

## 南亚热带湖泊—星湖后生浮游动物群落特征研究

赵帅营 林秋奇 刘正文 韩博平

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

**摘要:**星湖位于广东省境内,是一个南亚热带浅水自然湖泊,由 5 个子湖组成,是典型的富营养化湖泊。为了解这一典型南亚热带富营养湖泊的后生浮游动物群落特征,于 2002 年对该湖的轮虫和浮游甲壳动物进行了研究。星湖的后生浮游动物基本上为广温种类,兼具一些嗜暖种。轮虫在种类数、数量和生物量上均占优势,其优势种为臂尾轮虫。在 4 个子湖中,波海湖的臂尾轮虫数量最高,与该子湖营养水平较高相对应。桡足类为第二优势类群,在数量上以无节幼体和桡足幼体为主,并且在 7、8 月份数量较高,优势种为温中剑水蚤和台湾温剑水蚤;枝角类优势种则是长额象鼻溞和颈沟基合溞。两类浮游甲壳动物成体的数量均比较低。与 20 世纪 90 年代相比,星湖后生浮游动物的数量和生物量均下降,两类甲壳动物均向小型种类演替。和我国北亚热带的富营养化湖泊相比,星湖后生浮游动物的数量和生物量都明显偏低,这可能反映了南亚热带浅水湖泊的特征。

**关键词:**南亚热带湖泊;浅水湖泊;后生浮游动物;轮虫;枝角类;桡足类

**中图分类号:**Q145 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2007)03-0405-09

长期以来,我国有关湖泊浮游动物的研究,主要集中在温带和北亚热带地区,如武汉东湖<sup>[1-3]</sup>、江苏太湖<sup>[4, 5]</sup>和杭州西湖<sup>[6]</sup>等。而我国南亚热带和热带地区由于地质构造的原因,天然湖泊稀少,例如广东省湖泊总面积仅为 13 平方公里,其热带湖泊更少,这使我国有关南亚热带和热带地区湖泊浮游动物的研究极少,而国外研究也不多见。星湖作为广东省最大的天然湖泊和南亚热带地区为数不多的浅水湖泊之一,是开展该地区浮游动物研究的理想水体。

星湖地处肇庆市北郊七星岩风景区内(北纬 23°6', 东经 112°23'),由 5 个浅水子湖即仙女湖、里湖、中心湖、波海湖和青莲湖组成,湖泊总面积 6.24km<sup>2</sup>,平均水深 2.1m,最大水深 6m,平均水力滞留时间约为 300d。有关该湖浮游动物的研究极少,20 世纪 90 年代曾开展过浮游动物的相关调查<sup>[7-9]</sup>,但主要涉及种类组成和生物监测。根据 2002 年我们对星湖进行的采样分析,发现其中 4 个子湖叶绿素 *a* 的平均浓度分别达到 29.5mg/m<sup>3</sup>(波海湖)、15.8mg/m<sup>3</sup>(中心湖)、11.6mg/m<sup>3</sup>(仙女湖)和 11mg/m<sup>3</sup>(青莲湖),与 20 世纪 90 年代(以上 4 个子

湖叶绿素 *a* 平均浓度分别为 11.62mg/m<sup>3</sup>、2.94mg/m<sup>3</sup>、5.26mg/m<sup>3</sup>、4.17mg/m<sup>3</sup>)相比<sup>[10]</sup>,星湖叶绿素 *a* 的浓度显著上升,富营养化程度加剧,在所调查的 4 个子湖中,波海湖富营养化程度最高。在这种情况下,浮游动物特别是后生浮游动物的组成和结构也会发生很大变化,因此,本文希望通过对星湖的周年调查,了解其浮游动物的时空分布,并在此基础上探讨影响浮游动物分布的生态因子,以加深对南亚热带浅水湖泊后生浮游动物的群落特征及其对富营养化响应的认识。

## 1 材料与方法

**1.1 采样时间和地点** 于 2002 年 1 月 1 日、3 月 8 日、7 月 23 日、8 月 24 日、10 月 21 日和 12 月 1 日进行了采样,在青莲湖、波海湖、仙女湖和中心湖的中心位置各设一个采样点(图 1)。由于里湖水太浅,船无法进入而未进行采样,7 月份和 10 月份,波海湖因施工也未能采样。

**1.2 样品采集及分析方法** 甲壳类定量样品自表层以下每隔 1m 采水 5L 或 10L,采水量为 20—50L,

收稿日期:2005-07-12;修订日期:2006-11-09

基金项目:教育部“优秀青年教师资助计划”;国家自然科学基金项目(39900022)联合资助

作者简介:赵帅营(1978—),男,河南漯河人;博士研究生;主要从事水域生态学研究。E-mail:zhaoshuaiying78@163.com

通讯作者:韩博平, tbphan@jnu.edu.cn

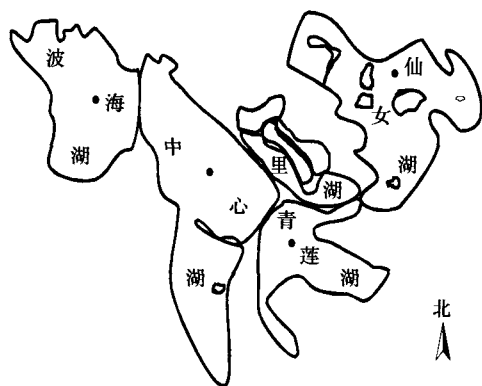


图1 星湖各子湖位置及采样点分布  
Fig.1 Distribution of each basin of Xinghu Lake  
and sampling station

并用25号浮游生物网(孔径 $64\mu\text{m}$ )当场过滤,轮虫定量样品自表层每隔1m采水5L,采水20L并混合均匀,取水1L。轮虫和甲壳类定性样品分别用25号和13号浮游生物网(孔径 $112\mu\text{m}$ )在垂直和水平方向上拖取,所有样品均固定至最终浓度为5%的福尔马林溶液中,定量样品需在实验室浓缩,并在显微镜和解剖镜下鉴定种类和计数。此外,根据浮游动物体积的近似计算公式<sup>[11,12]</sup>,定量样品还需测定轮虫、枝角类和桡足类的体长、体宽或直径等以计算每个个体体积,并认为浮游动物的密度与水(密度为 $1\text{g}/\text{mL}$ )相同,从而得出每个个体的湿重,最后可计算浮游动物的生物量。为了减小误差,每个样品计数和测量个体都在400个以上。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成

