

华南地区典型抽水型水库后生浮游动物 群落的种类组成与结构

王晓辉, 望 甜, 林秋奇, 韩博平*

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要:大镜山水库位于广东省珠海市,是一座富营养抽水型中型水库,为了解富营养过程中抽水型水库后生浮游动物群落的种类组成与结构特征,于 2006 年 3~12 月在水库敞水区进行每月 1 次或 2 次调查。共检测到轮虫 32 种、枝角类 4 种和桡足类 9 种。其中,臂尾轮属为轮虫优势属,角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)和剪形臂尾轮虫(*B. forficula*)为最主要的优势种。长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)为枝角类的优势种,中华窄腹剑水蚤(*Limnoithona sinensis*)为桡足类第 1 优势种,温中剑水蚤(*Mesocyclops thermocyclopoides*)为次优势种。中华窄腹剑水蚤个体较小(成体体长为 0.3~0.5 mm),对咸水有较强的适应能力,该种是通过河流调水引入大镜山水库。后生浮游动物的个体体重分布范围为 0.01~81.92 μg ,种类主要分布的个体体重区间为 0.08~0.32 μg ,在该区间的浮游动物主要为轮虫。浮游动物的丰度与生物量以桡足类占优势,丰度峰值出现在个体体重为 0.08~0.16 μg 的区间上,并以无节幼体为主;生物量的峰值出现在 2.56~5.12 μg 的等级上,峰值为 46.43 $\mu\text{g/L}$,主要由桡足类构成。水库中后生浮游动物的丰度和生物量范围分别为 21.9~876 ind./L 和 17.47~1089.73 $\mu\text{g/L}$,丰水期丰度较高,丰度和生物量的峰值分别出现在 5 月和 9 月份。与同地区的其它水体相比,大镜山水库浮游动物种类数低,与水体咸度高和鱼类养殖导致的高强度捕食压力有关。抽水入库量、降雨量是影响后生浮游动物丰度的主要因子,它们明显地削弱了温度的作用;在水温下降的枯水期,鱼类捕食压力下降导致了枝角类丰度的增加。

关键词:后生浮游动物;群落结构;抽水型水库;华南地区

文章编号:1000-0933(2009)01-0456-10 中图分类号:Q142, Q145, Q938 文献标识码:A

Specific composition and structure of meta-zooplankton community in a pumped storage reservoir, South China

WANG Xiao-Hui, WANG Tian, LIN Qiu-Qi, HAN Bo-Ping*

Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(1): 0456~0464.

Abstract: Dajingshan Reservoir is a middle sized pumped storage reservoir, located in Zhuhai City, Guangdong Province, South China. To understand the community structure of the meta-zooplankton in the special water body, pelagic zooplankton was investigated monthly or biweekly from March to December in 2006. The meta-zooplankton was composed of 32 species rotifers, 4 species cladocerans and 9 species copepods. Rotifers was dominated by *Brachionus*, such as *Brachionus angularis* and *Brachionus forficula*. *Bosmina longirostris* was the dominant species of cladocera. In copepoda, *Limnoithona sinensis* was the most abundant species, followed by *Mesocyclops thermocyclopoides*. *Limnoithona sinensis* is a small sized species, with adult body length from 0.3 mm to 0.5 mm. It can adapt to high salinity, and invade into the Dajingshan Reservoir with water pumped from Xijiang River. The body mass of the meta-zooplankton ranged from 0.01 μg to 81.92 μg , most species were located within the size range from 0.08 μg to 0.32 μg , and dominated by rotifers. Both abundance

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U0733007,30670345)

收稿日期:2008-07-08; 修订日期:2008-11-11

致谢:比利时 Henri Domont 教授对本文给予指导,谨此致谢!

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tbphan@jnu.edu.cn

and biomass of meta-zooplankton were mainly contributed by copepods, the abundant peak was located within the range of body mass from 0.08 μg to 0.16 μg , while biomass peak (46.43 $\mu\text{g/L}$) was at the size class from 2.56 μg to 5.12 μg . The abundance and biomass of meta-zooplankton ranged from 21.9 to 876 ind./L and from 17.47 to 1089.73 $\mu\text{g/L}$, respectively. Both were higher in the flood season than in the dry season. Their peaks occurred in May and September, respectively. Comparing with the other water bodies in the same region, the species number of meta-zooplankton was much lower in the Dajingshan Reservoir. The lower species number was related with high salinity and fish predation pressure. Precipitation and pumped water were the most important factors influencing dynamics of meta-zooplankton, and they significantly modified the effect of temperature. In the dry season, the abundance of cladocerans increased largely with the decrease of fish predation.

Key Words: meta-zooplankton; community structure; pumped-storage reservoir; South China

浮游动物是水体生态系统中连接浮游植物和鱼类的关键环节,其群落结构的动态直接反映了生态系统对环境的响应^[1~3]。受气候的影响,热带淡水水体与温带相比,浮游动物种类少、丰度低,并且以小型个体占优势,轮虫在数量上占较大优势,以臂尾轮属、异尾轮属和腔轮属的种类为主;桡足类的种类数不多,剑水蚤属和温剑水蚤属最常见;枝角类多样性最低,且大型的溞属较少,以象鼻溞、秀体溞、裸腹溞和网纹溞等相对较小的种类为主;在生物量上,桡足类、枝角类和轮虫三大类群浮游动物具有相似的比例^[4~7]。有不少学者认为在低纬度地区,浮游动物生物量低、个体偏小,其对浮游植物的控制能力弱^[8,9]。在水体富营养化过程中,浮游植物生物量和群落结构的变化最为明显,作为次级生产者的浮游动物也会发生相应的变化,如轮虫的种类和数量会增加,哲水蚤逐渐被剑水蚤所代替,浮游动物的这种变化在低纬度地区的表现更为明显^[2,10]。

水库是人工筑坝形成的半人工生态系统,多数水库的来水主要依赖于所在河流的流域集水,有少数水库的流域较小,因而从其邻近的其它流域的河流抽水入库。依赖抽水入库的水库称为抽水水库,抽水入库改变了水库原有的水动力过程,抽水也将部分河流的浮游动物种类引入水库,从而有可能导致水库浮游动物结构的变化。在我国华南沿海地区,建有大量的抽水水库来保障供水。抽水入库在增加水库蓄水量的同时,也提高了水库的营养盐负荷,目前这些水库正面临着水质改善的迫切需求,了解这些抽水型水库中浮游动物群落的组成与动态在水质调节中的作用就显得特别重要。本文以位于珠海市的一座典型水库-大镜山水库为例,分析了其后生浮游动物群落结构与动态及其影响因子。

