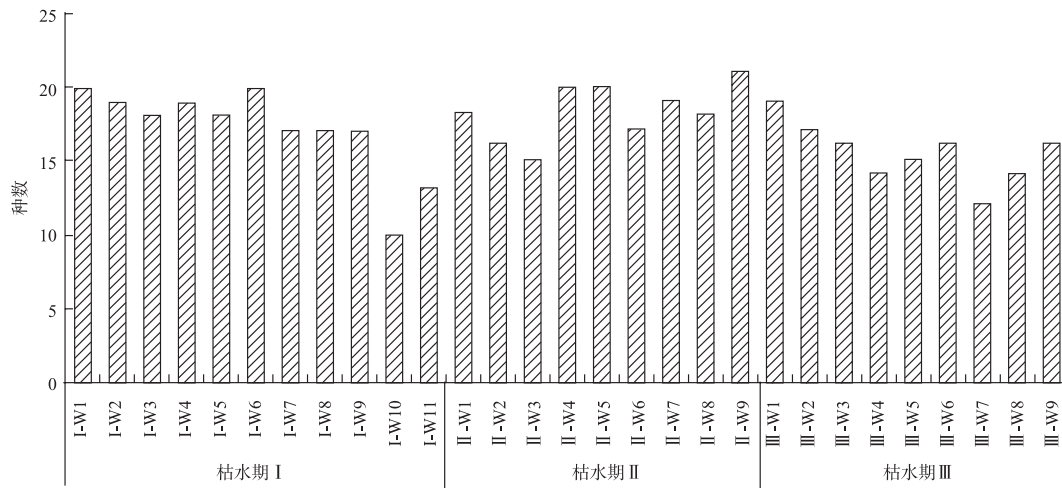


图 1 甘村水库轮虫种类数

Fig.1 Species numbers of rotifers in Gancun Reservoir

2.3 丰度与优势种

2.3.1 丰度 在枯水期 I, 甘村水库轮虫丰度变化范围为 170-2151ind./L, 平均丰度为 1060.5ind./L(± 598.8), 明显高于其它 2 个枯水期(II、III). 最低丰度出现在第 10 周(I-W10, 5 月 25 日), 最高丰度出现在第 1 周(I-W1, 3 月 27 日). 在枯水期 II, 轮虫丰度的变化范围为 228-752ind./L, 平均丰度为 378.1ind./L(± 160.5), 最低丰度出现在第 8 周(II-W8, 12 月 2 日), 最高丰度出现在第 5 周(II-W5, 11 月 12 日). 在枯水期 III, 轮虫丰度的变化范围为 162-986ind./L, 平均丰度为 458.9ind./L(± 264.9), 最低丰度出现在第 7 周(III-W7, 4 月 22 日), 最高丰度出现在第 2 周(III-W2, 3 月 18 日)(图 2).