星湖共检测到后生浮游动物77种,其中轮虫55种,枝角类13种,桡足类9种(表1)。在4个子湖中,仙女湖的轮虫种类最多,为46种;其次是青莲湖和中心湖,分别为43种和36种;波海湖最少,只有29种。由于水样采集于敞水区,所检测到的轮虫以营浮游生活种类居多,但作为浅水湖泊,星湖也出现了不少底栖和附着性种类,如表1中所列的几种腔轮虫(*Lecane*)、大肚须足轮虫(*Euchlanis dilatata*)、高跃轮虫(*Scaridium oblonga*)、巨长肢轮虫(*Monommata grandis*)、锥轮虫(*Notommata* sp.)、腹棘管轮虫(*Mytilina ventralis*)以及前翼轮虫(*Proales* sp.)等<sup>[13]</sup>,这些种类主要分布在生长有沉水植物的青莲湖和仙女湖。

枝角类分别为12种(青莲湖)、10种(仙女湖)、

6种(中心湖)和4种(波海湖)。星湖的枝角类以广温种类为主,同时出现了颈沟基合蚤(*Bosminopsis deitersi*)、微型裸腹蚤(*Moina micrura*)和角突网纹蚤(*Ceriodaphnia cornuta*)3种嗜暖种。此外,也有部分是喜欢生活在水草丛中的种类,它们是晶莹仙达蚤(*Sida crystallina*)、点滴尖额蚤(*Alona guttata*)、圆形盘肠蚤(*Chydorus sphaericus*)和老年低额蚤(*Simocephalus vetulus*)等<sup>[14]</sup>。最为常见的种类是长额象鼻蚤(*Bosmina longirostris*)和短尾秀体蚤(*Diaphanosoma brachyurum*),每次采样时在4个子湖都有分布。

桡足类种类最多的是青莲湖,有9种;仙女湖和中心湖分别是8种和5种;波海湖最少,仅出现3种。桡足类除了凶猛甲镖水蚤(*Argyrodiaptomus ferus*)、钩指复镖水蚤(*Allodiaptomus specillodactylus*)和温中剑水蚤(*Mesocyclops thermocyclopoides*)3种暖水性种类外,其余均是广布性种类<sup>[15,16]</sup>。最为常见的种类是温中剑水蚤和台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)。

### 2.2 优势种

星湖的轮虫主要为角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula*)、镰形臂尾轮虫(*Brachionus falcatus*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)、热带龟甲轮虫(*Keratella tropica*)和螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*),此外还有广布多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)、前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)、胶鞘轮虫(*Collotheca* sp.)和长圆疣毛轮虫(*Synchaeta pectinata*)等。其中,只有臂尾轮属(*Brachionus*,包括上述臂尾轮虫)全年能维持较高的数量(3月份青莲湖、仙女湖和中心湖水样除外)(图2),在这个属内,不同种类的相对数量随季节变化而波动。整体来看,星湖的轮虫以臂尾轮属占优势,平均数量为 $152.36\text{ ind.}/\text{L}$ ,尤其是在波海湖,8月份采样时臂尾轮虫的优势地位最为明显。龟甲轮属(*Keratella*,包括螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)和热带龟甲轮虫(*Keratella tropica*))是第二优势属,平均数量为 $56.54\text{ ind.}/\text{L}$ 。在波海湖,1月份和12月份采样时,个体较大的前节晶囊轮虫也是优势种;在青莲湖8月份、仙女湖与中心湖12月份采样时,胶鞘轮虫、独角聚花轮虫(*Conochilus unicornis*)和长圆疣毛轮虫也分别是优势种。

对桡足类而言,无节幼体和桡足幼体是主要存在形式,两者占星湖桡足类数量的百分比在85%以上,成体所占比例则相对较低,其中哲水蚤的数量又远低于剑水蚤,桡足类优势种为温中剑水蚤和台湾