1 材料和方法

1.1 水库概况

大镜山水库地处南亚热带地区,位于广东省珠海市区($\text{N}22^{\circ}17'43.1''$, $\text{E}113^{\circ}32'59.4''$),是一座中型抽水型水库,担负着珠海市和澳门市供水的任务。水库总库容为 $12.10 \times 10^6 \text{ m}^3$,集雨面积为 5.95 km^2 ,年调节水量为 $49.02 \times 10^6 \text{ m}^3$,在4~9月份受到季风气候的影响,降雨主要集中在5~8月份,多年平均降雨量为1991 mm。水体温度全年较高,最低温度 18°C ,最高温度为 31.1°C 。大镜山水库无入库河流,为满足城市供水,特别是保障咸潮入侵期的供水需求,抽水成为大镜山水库主要入库水源。抽调的河水营养盐浓度和咸度较高,长期调水入库导致水库水质下降,目前该水库为富营养化水体。

1.2 采样与方法

2006年3~12月,于水库中心(S1)及大坝抽水入水口(S2)每月进行1次或2次采样(图1)。用萨克斯盘测定透明度(SD)。叶绿素a采用经过 $0.45 \mu\text{m}$ 的纤维滤膜抽滤500 ml,反复冻融-浸提,运用改进的丙酮萃取方法进行实验^[11]。降雨量和水位由水库管理处提供。浮游动物定性样品用浮游生物网在垂直方向上拖取,定量样品在湖泊区从表层0.5 m往下每隔1 m采水5 L,共采水50 L并混合均匀,用浮游生物网当场过滤,详细方法参考Aka等^[12]、Velho等^[13]、Walsh等^[14]和章宗涉、黄祥飞^[15]。样品均用5%的福尔马林溶液现场固定,带回实验室经沉淀浓缩,在解剖镜和显微镜下鉴定种类及计数。轮虫种类的鉴定按Koste分类系统。

1.3 浮游动物个体大小和生物量的测定

根据浮游动物体积近似计算公式^[15],测定轮虫、枝角类和桡足类的体长、体宽以计算每个个体体积,并认为浮游动物密度与水相同,从而得出每个个体的湿重,最后计算浮游动物的生物量。

1.4 种类、数量及生物量的个体体重分布图的绘制

以浮游动物最小个体为起点,按照个体体重把后生浮游动物划分为 $W_{\min} \sim 2W_{\min}$, $2W_{\min} \sim 4W_{\min}$, ... 体重等级,再计算每个等级内后生浮游动物的丰度及生物量,然后以每个等级的下限为横坐标,所在等级对应的丰度和生物量为纵坐标作图,即为丰度-个体体重分布图和生物量-个体体重分布图。

2 结果与分析

2.1 环境因子

大镜山水库全年水温(T)在 $18 \sim 31.1^{\circ}\text{C}$ 之间,5~9 月份温度较高。盐度(S)表现为枯水期高,丰水期较低(图 2A)。藻类生物量全年基本上以蓝藻(Cyanophyta)为主(图 2B)。透明度(SD)在 $0.5 \sim 1.1\text{ m}$,11 月透明度最高,为 1.1 m ;水位($W\text{-level}$)枯水期较丰水期高(图 2C)。4~9 月份为丰水期,这一时期抽水相对较少,入库水源主要来自降雨,降雨量($Prec$)在 6 月份最高,达 572 mm ;枯水期,降雨量少,抽水入库以增加水库供水能力,抽水量($Inflow$)在 10 月份最高,为 $4.673 \times 10^6\text{ m}^3$ (图 2D)。

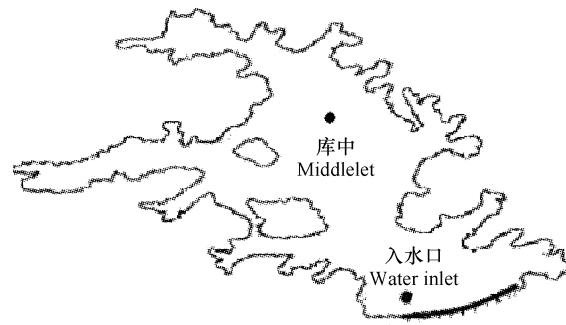


图 1 水库采样示意图

Fig. 1 The location of sampling site in Dajingshan Reservoir

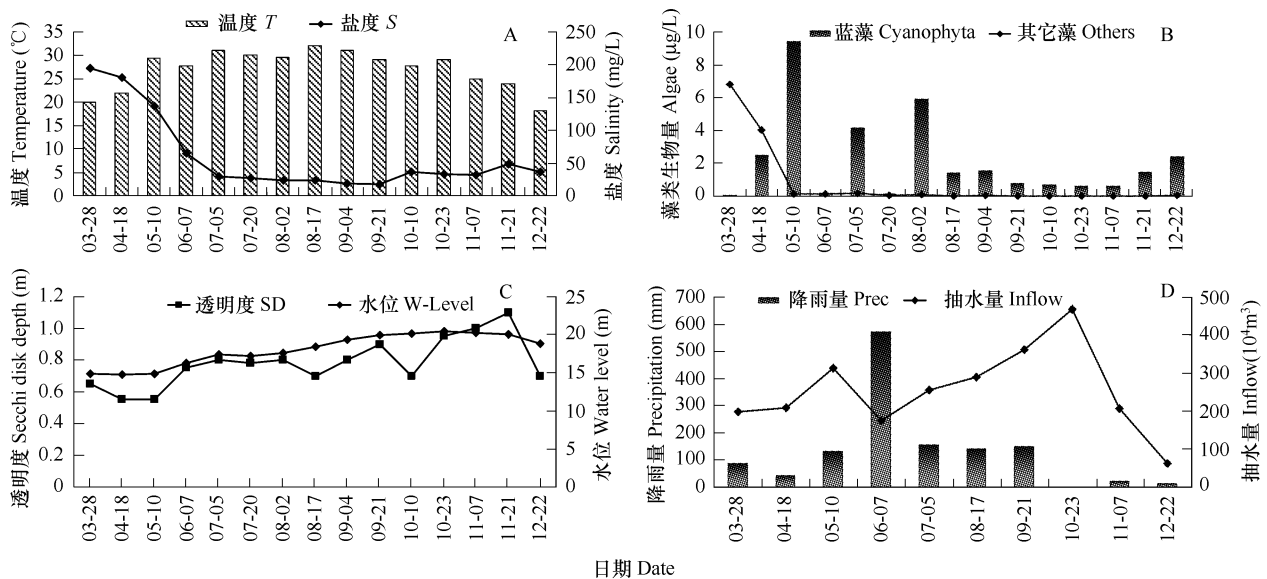


图 2 大镜山水库环境因子的变化

Fig. 2 Dynamic of environment factors in Dajingshan Reservoir

A: 温度 T 和盐度 S ; B: 蓝藻生物量 Cyanophyta; C: 透明度 SD 和水位 $W\text{-Level}$; D: 降雨量 $Prec$ 和抽水量 $Inflow$