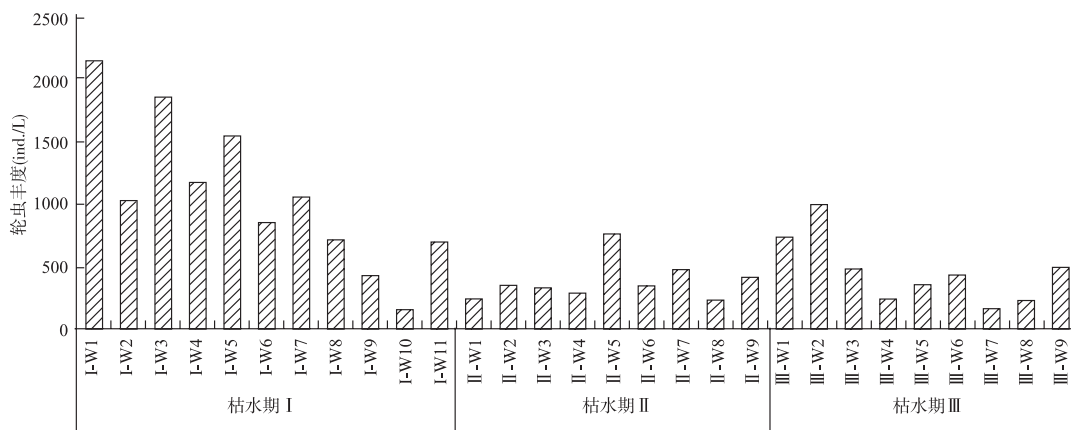


图 2 甘村水库枯水期轮虫丰度变化

Fig.2 Dynamics of rotifer abundance of Gancun Reservoir in dry seasons

对 3 个枯水期的轮虫丰度进行单因子方差分析, $F=8.491$, $P=0.001$, 按 $\alpha=0.05$ 标准, 认为 3 个阶段丰度的差别显著. 枯水期 I 时, 轮虫的平均丰度最高, 枯水期 II 和枯水期 III 的轮虫丰度较低. 从轮虫丰度的周变化趋势来看, 枯水期 I 时轮虫丰度的周波动幅度较大, 枯水期 II 和枯水期 III 的轮虫丰度周波动幅度较小.

2.3.2 优势种 甘村水库的轮虫主要为裂痕龟纹轮虫、角突臂尾轮虫、尾突臂尾轮虫、敞水胶鞘轮虫、热带龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫和前节晶囊轮虫, 此外还有广布多肢轮虫、长三肢轮虫、裂足臂尾轮虫、对棘异尾轮虫和罗氏异尾轮虫等. 其中, 裂痕龟纹轮虫和尾突臂尾轮虫是主要优势种, 角突臂尾轮虫、罗氏异尾轮虫、热带龟甲轮虫、广布多肢轮虫和长三肢轮虫分别在一段时间内是优势种(相对丰度超过 10%).

枯水期 I 的主要优势种是裂痕龟纹轮虫和尾突臂尾轮虫; 枯水期 II 的主要优势种是裂痕龟纹轮虫和广布多肢轮虫; 枯水期 III 的主要优势种是裂痕龟纹轮虫(表 3).

表 3 甘村水库轮虫的 2 个主要优势种和相对丰度

Tab.3 The relative abundance of the first two dominant rotifers in Gancun Reservoir

| | 枯水期 I (%) | 枯水期 II (%) | 枯水期 III (%) |
|-----|---------------|---------------|---------------|
| W1 | 裂痕龟纹轮虫(29.5%) | 广布多肢轮虫(19.9%) | 角突臂尾轮虫(24.7%) |
| | 长三肢轮虫(24.5%) | 长三肢轮虫(18.3%) | 裂痕龟纹轮虫(18.3%) |
| W2 | 裂痕龟纹轮虫(20.8%) | 裂痕龟纹轮虫(21.6%) | 裂痕龟纹轮虫(41.2%) |
| | 广布多肢轮虫(15.2%) | 广布多肢轮虫(19.2%) | 尾突臂尾轮虫(19.3%) |
| W3 | 罗氏异尾轮虫(26.3%) | 广布多肢轮虫(21.2%) | 尾突臂尾轮虫(22.1%) |
| | 冠饰异尾轮虫(17.6%) | 裂痕龟纹轮虫(13.9%) | 角突臂尾轮虫(21.3%) |
| W4 | 尾突臂尾轮虫(42.2%) | 裂痕龟纹轮虫(23.3%) | 冠饰异尾轮虫(22.7%) |
| | 广布多肢轮虫(10.0%) | 广布多肢轮虫(16.4%) | 广布多肢轮虫(20.2%) |
| W5 | 尾突臂尾轮虫(27.2%) | 热带龟甲轮虫(25.3%) | 裂痕龟纹轮虫(22.5%) |
| | 对棘异尾轮虫(13.9%) | 裂痕龟纹轮虫(21.5%) | 广布多肢轮虫(20.2%) |
| W6 | 对棘异尾轮虫(23.7%) | 尾突臂尾轮虫(28.1%) | 热带龟甲轮虫(36.2%) |
| | 蒲达臂尾轮虫(12.4%) | 裂痕龟纹轮虫(15.0%) | 裂痕龟纹轮虫(22.5%) |
| W7 | 尾突臂尾轮虫(22.6%) | 裂痕龟纹轮虫(36.0%) | 罗氏异尾轮虫(37.0%) |
| | 对棘异尾轮虫(17.0%) | 广布多肢轮虫(21.3%) | 裂痕龟纹轮虫(21.0%) |
| W8 | 尾突臂尾轮虫(28.7%) | 裂痕龟纹轮虫(21.1%) | 罗氏异尾轮虫(27.0%) |
| | 角突臂尾轮虫(18.9%) | 尾突臂尾轮虫(16.7%) | 广布多肢轮虫(17.4%) |
| W9 | 尾突臂尾轮虫(18.8%) | 裂痕龟纹轮虫(30.9%) | 长三肢轮虫(25.7%) |
| | 角突臂尾轮虫(11.8%) | 广布多肢轮虫(9.2%) | 尾突臂尾轮虫(16.9%) |
| W10 | 尾突臂尾轮虫(37.5%) | | |
| | 蒲达臂尾轮虫(12.5%) | | |
| W11 | 尾突臂尾轮虫(31.2%) | | |
| | 蒲达臂尾轮虫(16.3%) | | |