表 1 星湖后生浮游动物三大类群的种类组成

Tab. 1 Species composition of rotifers and crustaceans in Xinghu Lake

轮虫 Rotifera	月形单趾轮虫 <i>Lecane lunaris</i>
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>	尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i>
热带龟甲轮虫 <i>Keratella tropica</i>	长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>
方块鬼轮虫 <i>Trichotria tetractis</i>	三翼须足轮虫 <i>Euchlanis triquetra</i>
十指平甲轮虫 <i>Plationus patulus</i>	大肚须足轮虫 <i>Euchlanis dilatata</i>
长刺异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>	高跃轮虫 <i>Scardium oblonga</i>
圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca cylindrica</i>	巨长肢轮虫 <i>Monommata grandis</i>
纵长异尾轮虫 <i>Trichocerca elongata</i>	椎轮虫 <i>Notommata</i> sp.
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>	胶鞘轮虫 <i>Collotheca</i> sp.
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>	独角聚花轮虫 <i>Conochilus unicornis</i>
鼠异尾轮虫 <i>Trichocerca rattus</i>	叉角聚花轮虫 <i>Conochilus dossuarius</i>
罗氏同尾轮虫 <i>Trichocerca rousseleti</i>	细脊轮虫 <i>Lophocharis</i> sp.
等刺同尾轮虫 <i>Trichocerca stylata</i>	腹棘管轮虫 <i>Mytilina ventralis</i>
没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i>	前翼轮虫 <i>Proales</i> sp.
无柄轮虫 <i>Ascomorpha</i> sp.	轮虫 <i>Rotifera</i> sp.
奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i>	枝角类 Cladocera
广生多肢轮虫 <i>Polyarthra vulgaris</i>	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>
真翅多肢轮虫 <i>Polyarthra euryptera</i>	颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i>
脾状三肢轮虫 <i>Filinia opoliensis</i>	晶莹仙达溞 <i>Sida crystallina</i>
跃进三肢轮虫 <i>Filinia passa</i>	短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>
郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i>	长肢秀体溞 <i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i>
截头皱甲轮虫 <i>Ploesoma truncatum</i>	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	底栖泥溞 <i>Ilyocryptus sordidus</i>
壶状臂尾轮虫 <i>Brachionus urceus</i>	点滴尖额溞 <i>Alona guttata</i>
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>	圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i>
镰形臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatus</i>	老年低额溞 <i>Simocephalus vetulus</i>
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	棘爪低额溞 <i>Simocephalus exspinosus</i>
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestinensis</i>	桡足类 Copepoda
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	无节幼体 Nauplii
柱足腹尾轮虫 <i>Gastropus stylifer</i>	桡足幼体 Copepodites
腹足腹尾轮虫 <i>Gastropus hytopus</i>	白色大剑水蚤 <i>Macrocylops albidus</i>
叉爪腔轮虫 <i>Lecane furcata</i>	棘刺真剑水蚤 <i>Eucyclops euacanthus</i>
弯角腔轮虫 <i>Lecane curvicornis</i>	台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>
罗氏腔轮虫 <i>Lecane ludwigii</i>	温中剑水蚤 <i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>
月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>	微小近剑水蚤 <i>Tropocyclops parvus</i>
尾片腔轮虫 <i>Lecane leontina</i>	凶猛甲镖水蚤 <i>Argyrodiaptomus ferus</i>
囊形单趾轮虫 <i>Lecane bulla</i>	钩指复镖水蚤 <i>Allodiaptomus specillodactylus</i>
爪趾单趾轮虫 <i>Lecane unguitata</i>	球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>
钝齿单趾轮虫 <i>Lecane crenata</i>	湖泊美丽猛水蚤 <i>Nitocra lacustris</i>

温剑水蚤。枝角类优势种为长额象鼻溞和颈沟基合溞,其他比较常见的种类如短尾秀体溞、微型裸

腹溞和网纹溞 (*Ceriodaphnia quadrangula*) 则数量较低。

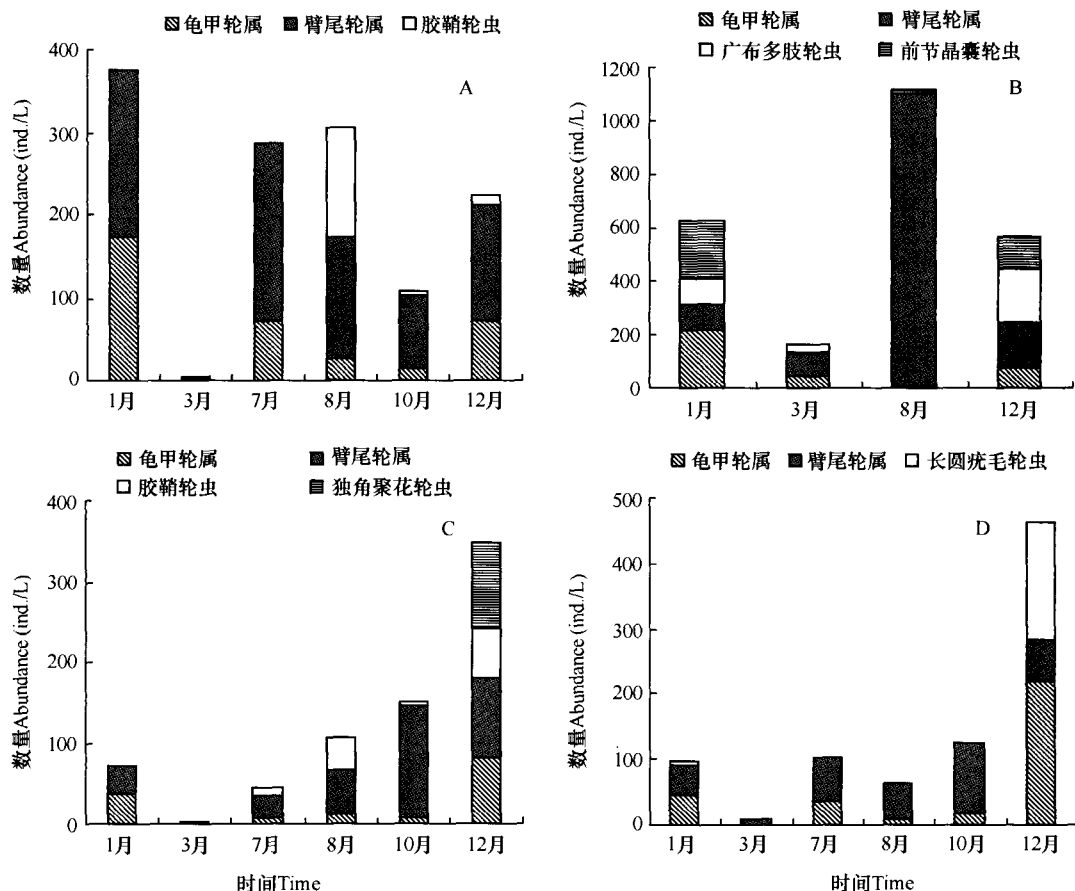


图2 星湖各子湖轮虫优势种、属数量的季节变化

Fig.2 Changes in abundance of dominant rotifer taxa and genera in the four basins of Xinghu Lake

A. 青莲湖; B. 波海湖; C. 仙女湖; D. 中心湖  
A. Qinglian; B. Bohai; C. Xiannü; D. Zhongxin

## 2.3 现存量

### 2.3.1 数量

星湖后生浮游动物总数量的变化范围为 7.52—1505 ind./L, 其中,最低数量出现在 3 月份采样时的仙女湖,最高数量出现在 8 月份采样时的波海湖。4 个子湖后生浮游动物的平均数量依次为: 814.99 ind./L (波海湖), 373.43 ind./L (青莲湖), 254.56 ind./L (中心湖) 和 222.54 ind./L (仙女湖)。各子湖后生浮游动物三大类的平均数量均是轮虫最多,其次是桡足类,枝角类最少(图 3A)。轮虫、桡足类和枝角类的年平均数量分别为 375.41 ind./L、37.19 ind./L 和 2.81 ind./L。