A: Temperature and Salinity; B: Cyanophyta; C: Secchi disk depth and Water level; D: Precipitation and inflow by pumping water

2.2 种类组成与数量结构

2.2.1 种类组成

在 2006 年 3~12 月 15 次采样共检测到轮虫 32 种、枝角类 4 种和桡足类 9 种。其中,大多数轮虫属单巢类,特别是臂尾轮科(9 种)、腔轮科(6 种)和异尾轮科(4 种)这 3 个科。常见种有热带龟甲轮虫(*Keratella tropica*)、螺形龟甲轮虫(*K. cochlearis*)、角突臂尾轮虫(*B. angularis*)、剪形臂尾轮虫(*B. forficula*)、萼花臂尾

轮虫(*B. Calyciflorus*)、裂足臂尾轮虫(*B. diversicornis*)、对棘异尾轮虫(*Trichocerca stylata*)、圆筒异尾轮虫(*T. capucina*)、罗氏异尾轮虫(*T. rousseleti*)、暗小异尾轮虫(*T. pusilla*)、卜氏晶囊轮虫(*Asplanchna brightwelli*)、裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)、敞水胶鞘轮虫(*Collotheca pelagica*)、卵形无柄轮虫(*Ascomorpha ecaudis*)、西氏三肢轮虫(*Filinia novaezealandiae*)和迈氏三肢轮虫(*F. maior*),其中大部分营浮游生活,且体表有硬的被甲。

枝角类有长额象鼻溞(*B. longirostris*)、模糊秀体溞(*Diaphanosoma dubia*)、颈沟基合溞(*Bosminopsis deitersi*)和隅齿尖额溞(*Alona karua*)。其中,长额象鼻溞和模糊秀体溞为样品中最常见的种类。

桡足类包括舌状叶镖水蚤(*Phyllodiaptomus tunguidus*)、中华窄腹剑水蚤(*L. sisnensis*)、温中剑水蚤(*M. thermocyclopoides*)、台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)、球状许水蚤(*Schmackeria forbesi*)、锯缘真剑水蚤(*Eucyclops serrulatus*)、*Mesocyclops dissimilis*、*Mesocyclops ogunnus* 和 *Tropocyclops* sp.。中华窄腹剑水蚤、温中剑水蚤和台湾温剑水蚤是水库中常见种类。

2.2.2 丰度和生物量

后生浮游动物总丰度的变化范围在 21.9 ~ 876 ind./L 之间,两个采样点的浮游动物丰度变化趋势基本一致。在 5 月份和 9 月份各出现 1 个峰值。丰水期丰度较高,枯水期丰度较低,而且丰水期丰度波动较大,枯水期波动较小(图 3)。桡足类是丰度的第 1 优势类群,丰度在 16.8 ~ 347.8 ind./L 之间,主要由桡足类幼体组成,其丰度占全年桡足类丰度的 81.9%。轮虫为第 2 大优势类群,其丰度变化范围为 9.2 ~ 584 ind./L。枝角类的丰度在 0 ~ 80.8 ind./L 之间,且枯水期丰度较丰水期丰度高。

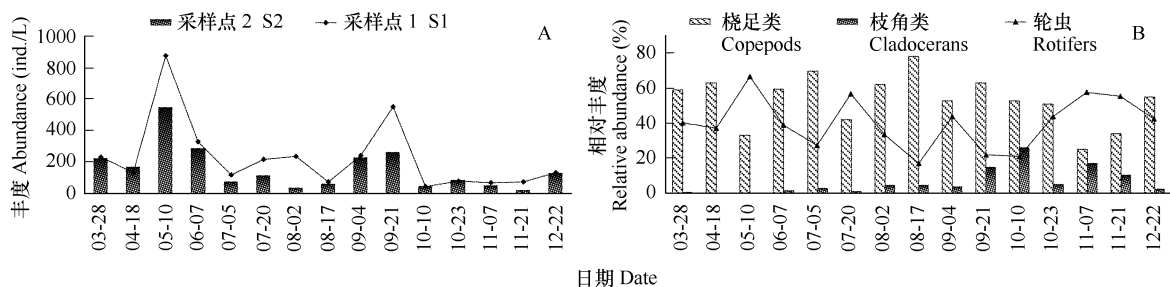


图 3 大镜山水库采样点 1(S1)和采样点 2(S2)的后生浮游动物丰度动态(A)和采样点 1(S1)浮游动物丰度的相对组成(B)

Fig. 3 Dynamic of meta-zooplankton abundance in Dajingshan Reservoir at 2 sampling sites (A) and The relative composition of meta-zooplankton abundance at sampling site: S1 (B)

大镜山水库后生浮游动物的生物量动态与丰度动态基本一致。与丰度相对应,后生浮游动物的生物量在 5 月和 9 月份也各有一个峰值,但 9 月份的峰值高于 5 月份(图 3A,图 4A)。生物量的分布范围为 17.47 ~ 1089.73 $\mu\text{g/L}$ 。从生物量来看,桡足类为第 1 优势类群,其次为枝角类,轮虫的生物量最低。