甘村水库轮虫中的前 8 个优势种(罗氏异尾轮虫、广布多肢轮虫、热带龟甲轮虫、长三肢轮虫、尾突臂尾轮虫、角突臂尾轮虫、裂痕龟纹轮虫和对棘异尾轮虫)在 3 个枯水期所占丰度的平均值是 74.2%(图

3), 是轮虫丰度的主要贡献者, 枯水期甘村水库轮虫的种类组成结构具有较高的稳定性.

甘村水库轮虫优势种的体长范围是 60–143 μm , 均属于小型浮游动物(<200 μm). 个体最长的是对棘异尾轮虫, 平均体长为 140 μm (± 3.15), 体长最小的是广布多肢轮虫, 平均体长为 74 μm (± 14.1)(图 4).

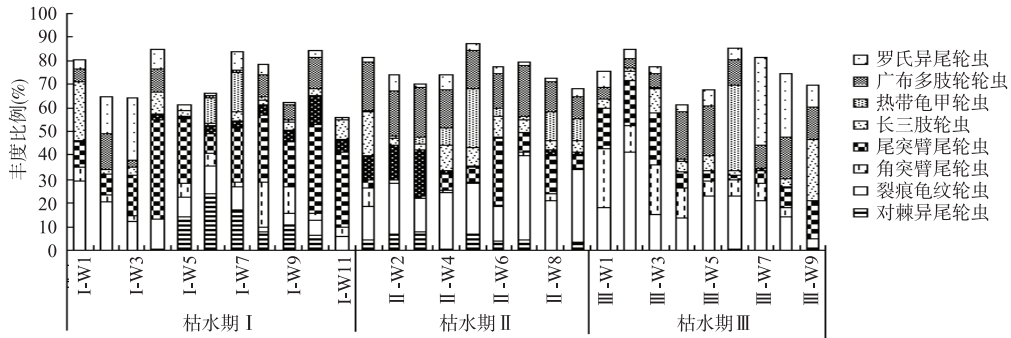


图 3 甘村水库主要轮虫优势种所占丰度比例

Fig.3 Relative abundance of the first eight dominant rotifers in Gancun Reservoir