从数量来看,除仙女湖在 3 月份和 7 月份桡足类(数量分别为 4.26 ind./L 和 82.88 ind./L)超过轮虫(分别为 2.76 ind./L 和 79.39 ind./L)成为优势类群外,星

湖后生浮游动物全年都是轮虫占优势(图 3B, C, D, E)。轮虫的数量变化范围为 2.76—1327.5 ind./L, 其中,最低数量出现在 3 月份采样时的仙女湖;最高数量出现在 8 月份采样时的波海湖,主要由臂尾轮虫组成。在空间分布上,波海湖的轮虫数量最高,占 88% 以上,年均值为 759.89 ind./L;青莲湖除 3 月份轮虫数量较低外,其余月份数量也比较高,年均值为 332.51 ind./L;仙女湖和中心湖除 12 月份轮虫数量较高外,其余月份均低于青莲湖和波海湖,年平均数量分别为 182.15 和 227.12 ind./L。桡足类在数量上低于轮虫而成为次优势类群,各子湖基本上只在 7、8 两个月份数量较高(33.04—171.25 ind./L),且主要为无节幼体。枝角类数量在 0.195—16.66 ind./L 之间,最高数量出现在 8 月份采样时的青莲湖,主要由颈沟基合溞组成,其余月份枝角类数量均比较低。

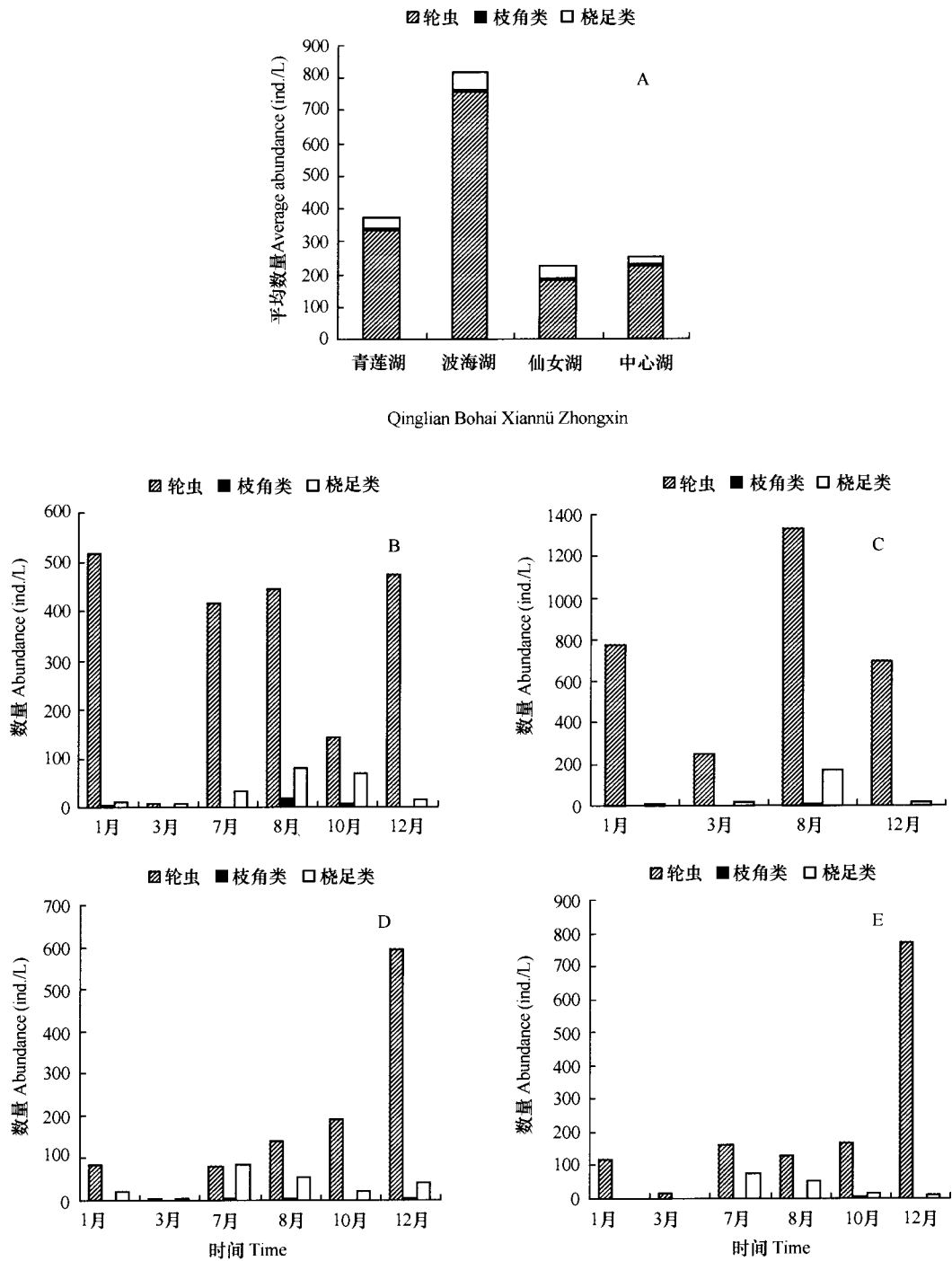


图3 星湖各子湖后生浮游动物的平均数量及其季节变化

Fig. 3 Average abundance of total metazoan zooplankton and changes in abundance of rotifers and crustaceans in the four basins of Xinghu Lake

A. 全湖; B. 青莲湖; C. 波海湖; D. 仙女湖; E. 中心湖

A. The whole lake; B. Qinglian; C. Bohai; D. Xiannü; E. Zhongxin

### 2.3.2 生物量

星湖4个子湖后生浮游动物的平均生物量,以波海湖最高,其次是青莲湖和中心湖,仙女湖最低,分别为 542.5 $\mu\text{g/L}$ 、128.7 $\mu\text{g/L}$ 、123.9 $\mu\text{g/L}$  和 109.6 $\mu\text{g/L}$ (图4)。4个子湖均是轮虫的生物量最高,