2.2.3 优势种

根据优势度和年均丰度,剪形臂尾轮虫、迈氏三肢轮虫、西氏三肢轮虫和对棘异尾轮虫为优势种,另外,热带龟甲轮虫、角突臂尾轮虫、蓼花臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫、敞水胶鞘轮虫、卵形无柄轮虫、裂痕龟纹轮虫、圆筒异尾轮虫和螺形龟甲轮虫为次优势种。臂尾轮属在全年维持较高的丰度(图 5A,图 5C),年均丰度为 43 ind./L,剪形臂尾轮虫为最主要的优势种,年均丰度为 35 ind./L。三肢轮属为第二优势属,年均丰度为 15 ind./L;异尾轮属在 8、9 月份占优势;敞水胶鞘轮虫则在 6、9 月份为优势种;卜氏晶囊轮虫在 S2 采样点上 9 月、10 月份为优势种(图 5C)。

在大镜山水库中,枝角类丰度较低,长额象鼻溞为优势种,在 S1 和 S2 采样点上,其丰度变化范围在 0 ~ 79.3 ind./L,分别占枝角类丰度的 95.6% 和 80.1%,且枯水期丰度比丰水期丰度较高(图 5B,图 5D)。

桡足类以无节幼体和桡足幼体为主,S1 和 S2 采样点上,二者的丰度分别占桡足类总丰度的 83.7% 和 81.9%,桡足类成体所占的比例相对较低。桡足类成体丰度以剑水蚤占优势,哲水蚤相对比较低。中华窄腹剑水蚤是桡足类的第 1 优势种,其成体丰度范围为 0.1 ~ 71.8 ind./L(图 5-B,图 5-D)。温中剑水蚤为桡足类

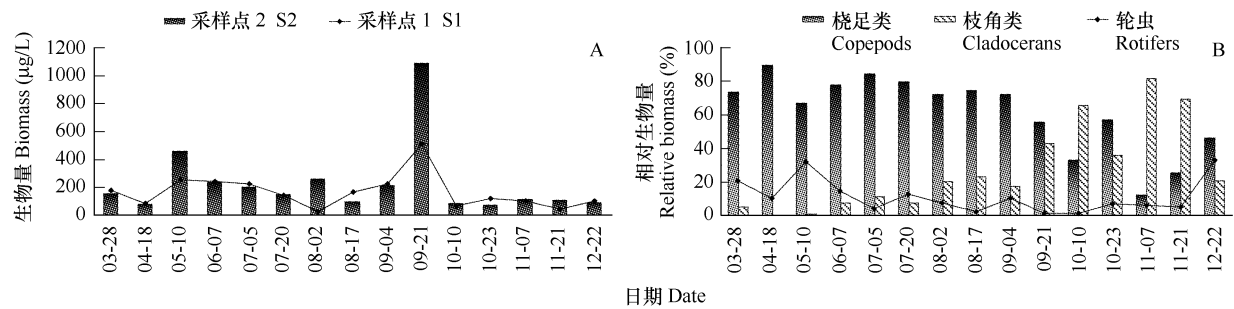


图4 大镜山水库采样点1(S1)和采样点2(S2)的后生浮游动物生物量动态(A)和采样点1(S1)浮游动物生物量的相对组成(B)

Fig. 4 Dynamic of meta-zooplankton biomass in Dajingshan Reservoir at 2 sampling sites (A) and the relative composition of meta-zooplankton biomass at sampling site: S1 (B)

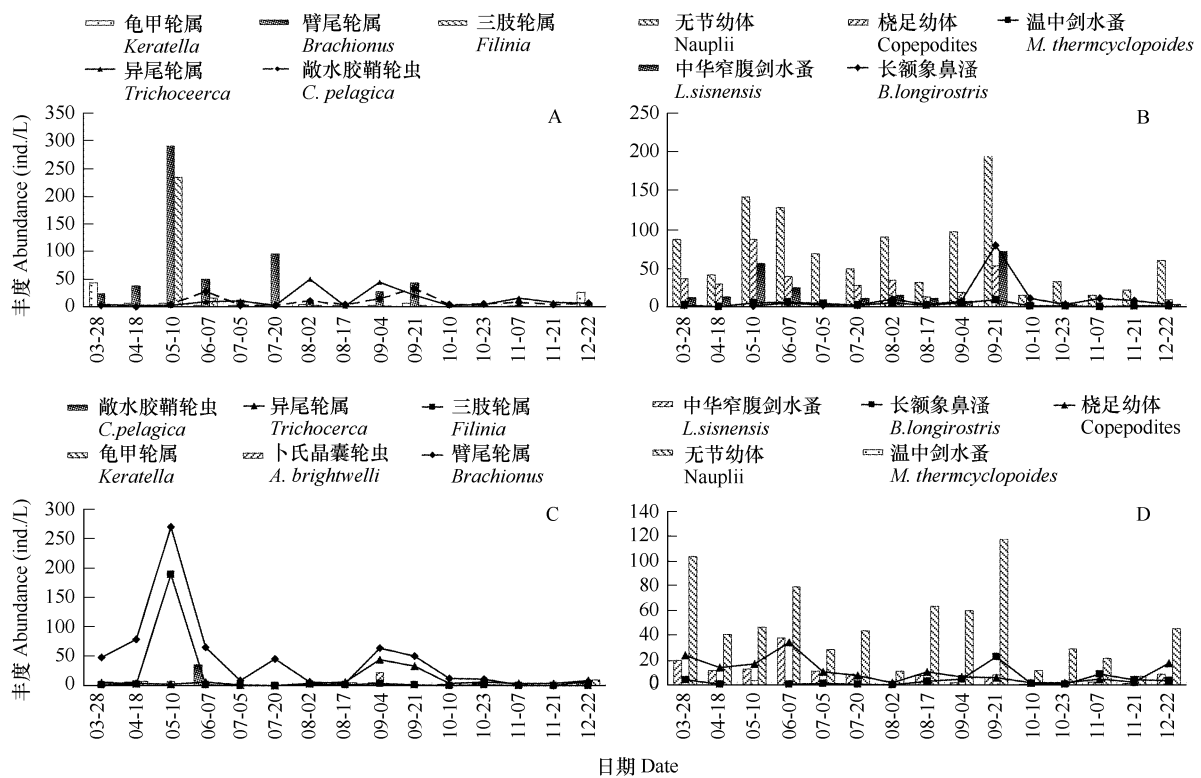


图5 大镜山水库后生浮游动物优势种的丰度

Fig. 5 The abundance of dominant species of meta-zooplankton in Dajingshan Reservoir

A: 采样点1的轮虫; B: 采样点1的甲壳类; C: 采样点2的轮虫; D: 采样点2的甲壳类 A: rotifera at sampling site S1; B: cladocera and copepoda at sampling site S1; C: rotifera at sampling site; sampling site S2; D: cladocera and copepoda at sampling site S2