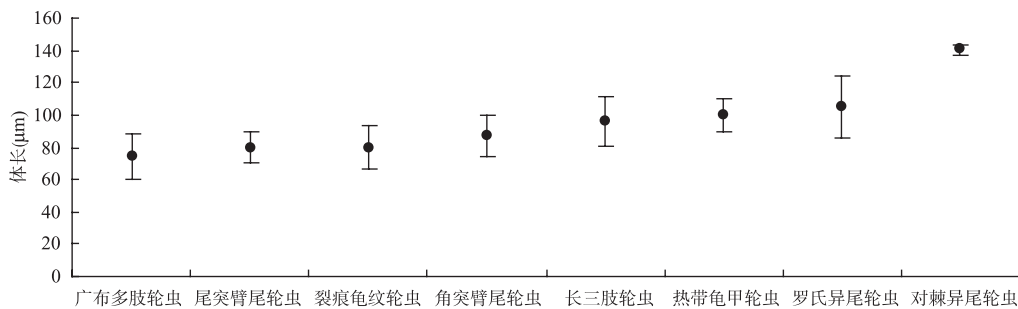


图 4 甘村水库轮虫主要优势种的体长

Fig.4 Body length of dominant species of rotifers in Gancun Reservoir

2.4 生物量

在枯水期 I, 甘村水库轮虫生物量的变化范围为 10.6–677.5 $\mu\text{g/L}$, 平均生物量为 237.0 $\mu\text{g/L}$ (± 175.7), 最高生物量出现在第 5 周(I -W5, 4 月 24 日), 最低生物量出现在第 10 周(I -W10, 5 月 25 日). 枯水期 II, 甘村水库轮虫生物量的变化范围为 47.5–227.6 $\mu\text{g/L}$, 平均生物量为 156.9 $\mu\text{g/L}$ (± 59.0), 最高生物量出现在第 3 周(II -W3, 10 月 30 日), 最低生物量出现在第 8 周(II -W8, 12 月 2 日). 枯水期 III, 甘村水库轮虫生物量的变化范围为 70.3–310.8 $\mu\text{g/L}$, 平均生物量为 193.8 $\mu\text{g/L}$ (± 87.5), 最高生物量出现在第 9 周(III-W9, 5 月 17 日), 最低生物量出现在第 7 周(III-W7, 4 月 22 日).

3 个枯水期间生物量的波动幅度并不象丰度变化那样明显, 生物量的分布都集中在 200 $\mu\text{g/L}$ 左右(图 5). 对 3 个枯水期轮虫的平均生物量进行单因子方差分析表明, 3 个阶段生物量的变化趋势不明显($F=1.050, P=0.364$).

前节晶囊轮虫的体长 289 μm , 是轮虫样品中唯一的体长超过 200 μm 的轮虫, 平均体长在 100–200 μm 的优势种轮虫有热带龟甲轮虫(100 μm)、罗氏异尾轮虫(105 μm)和对棘异尾轮虫. 平均体长<100 μm 的优势种轮虫有广布多肢轮虫、尾突臂尾轮虫(80 μm)、裂痕龟纹轮虫(80 μm)、角突臂尾轮虫(87 μm)和长三肢轮虫(96 μm).

采样期间的生物量主要由前节晶囊轮虫贡献(图 6), 除少数几周外, 前节晶囊轮虫所占生物量比例均在 50% 以上. 尽管前节晶囊轮虫不是优势种, 但它个体相对较大, 导致其对轮虫的生物量贡献很高.