其次是桡足类,枝角类最低,这与数量的大小顺序一致(图3A,图4)。其中,波海湖轮虫的生物量比另外3个子湖每个子湖总的生物量还要高,这除了与波海湖轮虫数量较高有关外(图3A),还与1月份和12月份出现较多的前节晶囊轮虫有关,这两个月份前

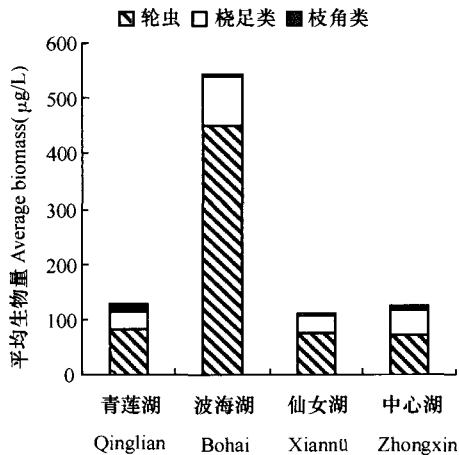


图4 星湖各子湖后生浮游动物的平均生物量  
Fig.4 Average biomass of the metazoan zooplankton in the four basins of Xinghu Lake

节晶囊轮虫的数量分别达到了 216 ind./L 和 118.75 ind./L。前节晶囊轮虫是个体最大的轮虫种类之一,星湖中前节晶囊轮虫的平均湿重为  $5.8\mu\text{g}/\text{ind.}$ , 而其他轮虫一般都远小于  $1\mu\text{g}/\text{ind.}$ 。

### 3 讨论

星湖地处热带北缘,亚热带南缘,气温、水温等水文条件具有热带湖泊的特征。从星湖后生浮游动物的种类组成来看,绝大多数为广温种类,兼具一些嗜暖种。无论从种类组成、数量还是生物量来看,星湖的后生浮游动物都是轮虫占优势。一些研究者认为轮虫占优势与水体营养状态的升高有关,轮虫的食性具有较强的可塑性,能以小的颗粒物如细菌和有机碎屑等为食,而这些物质在富营养水体中往往很丰富<sup>[17]</sup>。星湖的浮游植物密度较高(平均密度为  $2.1 \times 10^7$  cells/L),叶绿素 *a* 浓度达到了富营养水平,加上沿岸一些居民和部分餐馆常年向湖中排放生活污水,有机物浓度也很高<sup>[18]</sup>,并且伴随着浮游生物死亡后产生的有机碎屑,细菌会大量繁殖,这些都为能适应不同食物资源的轮虫在种类和数量上占优势提供了有利条件。在 4 个子湖中,波海湖接受生活污水最多且富营养化程度最高,轮虫的数量也居各湖之首。需要指出的是,3 月份采样时,除波海湖外其余 3 个子湖浮游动物的数量偏低,可能与这个时期浮游植物生物量较低有关。例如在青莲湖和仙女湖透明度分别为 1.5m 和 2m,沉水植物清晰可见,叶绿素 *a* 浓度分别只有  $2.93\text{mg}/\text{m}^3$  和  $2.34\text{mg}/\text{m}^3$ 。而波海湖浮游植物生物量(叶绿素 *a* 浓度  $24.4\text{mg}/\text{m}^3$ )仍比较高,因此轮虫数量也较高。

竞争也是影响浮游动物群落结构的一个重要因素。在食物资源利用方面,轮虫和枝角类之间存在重要的竞争关系,枝角类与轮虫相比个体较大,因而具有更高的滤食效率,当水中的枝角类特别是大型种类(如 *Daphnia*)数量较高时,会对轮虫产生抑制作用而使它的数量下降<sup>[19, 20]</sup>。在星湖,枝角类主要由体型较小的长额象鼻溞和颈沟基合溞组成,且每次采样数量都不高(平均数量为 2.50 ind./L),采样时未检测到大型枝角类,因此枝角类在食物资源利用上对轮虫构成的竞争压力较小,这可能也是导致轮虫数量较高的原因之一。

臂尾轮虫是热带水体中的常见种类<sup>[21]</sup>,较高数量臂尾轮虫的出现可被认为是水体富营养化的标志<sup>[22]</sup>。星湖的轮虫基本上是臂尾轮虫占优势,尤其是在波海湖和青莲湖,臂尾轮虫的平均数量分别达到了 360.24 ind./L 和 132.05 ind./L,表明这两个子湖富营养化程度较高。前节晶囊轮虫是猎食性种类,主要捕食对象为龟甲轮属和多肢轮属<sup>[23]</sup>,因此波海湖 1 月份和 12 月份出现了较高数量的前节晶囊轮虫,可能与当时的龟甲轮属和广生多肢轮虫数量较高有关(图 2B)。

桡足类是星湖后生浮游动物的次优势类群,主要存在形式为无节幼体和桡足幼体。无节幼体被认为是桡足类生长过程中的瓶颈,由于它们的滤食效率较低,从而对食物资源的多寡比较敏感<sup>[24]</sup>。并且 Sherr & Sherr 还认为,无节幼体主要以滤食细菌为主<sup>[25]</sup>。因此,在 7 月份和 8 月份,无节幼体出现较高的数量可能与水温变化有关,7、8 月份水温(平均  $30.7^\circ\text{C}$ )较高,有利于细菌的大量繁殖,于是作为无节幼体主要的食物来源也就最丰富,为无节幼体的生长提供了有利条件。