成体中的第2优势种,其丰度分布范围为0.25~8.8 ind./L。

2.2.4 浮游动物群落个体大小组成结构

由于浮游动物体形有很大的差别,单一的体长指标不能完全反映浮游动物大小,因此在绘制生物量大小谱(biomass size spectrum)时,采用体重作为个体大小的变量。大镜山水库后生浮游动物的最小个体体重为0.01 µg,因而最小等级间隔为0.01~0.02 µg,依此倍增关系,整个大镜山水库中的后生浮游动物可划分为13个等级,范围为0.01~81.92 µg。轮虫的体重主要分布在0.04~0.32 µg之间(表1),无节幼体在这一范围内的每个等级也均有分布(表2)。甲壳动物的个体体重主要在1.28~20.48 µg范围内,最大个体体重为

舌状叶镖水蚤, 个体体重达 61.89 μg 。

表 1 大镜山水库中主要轮虫的个体大小分布
Table 1 Body size distribution of the majority rotifera species in Dajingshan Reservoir

个体体长 Body length (mm)	0.05 ~ 0.08	0.06 ~ 0.09	0.07 ~ 0.11	0.07 ~ 0.15	0.07 ~ 0.18	0.15 ~ 0.23	0.17 ~ 0.25	0.20 ~ 0.25	0.25 ~ 0.31	0.29 ~ 0.35	0.38 ~ 0.43
个体体重 Body mass(μg)	0.01 ~ 0.02	0.02 ~ 0.04	0.04 ~ 0.08	0.08 ~ 0.16	0.16 ~ 0.32	0.32 ~ 0.64	0.64 ~ 1.28	1.28 ~ 2.56	2.56 ~ 5.12	5.12 ~ 10.24	10.24 ~ 20.48
角突臂尾轮虫 <i>B. angularis</i>			+	+							
剪形臂尾轮虫 <i>B. forficula</i>		+	+	+							
镰形臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>							+				
裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>				+	+	+	+	+			
萼花臂尾轮虫 <i>B. Calyciflorus</i>				+	+	+	+	+	+		
热带龟甲轮虫 <i>K. tropica</i>			+	+	+						
螺形龟甲轮虫 <i>K. cochlearis</i>			+								
迈氏三肢轮虫 <i>F. maior</i>				+	+						
西氏三肢轮虫 <i>F. novaezealandiae</i>			+	+	+						
脾状三肢轮虫 <i>F. opoliensis</i>							+				
圆筒异尾轮虫 <i>T. capucina</i>				+	+	+					
对棘异尾轮虫 <i>T. stylata</i>				+	+						
罗氏异尾轮虫 <i>T. rousseleti</i>		+	+	+	+						
暗小异尾轮虫 <i>T. pusilla</i>	+	+	+	+							
敞水胶鞘轮虫 <i>C. pelagica</i>	+	+	+	+	+						
卜氏晶囊轮虫 <i>A. brightwelli</i>					+	+	+	+	+	+	+
囊形单趾轮虫 <i>L. bulla</i>				+							
梨形单趾轮虫 <i>L. e pyriformis</i>					+						
月形腔轮虫 <i>L. luna</i>			+	+							
柱足腹尾轮虫 <i>G. stylifer</i>				+	+						
卵形无柄轮虫 <i>A. ecaudis</i>				+	+						
奇异六腕轮虫 <i>H. mira</i>	+	+	+								
裂痕龟纹轮虫 <i>A. fissa</i>	+	+									

表 2 大镜山水库中主要浮游甲壳动物的个体大小分布
Table 2 Body size distribution of the majority crustacean species in Dajingshan Reservoir

个体体长 Body length(mm)	0.05 ~ 0.06	0.06 ~ 0.07	0.08 ~ 0.09	0.10 ~ 0.21	0.12 ~ 0.26	0.15 ~ 0.34	0.17 ~ 0.43	0.21 ~ 0.55	0.27 ~ 0.70	0.34 ~ 0.88	0.91 ~ 0.95	1.3
个体体重 Body mass(μg)	0.02 ~ 0.04	0.04 ~ 0.08	0.08 ~ 0.16	0.16 ~ 0.32	0.32 ~ 0.64	0.64 ~ 1.28	1.28 ~ 2.56	2.56 ~ 5.12	5.12 ~ 10.24	10.24 ~ 20.48	20.48 ~ 40.96	40.96 ~ 80.92
无节幼体 Nauplii	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
桡足幼体 Copepodites				+	+	+	+	+	+			
中华窄腹剑水蚤 <i>L. sinensis</i>							+	+				
温中剑水蚤 <i>M. thermocyclopoides</i>							+	+	+	+		
台湾温剑水蚤 <i>T. taihokuensis</i>									+	+		
舌状叶镖水蚤 <i>P. tunguidu</i>								+	+	+	+	+
长额象鼻溞 <i>B. longirostris</i>						+	+	+	+	+		
模糊秀体溞 <i>D. dubia</i>									+	+	+	
颈沟基合溞 <i>A. karua King</i>									+			
隅齿尖额溞 <i>F. novaezealandiae</i>									+			

大镜山水库后生浮游动物的丰度在各体重等级上的差异较大。以采样点 S1 为例,在 0.08 ~0.16 μg 内,丰度达到最高,达 64.5 ind./L(图 6A),这一范围内的动物主要为小型轮虫和无节幼体;随着个体体重的增加,丰度逐渐减少,在 40.96 ~81.92 μg 内,丰度达到最低,为 0.09 ind./L,处于该体重等级上的浮游动物为舌状叶镖水蚤。