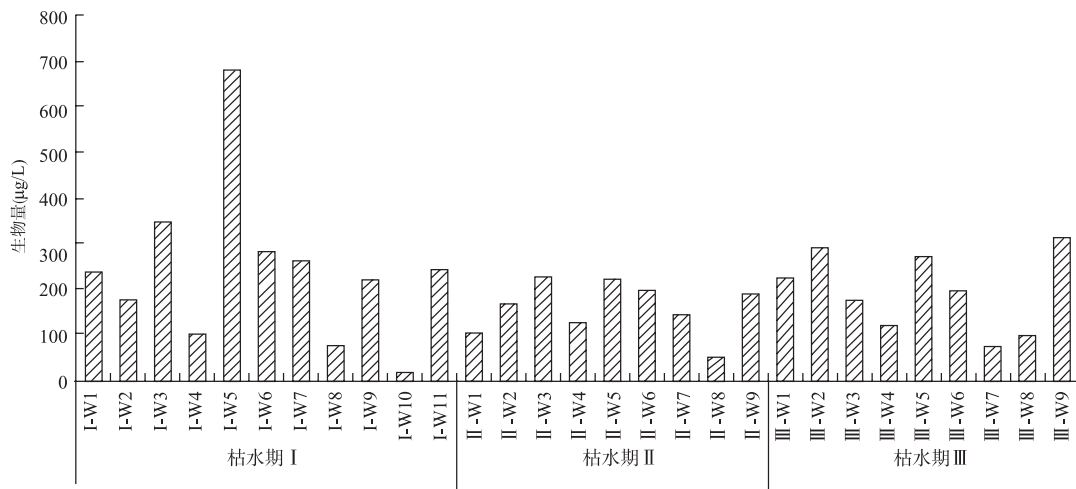


图 5 甘村水库枯水期轮虫生物量变化

Fig.5 Dynamics of rotifer biomass of Gancun Reservoir in dry seasons

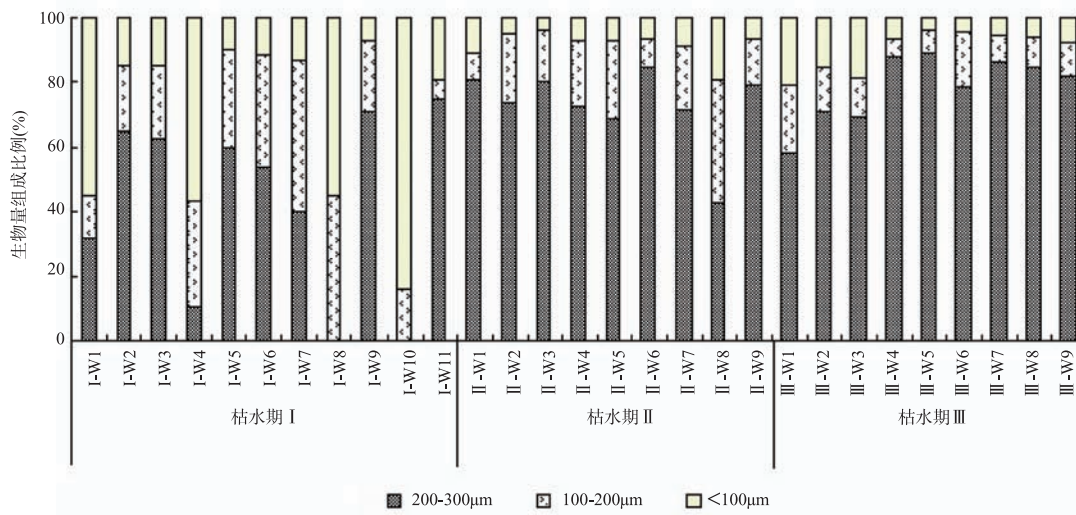


图 6 甘村水库轮虫生物量组成比例

Fig.6 Biomass composition of rotifers of Gancun Reservoir in dry seasons

3 讨论

3.1 热带水库枯水期轮虫种类组成特征

甘村水库中的优势种裂腹龟纹轮虫、尾突臂尾轮虫、角突臂尾轮虫、罗氏异尾轮虫、热带龟甲轮虫、广布多肢轮虫和长三肢轮虫,其中臂尾轮属和异尾轮属是热带地区常见的优势种类,热带龟甲轮虫是热带和亚热带地区特有的龟甲轮虫种类。甘村水库轮虫的组成与广东省其它富营养化水库较为相似^[20-22]。

在枯水期 I 和 III,水体较为稳定,富营养化程度较高,轮虫的食物丰富,此时的专化者类轮虫多肢轮虫、异尾轮虫和热带地区常见的臂尾轮虫的种类占优势。在枯水期 II 时,水库水体刚经历了丰水期的集中降雨过程,浮游植物的丰度降低,叶绿素含量降低,水体处于中营养水平,轮虫的食物数量下降,这一时期以水体悬浮颗粒为食的泛化者类轮虫热带龟甲轮虫所占的比例要比其它两个枯水期高。

Stemberger 和 Gilbert 曾对个体大小不同种类的轮虫进行研究,认为个体较小的轮虫在贫营养水体中

常见, 个体较大的种类在富营养水体中占优势^[23]. 在甘村水库, 轮虫丰度优势种大多是小个体的轮虫, 这可能与鱼类的捕食作用有很大关系^[24-26]. 甘村水库是渔业高产水库, 放养了滤食性的鲢、鳙鱼和杂食性的罗非鱼, 鱼类的密度较高, 加上该水库水体较浅, 且由水生高等水生植物构成的可以藏匿的生境较少, 大个体轮虫承受的捕食压力比较大, 而小个体的轮虫由于自身优势, 受鱼类捕食的影响相对小. 在甘村水库中, 小型种类的裂痕龟纹轮虫和尾突臂尾轮虫始终能保持较高的比例, 同时能够成为优势种的轮虫具有个体小且有相对坚硬的外壳, 或身体透明等特点, 这些特点反映了轮虫对该水库环境的适应.

在其它热带和亚热带水体中, 螺形龟甲轮虫和圆筒异尾轮虫是常见的优势种类^[20]. 在甘村水库中, 这些种类的比例并不高, 可能是由于枯水期水体中轮虫的食物丰富, 营养水平较高, 因此螺形龟甲轮虫这类“泛化者”轮虫的丰度较低. 圆筒异尾轮虫个体较大, 属于鱼类的适口食物, 在甘村水库也难以维持较高的种群数量.

3.2 热带水库枯水期轮虫群落结构特征

对 3 个枯水期轮虫组成的聚类分析表明(图 7), 所有采样周可以分为 3 组: 第一组除了枯水期 II 的 W6 外, 全部由枯水期 I 和枯水期 III 组成(2006 和 2007 春季枯水期), 尾突臂尾轮虫在这一组的采样时间里是绝对优势种类. 第二组中主要由枯水期 II 组成, 裂痕龟纹轮虫和广布多肢轮虫是这阶段的主要优势种. 第三组则由枯水期 I 和枯水期 III 中的 5 个周组成. 在这 5 周中罗氏异尾轮虫的出现频率明显高于实验的其他时间.