尽管星湖的浮游植物生物量较高(叶绿素 *a* 浓度为  $15.8\text{mg}/\text{m}^3$ ),但作为它们的牧食者,桡足类成体和枝角类的数量却比较低,两者的平均数量分别为 1.64 ind./L 和 2.81 ind./L。在种类组成上,枝角类以长额象鼻溞和颈沟基合溞两种小型种类为主,桡足类中哲水蚤数量(平均仅为 0.75 ind./L)又远低于剑水蚤,这可能与鱼类的摄食有关。当水体中食浮游生物鱼类密度较高时,以大个体为主的浮游动物群落会变为以个体较小的浮游动物为主,这主要是由鱼类的选择性摄食造成的<sup>[26]</sup>。由于鱼类的这种选择性摄食,使发展渔业的浅水湖泊中浮游甲壳动物个体较大的优势种逐渐被小型种类取代甚至消失,如武汉东湖 20 世纪 80 年代较大型的枝角

类优势种透明蚤 (*Daphnia hyalina*) 和隆线蚤 (*D. carinata*) 逐渐被 20 世纪 90 年代较小型的枝角类优势种微型裸腹蚤所取代<sup>[27]</sup>, 而较大型的桡足类优势种特异荡镖水蚤 (*Neurodiaptomus incogruens*) 和长江新镖水蚤 (*Neodiaptomus yangtsekiangensis*) 种群则在东湖消失<sup>[28]</sup>。星湖主要人工放养滤食性的鲢鱼、鳙鱼和杂食性的罗非鱼等鱼类, 且渔业产量逐年上升, 如它的子湖之一仙女湖 2002 年与 2003 年渔业产量分别达到 292kg/ha 和 311kg/ha<sup>[29]</sup>。在这样高的鱼类密度下, 加上星湖水体较浅, 且水质退化导致沉水植物生长极少, 浮游动物缺少可以藏匿的生境, 于是浮游动物的大个体 (主要为枝角类和桡足类) 就承受比较大的摄食压力。因此, 桡足类成体和枝角类数量较低可能与鱼类较强的摄食压力有关, 而鱼类的选择性摄食也使枝角类和桡足类以小型种类为主。

与 20 世纪 90 年代相比, 星湖后生浮游动物的优势种发生了显著变化。轮虫优势种由臂尾轮虫和多肢轮虫 (*Polyarthra*) 演替为臂尾轮虫和龟甲轮虫; 枝角类由晶莹仙达蚤、长肢秀体蚤 (*Diaphanosoma leuchtenbergianum*) 和长额象鼻蚤演替为长额象鼻蚤和颈沟基合蚤; 桡足类则由广布中剑水蚤、钩指复镖水蚤和凶猛甲镖水蚤演替为温中剑水蚤和台湾温剑水蚤。由此可以看出, 枝角类中个体较大的晶莹仙达蚤和长肢秀体蚤以及桡足类中个体较大的钩指复镖水蚤和凶猛甲镖水蚤在 2002 年采样时均退出了优势种地位, 表明星湖的浮游甲壳动物群体在个体大小上正向小型种类演替。由于以往我国把许多中剑水蚤种类都归为广布中剑水蚤, 因此参照本文推测, 星湖中过去被鉴定为广布中剑水蚤的种可能是温中剑水蚤。

20 世纪 90 年代, 浮游动物平均数量为 612—2745 ind./L, 平均生物量为 428—1430 $\mu$ g/L, 而根据 2002 年的调查, 浮游动物平均数量和生物量分别为 222.54—814.99 ind./L 和 109.6—542.5 $\mu$ g/L, 因此与 20 世纪 90 年代相比, 浮游动物的数量和生物量都明显下降, 这可能与富营养化后浮游植物群落结构的改变有关。20 世纪 90 年代, 星湖浮游植物的优势种为硅藻、裸藻、甲藻、绿藻等, 蓝藻只在某个月份个别子湖中成为优势种<sup>[10]</sup>, 而 2002 年蓝藻在每个月份都成为绝对的优势种<sup>[30]</sup>。不饱和脂肪酸二十碳五烯酸 (EPA) 是浮游动物食物中必需的重要生物化学组分<sup>[31, 32]</sup>, 而蓝藻通常不含这种脂肪酸, 所以当水体中蓝藻占优势时, 作为浮游动物主要食物来源的浮游植物食物质量就会大大降低, 从而影响到浮游植物和浮游动物之间的能量传递, 浮游动物的生长就会受到抑制, 最后导致数量和生物量下降<sup>[33]</sup>。因此, 尽管水体富营养化使星湖的浮游植物生物量增加, 但浮游植物群落以蓝藻为主则降低了浮游动物对它的利用效率, 这可能是导致后生浮游动物数量和生物量下降的原因。

Arcifa<sup>[34]</sup> 通过比较热带与温带地区淡水水体浮游动物的种类组成, 发现温带地区的蚤属种类数 (18 种) 远远高于热带地区 (1—3 种)。在位于北亚热带的东湖, 存在大型枝角类如盔型透明蚤 (*Daphnia galeata*) 并且在某些子湖成为优势种<sup>[35]</sup>; 在北亚热带的太湖, 也存在大型枝角类—长刺蚤 (*Daphnia longispina*) 并且在某些季节成为优势种<sup>[5]</sup>, 而星湖全年未检测到任何大型枝角类, 这是否与水温较高有关或是由鱼类摄食引起的, 很值得进一步研究。

表 2 星湖与北亚热带湖泊的后生浮游动物数量和生物量比较

Tab.2 Comparison in abundance and biomass of metazoan zooplankton in Xinghu Lake with those in the northern sub-tropical lakes

		星湖 Xinghu Lake	武汉东湖 Wuhan Donghu Lake	杭州西湖 Hangzhou West Lake
轮虫	数量 Abundance(ind./L)	375	2170	5899
Rotifer	生物量 Biomass( $\mu$ g/L)	169.4	1351.3	—
枝角类	数量 Abundance(ind./L)	2.81	10.21	6
Cladoceran	生物量 Biomass( $\mu$ g/L)	7.4	380.3	—
桡足类	数量 Abundance(ind./L)	38.46	66.93	7
Copepod	生物量 Biomass( $\mu$ g/L)	48.6	387.3	—
	数据来源 Data source	本文 This paper	[36]	[37]

与同样处于富营养水平的北亚热带湖泊东湖相比, 星湖三大类的数量和生物量都明显偏低, 而与富含营养的杭州西湖相比, 星湖的轮虫数量要低得多 (表 2), 这可能反映了南亚热带浅水湖泊后生浮游