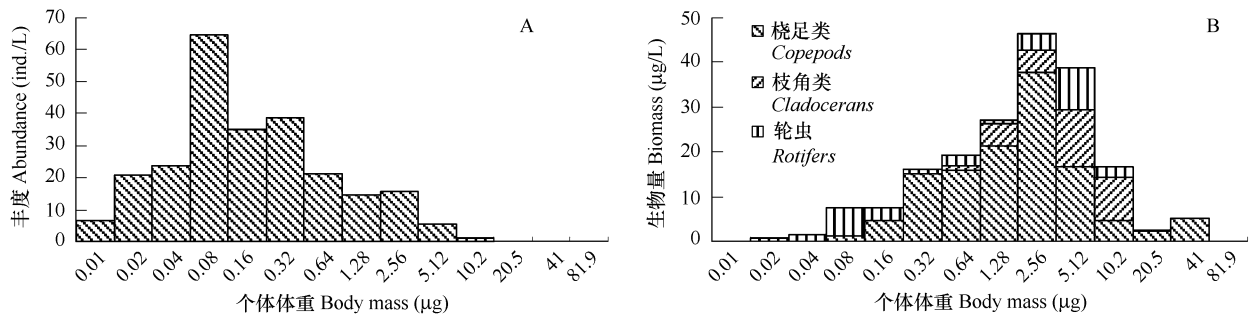


图6 大镜山水库后生浮游动物群落个体大小(体重)依赖的数量分布

Fig. 6 Body mass distribution of metazooplankton in Dajingshan Reservoir

A: 丰度-个体体重分布 Abundance; B: 生物量-个体体重分布 Biomass

从生物量构成的比例来看,大镜山各体重等级生物量的第1优势群为桡足类(图6B),其次为枝角类,轮虫最低。在最小等级0.01~0.02 μg和最大等级40.96~81.92 μg上,生物量较低,分别为0.1 μg/L和0 μg/L。在2.56~5.12 μg内生物量达到最高,为46.43 μg/L,构成这一等级的浮游动物主要为无节幼体、桡足幼体和小型成体。

3 讨论

3.1 后生浮游动物群落结构特征

大镜山水库为一座亚热带富营养化水库,其后生浮游动物组成具有热带亚热带水体浮游动物的特征,同时具有明显的地域特点。2006年3~12月15次采样,共检出轮虫32种、枝角类4种和桡足类9种。与北亚热带及同地区的其它水体相比,种类数较少^[16,17]。32种轮虫中,臂尾轮虫、腔轮虫和异尾轮虫共有19种,占轮虫种类数的59.38%,这3类轮虫为热带亚热带地区的常见种^[4],也是该地区轮虫种类的主要组成部分^[4,18~20]。热带龟甲轮虫是热带地区特有种,为大镜山水库的常见种,因此大镜山水库的轮虫具有热带地区轮虫的组成特征。长额象鼻溞、模糊秀体溞和颈沟基合溞为热带常见种^[21],它们在大镜山水库的每次采样中均有出现。尖额溞是沿岸种类,但也会短时间地出现于敞水区^[22]。在大镜山水库中,隅齿尖额溞也出现于丰水期的敞水区,可能由于丰水期水位增加,原先的沿岸区被淹没的结果。

大镜山水库中的桡足类由哲水蚤和剑水蚤两类组成,哲水蚤仅有舌状叶镖水蚤,其为我国热带亚热带地区的特有种,在广东省其它水库中较为常见^[16]。剑水蚤中的温中剑水蚤、台湾温剑水蚤、球状许水蚤、锯缘真剑水蚤在广东省其它水库中也有报道;而*M. dissimilis*和*M. ogunnus*在我国只出现于南方^[23];中华窄腹剑水蚤为广东省水库中新记录种,该种为咸水分布种,在我国热带亚热带地区河口水域广泛分布,该种进入大镜山水库是抽调西江水时带入水库。

在贫营养水体中,通常由大型的哲水蚤和枝角类占优势,而在富营养水体中则由较小的剑水蚤和轮虫占优势^[24,25]。大镜山水库中的浮游动物个体体重在0.08~0.64 μg内丰度较高(图5),而这一范围内的浮游动物主要由较小的轮虫如剪形臂尾轮虫、迈氏三肢轮虫、西氏三肢轮虫、对棘异尾轮虫、热带龟甲轮虫、角突臂尾轮虫、敞水胶鞘轮虫、卵形无柄轮虫、裂痕龟纹轮虫、圆筒异尾轮虫、螺形龟甲轮虫以及无节幼体和桡足幼体组成,这些种类多数为富营养化指示种;臂尾轮虫在全年维持较高的丰度,说明大镜山水库正处于富营养状态^[26]。长额象鼻溞为小型枝角类,是大镜山枝角类中的优势种,该种是全球性的广布种类,在富营养化水体中数量较高^[27]。桡足类成体以剑水蚤为优势种,哲水蚤的丰度较低,这些后生浮游动物群落具有较低的牧食能力。

大镜山水库浮游动物群落具有与热带其它水体不同的特点。一般认为,在热带、亚热带水体中,特别是富营养化水体中,轮虫种类数和丰度占绝对优势^[28~30]。如广东星湖,轮虫是浮游动物丰度的主要贡献者^[17]。在大镜山水库中,轮虫的丰度低于桡足类,这可能与大镜山水库常年从咸度较高的西江抽水有关。咸水入库

导致大镜山水库中盐度较高,在高咸度条件下,即使水体中食物充足,淡水轮虫的生长繁殖率也会下降。桡足类个体主要由中华窄腹剑水蚤及其无节幼体组成,而在广东省其它水库中成为优势种的温种剑水蚤在大镜山水库中丰度较低。主要由于中华窄腹剑水蚤是广盐、广温喜高温的种类,能够耐受较高的盐度^[31,32];该种的食物食谱较宽,能利用水体中的悬浮颗粒和细菌^[33,34]。

大镜山水库全年采样中未发现大型枝角类,以小型的长额象鼻溞为主,与同地区其它富营养化的水体相似^[15,35]。这可能与两个原因有关:其一,由于大镜山水库中有较强的鱼类捕食压力所致;其二,大镜山水库中水温常年较高,不适宜大个体的溞属的生存。

三大后生浮游动物类群中,桡足类个体体重的分布范围最广,其次为轮虫,枝角类仅出现于六个等级内。由于桡足类中的优势种类-中华窄腹剑水蚤成体的个体较小(体长为0.3~0.5mm),枝角类中缺少大型种类,三大类的生物量在平均生物量-个体体重分布上出现重叠。大镜山水库生物量的分布表现为桡足类生物量为第一优势类群,其次为枝角类,轮虫的生物量最低;浮游甲壳类的生物量峰值位于个体体重较小的位置上,主要由桡足类的无节幼体、桡足幼体和中华窄腹剑水蚤组成,而轮虫的生物量的最大值不出现在个体为中等体重的位置上,由于个体较大的萼花臂尾轮虫和卜氏晶囊轮虫的生物量较高,轮虫生物量的峰值与桡足类的峰值出现的位置相近(图5),这与同地区的其它水体有较大的差别^[36]。