聚类分析的结果表明了轮虫种类组成动态变化的规律性和季节性, 而这一动态变化的原因主要由于不同种类轮虫对不同营养条件与生态因子的适应性不同. 由于枯水期 I 和 III 在初春季节, 此时水体理化性质稳定, 营养水平较高, 水体中轮虫的内源性和外源性食物都很丰富, 因此水体中轮虫的专化者种类较多^[27-28]. 枯水期 II 时, 水体刚经历了丰水期的集中降雨过程, 营养水平较低, 轮虫的食物供应不足, 由于受限于食物数量的短缺, 这一时期水体中泛化者类轮虫占优势. 因此, 枯水期 I 和枯水期 III 的轮虫丰度水平虽然相差较大, 但轮虫种类组成结构的相似性很高. 这与 Arora 等提出的轮虫具有季节动态变化规律性相一致^[29], 说明了热带枯水期轮虫群落组成的季节稳定性. 从优势种组成来看, 甘村水库前 8 个丰度优势种在 3 个枯水期所占丰度的平均值是 74.2%(图 3), 它们是轮虫丰度的主要贡献者, 因此, 尽管不同时期的轮虫优势种的相对相度有一定的变化, 但水体种轮虫的种类组成结构相对一致性也说明了该热带水库枯水期轮虫群落结构较高的稳定性.

3.3 影响轮虫丰度和生物量的主要因子

影响轮虫丰度的因素可能包括水环境的理化条件、可获得性食物和掠夺性竞争、机械干涉竞争、捕食和寄生等 5 个方面^[1]. 枝角类是与轮虫争夺食物的有力竞争对手, 桡足类和鱼类是轮虫的捕食者. 由于水库中鱼类对大型浮游动物的捕食作用, 甘村水库中枝角类和桡足类的种类和数量很少(枝角类的平均丰

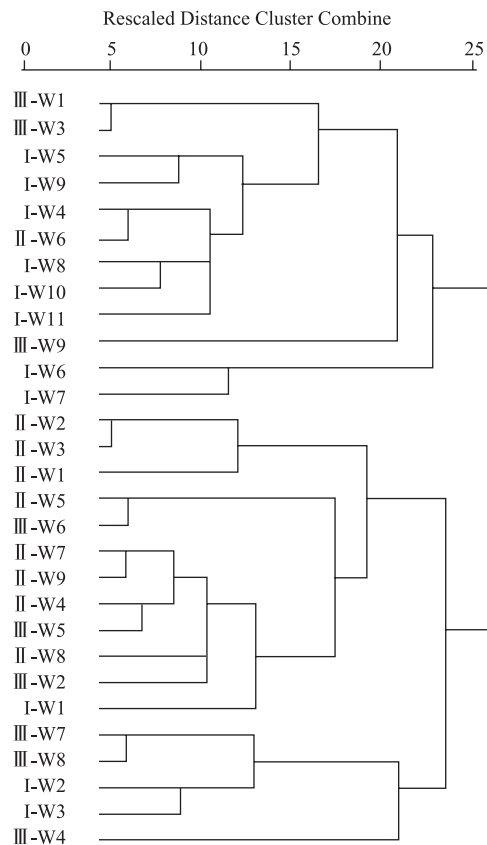


图 7 甘村水库轮虫群落结构的聚类分析
Tab.7 Cluster analysis of rotifer community structure of Gancun Reservoir

度为 1.2 ind./L, 桡足类的平均丰度为 15.5 ind./L), 轮虫丰度受它们的影响比较小^[30-32]. 因此, 甘村水库中轮虫的丰度主要是由水环境的理化条件和食物资源所控制.