动物的特征。在热带淡水水体中, 由于水温常年较高, 许多鲤科和鲱科鱼类能连续生长和繁殖, 对水中的浮游动物会构成较强的摄食压力, 从而导致浮游动物生物量较低<sup>[38]</sup>。星湖的平均水温超过 23 $^{\circ}$ C, 夏

季水温超过 30℃,并且水体持续高温的时间较长,为鱼类的连续生长和繁殖提供了条件,因此在这种情况下,浮游动物很难维持较高的数量和生物量。

#### 致谢:

比利时 Hendrik Segers 教授对本文浮游动物种名进行了校正,谨此致谢。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Liu J K. Ecological study of Donghu Lake I [M]. Beijing: Science Press. 1990 [刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社. 1990]
- [ 2 ] Liu J K. Ecological study of Donghu Lake II [M]. Beijing: Science Press. 1995 [刘建康. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社. 1995]
- [ 3 ] Xie P, Yang Y. Long-term changes of Copepoda community (1957—1996) in a subtropical Chinese lake stocked densely with planktivorous filter-feeding silver and big-head carp [J]. *Journal of Plankton Research*, 2000, **22** (9): 1757—1778
- [ 4 ] Bai G D. Limnology investigation of Wuli Lake in 1951 (IV): Zooplankton [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1962, **1**: 93—108 [白国栋. 五里湖 1951 年湖泊学调查. 四. 浮游动物. 水生生物学集刊, 1962, **1**: 93—108]
- [ 5 ] Chen W M, Qin B Q. The zooplankton distribution during winter and early spring and its environmental effects in Meiliang Bay, Taihu Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1998, **10** (4): 10—16 [陈为民, 秦伯强. 太湖梅梁湾冬末春初浮游动物时空变化及其环境意义. 湖泊科学, 1998, **10** (4): 10—16]
- [ 6 ] Wei C D, Yu D W. Studies on the zooplankton in Hangzhou West Lake [J]. *Journal of Hangzhou University (Natural Science Edition)*, 1983, **10** (Suppl.): 1—16 [魏崇德, 俞大维. 杭州西湖浮游动物的研究. 杭州大学学报(自然科学版), 1983, **10** (增刊): 1—16]
- [ 7 ] Zhang Q, Chen J F, Qi S, et al. Studies on planktonic rotifers and its relationship with water quality in Xing Lake, Zhaoqing City, Guangdong Province [J]. *Ecologic Science*, 1997, **16** (2): 27—31 [张琦, 陈菊芳, 杞桑, 等. 广东肇庆星湖浮游轮虫的调查及其与水质关系的研究. 生态科学, 1997, **16** (2): 27—31]
- [ 8 ] Chen J F, Jiang T J, Qi S, et al. Ecological survey on planktonic crustacean in Lake Star, Zhaoqing City, Guangdong Province [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2001, **36** (6): 29—33 [陈菊芳, 江天久, 杞桑, 等. 广东肇庆星湖浮游甲壳类的生态调查. 动物学杂志, 2001, **36** (6): 29—33]
- [ 9 ] Chen J F, Wang Z H, Jiang T J, et al. Plankton and its relationship with water quality in Lake Star, Zhaoqing, Guangdong [J]. *China Environmental Science*, 2000, **20** (3): 258—262 [陈菊芳, 王朝晖, 江天久, 等. 广东肇庆星湖浮游生物及其与水质的关系. 中国环境科学, 2000, **20** (3): 258—262]
- [ 10 ] Wang Z H, Chen J F, Qi S, et al. Studies on quantitative distribution and species composition of phytoplankton in Star Lake and the evaluation of its trophic status [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2000, **18** (5): 405—411 [王朝晖, 陈菊芳, 杞桑, 等. 肇庆星湖浮游植物状况及其富营养化评价. 武汉植物学报, 2000, **18** (5): 405—411]
- [ 11 ] Zhang Z S, Huang X F. Methods for study on freshwater plankton [M]. Beijing: Science Press. 1991 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究. 北京: 科学出版社. 1991]
- [ 12 ] Chen X M. Measurements of freshwater copepods [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1981, **7** (3): 397—408 [陈雪梅. 淡水桡足类生物量的测算. 水生生物学集刊, 1981, **7** (3): 397—408]
- [ 13 ] Wang J J. China Fauna: Freshwater Rotifera [M]. Beijing: Science Press. 1961 [王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社. 1961]
- [ 14 ] Jiang X Z, Du N S. China Fauna: Freshwater Cladocerans [M]. Beijing: Science Press. 1979 [蒋燮治, 堵南山. 中国动物志(淡水枝角类). 北京: 科学出版社. 1979]
- [ 15 ] Shen J R. China Fauna: Freshwater Copepods [M]. Beijing: Science Press. 1979 [沈嘉瑞. 中国动物志(淡水桡足类). 北京: 科学出版社. 1979]
- [ 16 ] Dussart B H, Fernando C H. Sur quelques *Mesocyclops* (Crustacea, Copepoda) [J]. *Hydrobiologia*, 1988, **157**: 241—264
- [ 17 ] Nogueira M G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), São Paulo, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2001, **455**: 1—18
- [ 18 ] Li Y C, Li S Y, Zhou J F, et al. Research of hydrological condition and water quality model of Xinghu Lake I. Investigation of hydrological condition and water quality [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2001, **32** (1): 81—87 [李耀初, 李适宇, 周劲风, 等. 星湖水动力学条件急水质模型的研究 I. 水动力条件与水环境质量调查. 海洋与湖沼, 2001, **32** (1): 81—87]
- [ 19 ] Gilbert J J. Competition between Rotifers and *Daphnia* [J]. *Ecology*, 1985, **66**: 1943—1950
- [ 20 ] Gilbert J J. Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms and the effect on zooplankton community structure [J]. *Limnology & Oceanography*, 1988, **33**: 1286—1303
- [ 21 ] Segers H. Zoogeography of the Southeast Asian rotifera [J]. *Hydrobiologia*, 2001, **446/447**: 233—246
- [ 22 ] Uku J N, Mavuti K M. Comparative limnology, species diversity and biomass relationship of zooplankton and phytoplankton in five freshwater lakes in Kenya [J]. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 251—258
- [ 23 ] Michaloudi E. The zooplankton of Lake Mikri Prespa [J]. *Hydrobiologia*, 1997, **351**: 77—94
- [ 24 ] Hopp U, Maier G. Survival and development of five species of cyclopoid copepods in relation to food supply: experiments with algal food in a flow-through system [J]. *Freshwater Biology*, 2005, **50**: 1454—1463
- [ 25 ] Sherr E B, Sherr B F. High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates [J]. *Nature*, 1987, **325**: 710—711
- [ 26 ] Brooks J L, Dodson S I. Predation, body size, and composition of plankton [J]. *Science*, 1965, **150**: 28—35
- [ 27 ] Xie P, Noriko T. Impact of filter-silver and big-head carps on the long-term changes in the community structure of Cladocera in Lake Donghu [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, **20** (Suppl.): 47—59 [谢平, 高村典子. 滤食性鲢鳙对东湖枝角类群落结构长期变化的影响. 水生生物学报, 1996, **20** (增刊): 47—59]