Sprules 等^[37]对北美温带湖泊的研究表明浮游动物生物量谱的峰值出现在64 μg 处。大镜山水库中浮游动物生物量的最大值出现在2.56~5.12 μg 内,而在最大个体体重等级40.96~81.92 μg 上,浮游动物的生物量较低,因此,其峰值远远小于温带地区,与本地区的星湖相似^[36],这主要是由于热带水体中缺少大个体浮游动物^[38]。

3.2 后生浮游动物群落的组成与动态的主要影响因素

大镜山水库中的浮游动物群落的动态表现为丰水期丰度较高,枯水期丰度较低。在水库生态系统中,浮游动物群落的动态受到非生物和生物等环境因子的影响。非生物因子中,主要是温度和调水量起作用。生物因子中,主要是食物、捕食和竞争对浮游动物群落结构产生影响^[7,39]。调水量对浮游动物群落结构的影响主要是通过水体流动和增加水体中的悬浮物起作用^[40,41]。大镜山水库为一座抽水型水库,常年调水入库,但在汛期过后,西江咸潮来临前,在枯水期集中大量调水入库。调水入库对浮游动物的影响因河水水质和水库水质的不同,在丰水期和枯水期对浮游动物的影响不同。在丰水期,降水增加,调水入库量少,水库的营养负荷相对低,但这时水温较高,浮游植物和浮游动物具有较高的生长率和繁殖率。浮游动物丰度在5月份出现了峰值,但随后急剧下降,与6月份集中降雨对水体的稀释和水柱垂直混合有关。因此,丰水期的降水是抑制浮游动物生物量的关键因素。在丰水期末,降水减少后浮游动物又出现了第二峰值,但这个峰值大大低于5月份的峰值。9月份后,浮游动物随着调水的增加再次下降,一方面与调水量增加后稀释效应有关,也与水温下降有关。需要强调的是,枯水期水库的咸度增加,对于多数淡水浮游动物种类有明显的抑制作用,特别是对轮虫的影响明显。

温度直接影响浮游动物生长和繁殖速率,同时与生物因素联系在一起,如蓝藻生物量与捕食强度的增长^[23]。大镜山水库地处亚热带地区,常年温度不低于18℃,因此,水库中温度不是限制浮游动物数量的主要因子。全年浮游动物的丰度是水温 and 入库水量(降水和调水)共同作用的结果。

由于大镜山水库的主要浮游植物为蓝藻门中的丝状藻类,浮游动物难以直接利用,特别是浮游动物以小型的轮虫和桡足类为主,细菌是其主要食物。大镜山为一个富营养化水体,能被浮游动物摄取的食物充足。因此,食物只是影响浮游动物种类组成的因素,对总丰度的影响不大。

因缺少鱼类和其它无脊椎动物的数据,捕食作用的分析相对困难。枝角类对捕食物压力和浊度较为敏感^[42,43]。大镜山水库的枝角类以小型的长额象鼻溞为主,枯水期枝角类丰度较高。在枯水期,抽水入库增加了水体的透明度(图2C),因此枯水期水温下导致鱼类捕食压力下降可能是枝角类丰度增加的主要原因。

4 结论

大镜山水库中轮虫种类组成主要来自臂尾轮科、异尾轮科和腔轮科;枝角类主要有长额象鼻溞、模糊秀体

蚤和颈沟基合蚤;桡足类主要包括中华窄腹剑水蚤、温中剑水蚤、台湾温剑水蚤和舌状叶镖水蚤,体现出了热带、亚热带地区水体中后生浮游动物的特征。受调水的影响,大镜山水库的后生浮游动物群落结构表现为种类少,丰度低,丰水期丰度和生物量较枯水期丰度和生物量高,且桡足类为丰度和生物量的优势类群。

References:

- [1] Sladeczek V. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, 100: 169—202.
- [2] Nilssen J P. Trophic lakes-functional ecology and future development: The need for a process-orientated approach. *Hydrobiologia*, 1984, 113: 231—242.
- [3] Carpenter S R, Kitchell J F. Consumer control of lake productivity. *Bioscience*, 1988, 38: 764—769.
- [4] Fernando C H. The freshwater zooplankton of Sri Lanka, with a discussion of tropical freshwater zooplankton composition. *International Review of Hydrobiology*, 1980, 65(1): 85—125.
- [5] Fernando C H. The species and size composition of tropical freshwater zooplankton with special reference to the oriental region(South East Asia). *International Review of Hydrobiology*, 1980, 65(3): 411—426.
- [6] Saunders J F, Lewis W M. Dynamics and control mechanisms in a tropical zooplankton community (Lake Valencia, Venezuela). *Ecological Monographs*, 1988, 58(4): 337—353.
- [7] Dumont H J. On the diversity of the Cladocera in the tropics. *Hydrobiologia*, 1994, 272: 27—38.
- [8] Komarkova J, Tavera R. Steady state of phytoplankton assemblage in the tropical Lake Catemaco (Mexico). *Hydrobiologia*, 2003, 502: 187—196.
- [9] Hargeby A, Blindow I, Hansson L A. Shifts between clear and turbid states in a shallow lake: multi-causal stress from climate, nutrients and biotic interactions. *Archiv fur Hydrobiologie*, 2004, 161(4): 433—454.
- [10] Lin Q Q, Duan S S, Hu R, Han B P. Zooplankton distribution in tropical reservoirs, South China. *International Review of Hydrobiology*, 2003, 88(6): 606—613.
- [11] Lin S J, He L J, Huang P S, Han B P. Comparison and improvement on the extraction method for chlorophyll a in phytoplankton. *Ecologic Science*, 2005, 24(1): 9—11.
- [12] Aka M, Pagano M, Saint-Jean L, Arfi R, Bouvy M, Cecchi P, Corbin D, Thomas S. Zooplankton variability in 49 shallow tropical reservoirs of Ivory Coast(West Africa). *International Review of Hydrobiology*, 2000, 85(4): 491—504.
- [13] Velho L F M, Lansac-Tôha F A, Bonecker C C, Bini L M, Rossa D C. The longitudinal distribution of copepods in Corumbá Reservoir, State of Goiás, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, 453/454: 385—391.
- [14] Walsh E J, Schröder T, Arroyo M L, Wallace R L. How well do single samples reflect rotifer species diversity? A test based on interannual variation of rotifer communities in Big Bend National Park (Texas, USA). *Hydrobiologia*, 2007, 593: 39—47.
- [15] Zhang Z S, Huang X F. Methods for study on freshwater plankton. Beijing: Science Press, 1991. 358—370.
- [16] Lin Q Q, Hu R, Duan S S, Han B P. Reservoir trophic states and the response of plankton in Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(6): 1101—1108.
- [17] Zhao S Y, Lin Q Q, Liu Z W, Han B P. Characteristics of the meta-zooplankton community in Xinghu Lake-A southern sub-tropical shallow lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(3): 405—413.
- [18] Segers H, Meester L D. Rotifera of Papua New Guinea, with the descriptions of a new *Scardium* Ehrenber, 1830. *Archiv fur Hydrobiologie*, 1994, 131: 111—125.
- [19] Segers H, Dumont H J. 102 + rotifer species(Rotifera; Monogononta) in Broa reservoir(S P Brazil) on 26 August 1994 with the description of three new species. *Hydrobiologia*, 1995, 316: 183—197.
- [20] Segers H. Zoogeography of the Southeast Asian Rotifera. *Hydrobiologia*, 2001, 446/447: 233—246.
- [21] Korovchinsky N M. The cladocera (crustacean; Branchiopoda) as a relict group. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 2006, 147: 109—124.
- [22] Korínnnek V. Cladocera. In: Fernando C H ed. A guide to tropical freshwater zooplankton. Leiden: Buckhuys Publishers, 2002.
- [23] Guo X M. Two new species of *Mesocyclops* from southern China and notes on the genus *Mesocyclops* in China. *Hydrobiologia*, 2000, 429: 115—131.
- [24] McNaught D C. A hypothesis to explain the succession from calanoids to cladoceras during eutrophication. *Verh internat. Verein. Limnol*, 1975, 19: 724—731.
- [25] Blancher E C. Zooplankton-trophic state relationships in some north and central Florida lakes. *Hydrobiologia*, 1984, 109: 251—263.
- [26] Uku J N, Mavuti K M. Comparative limnology, species diversity and biomass relationship of zooplankton and phytoplankton in five freshwater lakes