甘村水库中的鲢鱼、鳙鱼和罗非鱼以浮游植物和轮虫为主要食物. 在采样期间, 鱼类维持较高数量, 鱼类牧食对浮游植物和轮虫的数量具有明显的控制作用. 枯水期 I 时水体叶绿素 a 浓度为 65.9mg/m³, 浮游植物的生物量远高于浮游动物, 鱼类对轮虫的捕食压力减小, 同时大量的浮游植物也为轮虫提供了充足的食物, 因此枯水期 I 轮虫的丰度最高. 枯水期 II 时水体刚经历丰水期的集中降雨过程, 水体中浮游植物数下降, 叶绿素 a 的平均浓度是 42.0mg/m³, 鱼类对轮虫的捕食压力要高于枯水期 I, 枯水期 II 时轮虫的丰度在 3 个枯水期中处于最低水平. 在枯水期 III, 水体叶绿素的浓度介于枯水期 I 和枯水期 II 之间, 这一时期轮虫的丰度与叶绿素 a 浓度呈显著的正相关($r=0.866$, $P<0.050$), 枯水期 III 时水体的透明度水平最高, 达到 0.725m, 由于鱼类的捕食压力增加和水体中浮游植物的减少, 枯水期 III 时水体中轮虫的丰度也比较低. 叶绿素 a 浓度与轮虫丰度散点图对相关系数也说明, 轮虫的丰度变化与水体叶绿素水平有很大的相关性, 与文献报道的轮虫的丰度有随叶绿素 a 浓度增加呈增加趋势一致^[33].

甘村水库轮虫生物量的变化并没有象丰度的变化那样明显, 主要原因是由于轮虫生物量不仅与轮虫数量有关, 还与轮虫个体大小有着密切关系, 如大型轮虫前节晶囊轮虫, 它的平均体重可达 50.83 μ g, 前节晶囊轮虫在甘村水库由于鱼类的捕食压力, 丰度始终保持较低水平, 而 3 个枯水期期间丰度占优势的种类主要为个体较小的轮虫, 这些小个体的优势种的丰度变化并不会对生物量产生很大影响, 因此甘村水库轮虫生物量的变化幅度并不大.

甘村水库轮虫的平均丰度和生物量分别为 1060.5ind./L 和 237.0 μ g/L, 与同处于广东省的热带北缘中营养的流溪河水库(轮虫平均丰度 34.07ind./L, 生物量 17.8 μ g/L)^[34], 贫营养的新丰江水库(平均丰度 2.75ind./L, 平均生物量 0.32 μ g/L)^[35]和富营养化湖泊星湖(平均丰度 375ind./L, 平均生物量 169.4 μ g/L)^[36]相比, 甘村水库的轮虫数量要高得多, 这可能与甘村水库处于广东省南部, 水体的水温常年较高, 又由于高产渔业水库的人工投肥等原因, 水体的营养水平也较高, 为轮虫的生长繁殖提供了丰富的食物资源, 因此甘村水库轮虫维持了较高的丰度和生物量.

致谢: 本研究在野外采样和理化因子测定得到欧阳昊、湛江水文和甘村水库管理人员的协作与帮助, 在此对他们表示衷心的感谢!

4 参考文献

- [1] Scheda SM, Cowell BC. Rotifer grazers and phytoplankton: seasonal experiments on natural communities. *Hydrobiologia*, 1988, **114**: 31-44.
- [2] Yoshida T, Urabe J, Elser JJ. Assessment of 'top-down' and 'bottom-up' forces as determinants of rotifer distribution among lakes in Ontario, Canada. *Ecological Research*, 2003, **18**: 639-650.
- [3] Herzig A. The analysis of planktonic rotifer populations: A plea for longterm investigations. *Hydrobiologia*, 1987, **147**: 163-180.
- [4] Arndt H. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) a review. *Hydrobiologia*, 1993, **255/256**: 231-246.
- [5] Sharma BK. Rotifer communities of floodplain lakes of the Brahmaputra basin of lower Assam (N.E.India): biodiversity, distribution and ecology. *Hydrobiologia*, 2005, **533**: 209-221.
- [6] Bärzin B, Pejler B. Rotifer occurrence in relation to temperature. *Hydrobiologia*, 1989, **175**: 223-231.
- [7] Bettez ND, Rublee PA, O'Brien J et al. Changes in abundance, composition and controls with the plankton of a fertilized arctic lake. *Freshwater Biology*, 2002, **47**: 303-311.
- [8] Lewis WM. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 2000, **5**: 35-48.
- [9] Segers H. Zoogeography of the southeast Asian rotifera. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 233-246.
- [10] Dumont HJ, Sarma SS. Demography and population growth of *Asplanchna girodi* (Rotifera) as a function of prey (*Anuraeopsis fissa*) density. *Hydrobiologia*, 1995, **306**: 97-107.