- [28] Yang Y F, Chen X M, Huang X F. Ecological changes of copepods in Lake Donghu, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1994, **18** (4):334—340 [杨宇峰, 陈雪梅, 黄祥飞. 武汉东湖桡足类生态学演变. 水生生物学报, 1994, **18**(4):334—340]
- [29] Chen X N, Guo Y J. Succession of aquatic vegetation in Lake Xiannü of Lake Xinghu, Zhaoqing City, Guangdong Province [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, **17**(4):334—339 [陈学年, 郭玉娟. 广东肇庆星湖仙女湖区水生植被的演变. 湖泊科学, 2005, **17**(4):334—339]
- [30] Lin S J, Gu J G, Wei P, et al. Comparison of ecological characteristics between Gongping Reservoir and Xihu Lake, Guangdong Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, **24**(7):773—779 [林少君, 顾继光, 魏鹏, 等. 广东省公平水库与星湖生态特征的对比分析. 生态学杂志, 2005, **24**(7):773—779]
- [31] You J T, Dong L H, Han B P. Composition and distribution of fatty acids for phytoplankton in a typical tropical lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, **17**(1):69—74 [游江涛, 董丽华, 韩博平. 热带富营养化湖泊中浮游植物的脂肪酸组成与分布. 湖泊科学, 2005, **17**(1):69—74]
- [32] Brett M T, Müller-Navarra D C. The role of highly unsaturated fatty acids in aquatic foodweb processes [J]. *Freshwater Biology*, 1997, **38**:483-499
- [33] Müller-Navarra D C, Brett M T, Liston A M, et al. A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers [J]. *Nature*, 2000, **403**:74—77
- [34] Arcifa M S. Zooplankton composition of ten reservoirs in southern Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 1984, **113**:137—145
- [35] Lu M, Xie P. Comparative study on crustacean zooplankton communities in different areas in Lake Donghu, Wuhan [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2002, **33**(2):174—181 [鲁敏, 谢平. 武汉东湖不同浮游甲壳动物群落结构的比较. 海洋与湖沼, 2002, **33**(2):174—181]
- [36] Yang Y F, Huang X F. Structure of zooplankton community in Donghu Lake of Wuhan [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, **5**(3):319—324 [杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖浮游动物群落结构的研究. 应用生态学报, 1994, **5**(3):319—324]
- [37] Jin X C, Liu H L, Tu Q Y, et al. Eutrophication of lakes in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press. 1990 [金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社. 1990]
- [38] Fernando C H. Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwaters [J]. *Hydrobiologia*, 1994, **272**:105—123

## CHARACTERISTICS OF THE METAZOAN ZOOPLANKTON COMMUNITY IN XINGHU LAKE—A SOUTHERN SUB-TROPICAL LAKE

ZHAO Shuai-Ying, LIN Qiu-Qi, LIU Zheng-Wen and HAN Bo-Ping

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

**Abstract:** Xinghu Lake is a typical shallow lake located in the southern sub-tropical region of Guangdong Province, South China, and it comprises five basins, namely, Bohai, Li, Zhongxin, Xiannü and Qinglian. It has been eutrophic since the late 1990's. In order to understand the response of zooplankton community structure to eutrophication, metazoan zooplankton, including rotifers, cladocerans and copepods, were investigated in 2002 in the lake. 77 taxa of metazoan zooplankton were observed. The metazoan zooplankton species were mainly composed of eurythermal ones and only a few thermophil ones were also found. The abundance of zooplankton ranged from 7.52 ind./L to 1505 ind./L, and it was the highest in Bohai, namely 814.99 ind./L on average. Among three groups, rotifers dominated in the number of species, abundance and biomass, and the dominant genus was *Brachionus*. The abundance of rotifers in Bohai, reached 360.24 ind./L, was the highest in the four investigated basins, corresponding to its highest trophic status. Copepods were the second dominant group. Nauplii and copepodites contributed more than 85% to the total abundance of copepods, and they had higher abundance in July and August. The dominant species were *Mesocyclops thermocyclopoides* and *Thermocyclops taihokuensis*. Cladocerans were mainly composed of *Bosmina longirostris* and *Bosminopsis deitersi*. The very low abundance of cladocerans and adults of copepods in the four basins was probably related to fish predation. In comparison with the data about zooplankton in the lake in 1996—1997, the abundance and biomass of metazoan zooplankton decreased significantly in 2002, and the crustacean changed into smaller-sized species. In contrast to the other lakes with similar trophic status in the northern sub-tropical region of China, the abundance and biomass of rotifers, cladocerans and copepods were much lower in this southern sub-tropical shallow lake. Although the lake is located far from the Equator, its metazoan zooplankton community is similar to those typical lakes near the Equator.

**Key words:** Southern sub-tropical lake; Shallow lake; Metazoan zooplankton; Rotifers; Cladocerans; Copepods