- in Kenya. *Hydrobiologia*, 1994, 272: 251—258.
- [27] Deneke R, Nixdorf B. On the occurrence of clear-water phases in relation to shallowness and trophic state: a comparative study. *Hydrobiologia*, 1999, 408/409: 251—262.
- [28] Duncan A. Assessment of factors influencing the composition, body size and turnover rate of zooplankton in Parakrama Samudra, an irrigation reservoir in Sri Lanka. *Hydrobiologia*, 1984, 113: 201—215.
- [29] Arcifa M S. Zooplankton composition of ten reservoirs in Southern Brazil. *Hydrobiologia*, 1984, 113: 137—145.
- [30] Nogueira M G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, 455: 1—18.
- [31] Zhao S Y, Han B P. Size structure of the metazoan zooplankton community in a tropical lake: Xinghu Lake, South China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2646—2654.
- [32] Lai W, Li Y P, Du N S. Studies on the composition and seasonal variations of planktonic copepoda in Lake Dianshan, Shanghai. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1987, 11(2): 173—183.
- [33] Zhao W, Jiang H, He Z H. Planktonic crustaceans of Inland Saline Waters in Sanbei District, Northern China. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1996, 13(1): 1—13.
- [34] Gonzales H E, Smetacek V. The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, 113: 233—246.
- [35] Hollibaugh J T, Wong P S. Microbial processes in the San Francisco Bay estuarine turbidity maximum. *Estuaries*, 1999, 22: 848—862.
- [36] Chen M R, Zhao S Y, Lin Q Q, Han B P. Cladoceran distribution in reservoirs of Guangdong Province, South China. *Journal of Lake Science*, 2007, 19(1): 77—86.
- [37] Sprules W G, Casselman J M, Shuter B J. Size distribution of particles in the lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1983, 40: 1761—1769.
- [38] Lewis W M. Tropical lakes: how latitude makes a difference. In: Schiemer F and Boland K T eds. *Perspectives in Tropical Limnology*. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1996. 43—64.
- [39] Pichlová R, Brandl Z. Predatory impact of *Leptodora kindtii* on zooplankton community in the Slapy Reservoir. *Hydrobiologia*, 2003, 504: 177—184.
- [40] Threlkeld S T. Water renewal effects on reservoir zooplankton communities. *Water Quality Research Journal of Canada*, 1982, 7: 151—167.
- [41] Buyukates Y, Roelke D. Influence of pulsed inflows and nutrient loading on zooplankton and phytoplankton community structure and biomass in microcosm experiments using estuarine assemblages. *Hydrobiologia*, 2005, 548: 233—249.
- [42] Korponai J, Mátyás K, Paulovits G, Tátrai I, Kovács N. The effect of different fish communities on the cladoceran plankton assemblages of the Kis-Balaton Reservoir, Hungary. *Hydrobiologia*, 1997, 360: 211—221.
- [43] Dejen E, Vijverberg J, Nagelkerke L A J, Sibbing F A. Temporal and spatial distribution of microcrustacean zooplankton in relation to turbidity and other environmental factors in a large tropical lake (L. Tana, Ethiopia). *Hydrobiologia*, 2004, 513: 39—49.

参考文献:

- [11] 林少君, 贺立静, 黄沛生, 韩博平. 浮游植物中叶绿素 a 提取方法的比较与分析. *生态科学*, 2005, 24: 9—11.
- [15] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991. 358—370.
- [16] 林秋奇, 胡韧, 段舜山, 韩博平. 广东省大中型供水水库浮游生物对水库营养状态的指示. *生态学报*, 2003, 23(6): 1101—1108.
- [17] 赵帅营, 林秋奇, 刘正文, 韩博平. 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): 405—413.
- [31] 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): 2646—2654.
- [32] 赖伟, 李逸平, 堵南山. 上海淀山湖浮游动物桡族类群落组成. *水生生物学报*, 1987, 11(2): 173—183.
- [33] 赵文, 姜宏, 何志辉. 三北地区内陆盐水的浮游甲壳类. *大连水产学院学报*, 1996, 13(1): 1—13.
- [36] 陈绵润, 赵帅营, 林秋奇, 韩博平. 广东省水库枝类组成组成特征的初步研究. *湖泊科学*, 2007, 19(1): 77—86.