- [11] Sarma SS, Rivera SA, Hinojosa FE *et al.* Combine influence of food level and inoculation density on competition between *Anuraeopsis fissa* and *Brachionus patulus* or *Brachionus macracanthus* (Rotifera: Brachionidae). *Russuan Journal of Ecology*, 2007, **38**(5): 353-362.
- [12] 赵帅营, 韩博平. 基于个体大小的后生浮游动物群落结构分析: 以广东星湖为例. *生态学报*, 2006, **26**(8): 46-54.
- [13] Dussart BH, Fernando CH, Matsumura-Tundisi T *et al.* A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton. *Hydrobiologia*, 1984, **113**(1): 77-91.
- [14] Saunders JF, Lewis WM. Dynamics and control mechanisms in a tropical zooplankton community (Lake Valencia, Venezuela). *Ecological Monographs*, 1988, **58**(4): 337-353.
- [15] Funch Peter, Sorensen MV, Obst Matthias. On the phylogenetic position of rotifera-have we come any futher? *Hydrobiologia*, 2005, **546**: 11-28.
- [16] Vrba Jaroslav, Kopacek Jiri, Fott Jan *et al.* Long-term studies (1871-2000) on acidification and recovery of lakes in the Bohemian Foresr (central Europe). *The Science of the Total Environment*, 2003, **310**: 73-85.
- [17] 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.
- [18] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 1358-362.
- [19] Mark Welch DB, Mark Welch JL. The potential of genomic approaches to rotifer ecology. *Hydrobiologia*, 2005, **546**: 101-108.
- [20] 林秋奇, 赵帅营, 韩博平. 新建水库轮虫和甲壳类浮游动物动态特征. *生态学报*, 2006, **25**(3): 270-276.
- [21] 席贻龙, 黄祥飞. 温度和食物浓度对壶状臂尾轮虫试验种群动态的影响. *水生生物学报*, 1999, **23**(3): 227-235.
- [22] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [23] Stemberger RS, Gilbert JJ. Body size, food concentration, and population, and population growth in planktonic rotifers. *Ecology*, 1985, **66**: 1151-1159.
- [24] Shao Zhaojun, Xie Ping, Yan Zhuge. Long-term changes of planktonic rotifers in a subtropical Chinese lake dominated by filter-feeding fishes. *Freshwater Biology*, 2001, **46**: 973-986.
- [25] Lazzaro X. A review of planktivorous fishes: their evolution, feeding behaviours, selectivities, and impacts. *Hydrobiologia*, 1987, **146**: 97-167.
- [26] Hurlbert SM, Mulla MS. Impacts of Mosquito fish (*Gambusia affinis*) predation on plankton communities. *Hydrobiologia*, 1981, **83**: 125-151.
- [27] Neill WE. Regulation of rotifer densities by crustacean zooplankton in an oligotrophic montane lake in British Columbia. *Oecologia*, 1984, **61**: 175-181.
- [28] Claus PS. Popolation growth in planktonic rotifers. Does temperature shift the competitive advantage for different species? *Hydrobiologia*, 1998, **387/388**: 349-353.
- [29] 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.
- [30] Gilbert JJ. Competition between rotifers and *Daphnia*. *Ecology*, 1985, **66**: 1943-1950.
- [31] Gilbert JJ. Suppression of rotifers populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnol Oceanogr*, 1988, **33**: 1286-1303.
- [32] Uku JN, Mavuti KM. Comparative limnology, species diversity and biomass relationship of zooplankton and phytoplankton in five freshwater lakes in Kenya. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 251-258.
- [33] 杨桂军, 潘洪凯, 刘正文等. 太湖不同富营养水平湖区轮虫季节变化的比较. *湖泊科学*, 2007, **19**(6): 652-657.
- [34] 林秋奇, 赵帅营, 韩博平. 广东流溪河水库后生浮游动物生物量谱时空异质性. *湖泊科学*, 2006, **18**(6): 662-669.
- [35] 赵帅营, 韩博平. 大型深水贫营养水库——新丰江水库浮游动物群落分析. *湖泊科学*, 2007, **19**(3): 305-314.
- [36] 赵帅营, 林秋奇, 韩博平等. 南亚热带湖泊——星湖后生浮游动物群落特征研究. *水生生物学报*, 2007, **31**(3): 115-123.