

海南热带水库敞水区浮游甲壳动物群落结构特征*

李慧明, 陈花, 韩小玉, 任晶晶, 林秋奇, 韩博平**

(1: 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

(2: 广东省高校水体富营养化与赤潮防治重点实验室, 广州 510632)

摘要: 于枯水期(2006年12月)和丰水期(2007年5月)对海南省7座水库敞水区进行采样调查, 共检出浮游甲壳类动物15种, 多为广温性和嗜热性种类, 其中桡足类7种, 枝角类8种. 温中剑水蚤(*Mesocyclops thermocyclopoides*)、脆弱象鼻溞(*Bosmina fatali*)和颈沟基合溞(*Bosminopsis deitersi*)是出现频率较高的种类, 优势种均以小型种类为主. 处于贫、中营养状态的水库浮游动物种类数在丰水期高于枯水期; 处于富营养状态的水库, 情况则相反. 优势种中的脆弱象鼻溞和模糊秀体溞(*Diaphanosoma dubium*)的丰度与大多数种类的丰度呈显著正相关关系, 台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)及温中剑水蚤与部分枝角类存在一定的负相关, 但这些关系均不显著, 说明浮游动物的种间关系相对较弱, 营养水平和鱼类捕食是影响水库浮游甲壳动物群落组成和多样性的主要因素.

关键词: 浮游甲壳动物; 群落结构; 敞水区; 热带水库; 海南

Characters of community structure of planktonic crustaceans in open water of tropical reservoirs, Hainan Province of China

LI Huiming, CHEN Hua, HAN Xiaoyu, REN Jingjing, LIN Qiuqi & HAN Boping

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

(2: *Key Laboratory of Aquatic Eutrophication and Control of Harmful Algal Blooms of Guangdong Higher Education Institutes, Guangzhou 510632, P. R. China*)

Abstract: Fifteen species of planktonic crustaceans, including 7 species of copepod and 8 species of cladoceran, were identified in an investigation for seven reservoirs of Hainan Island in the dry season (December, 2006) and flooding season (May, 2007). All the species were eurythermal or mesophilic, and their communities were dominated by small-sized species. *Mesocyclops thermocyclopoides*, *Bosmina fatali* and *Bosminopsis deitersi* were common species in all the reservoirs. The species richness, in the oligotrophic and oligo-mesotrophic reservoirs were much higher in flooding season than in dry season, but had a reverse pattern in the eutrophic reservoirs. The abundance of *Bosmina fatali* and *Diaphanosoma dubium* was positively related with majority of species, and *Thermocyclops taihokuensis* and *Mesocyclops thermocyclopoides* were negatively but weakly related with the cladoceran species in correlation analysis. This weak correlations indicated a weak interaction between the species and other influence factors existed, such as fish predation affected coexistence of planktonic zooplankton species.

Keywords: Planktonic crustaceans; community structure; open water; tropic reservoir; Hainan Province

浮游甲壳动物(包括枝角类和桡足类)是淡水水体中浮游动物群落中的主要类群, 是生态系统中承接上行效应和下行效应的关键组份. 气候、生境、竞争、捕食和初级生产力是决定种类多样性梯度和群落结构的关键因素^[1-2]. 根据 Paine 的捕食假说, 热带地区的捕食者比其它地区多, 捕食者将被捕食者的种群数量压到较低的水平, 从而减轻被捕食者的种间竞争, 竞争减弱允许有更多的被捕食者种类的共存; 较丰富的种数又支持了更多的捕食者种类, 因此热带地区生物群落的物种多样性应高于温带和极地地区^[3]. 通常认为热带

* 国家自然科学基金项目(30670345、U0733007)和教育部博士点基金项目(20094401120009)联合资助. 2010-04-08 收稿; 2010-08-23 收修改稿. 李慧明, 女, 1985年生, 硕士; E-mail: lihuiminghao@163.com.

** 通讯作者; E-mail: tbphan@jnu.edu.cn.

淡水水体中浮游动物种类和丰度均低于温带水体,且以小型种类占优势,桡足类和枝角类的丰度和生物量明显低于浮游动物另一类群——轮虫,大型溞属(*Daphnia*)很难在热带水体检测到^[4-5].

海南省是我国主要的热带区域,水库是该地区主要的淡水蓄水水体,水量主要受降水量的季节性变化影响.降雨年内分配不均匀,5-10月为汛期,雨量约占全年的84%,枯季11-4月仅占一年中雨量的16%左右^[6].作为我国典型的热带地区,海南省浮游甲壳类种类多样性与群落结构特征尚未十分清楚.基于两次调查,本文对海南省7座水库湖泊区的浮游甲壳类进行分析,探讨海南热带水库浮游甲壳类种类组成与群落结构特征及其主要影响因素.

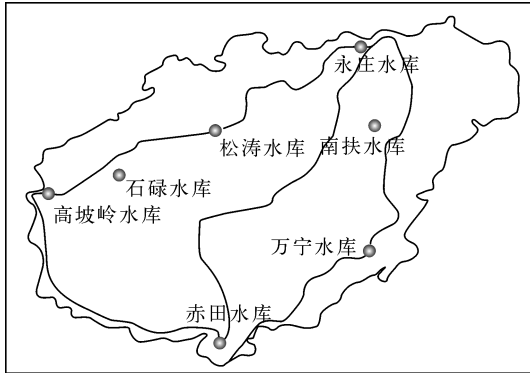


图1 海南省7座调查水库的位置

Fig. 1 Sites of seven investigated reservoirs in Hainan Province

场过滤浓缩.所有样品均用5%甲醛溶液固定,固定样品带回实验室并在显微镜和解剖镜下进行种类鉴定和计数^[9-11].

表1 海南省7座水库基本参数

Tab. 1 Characteristic parameters of seven reservoirs in Hainan Province

水库	所在河流	库容 ($\times 10^4 \text{ m}^3$)	集水面积 (km^2)	水温($^{\circ}\text{C}$)		营养状态	
				枯水期	丰水期	枯水期	丰水期
松涛	南渡江	33450	1440.00	22.0	28.0	贫营养	中营养
石碌	石碌河	14130	353.63	22.0	27.3	贫营养	中营养
万宁	太阳河	15200	429.00	20.0	28.8	中营养	富营养
赤田	藤桥西河	7710	220.55	24.0	28.4	中营养	中营养
南扶	同仁何	9162	64.50	21.5	27.9	中营养	中营养
高坡岭	罗带河	6790	156.40	20.0	28.6	富营养	富营养
永庄	五源河	775	14.58	19.3	31.6	中营养	富营养

根据浮游动物的近似计算公式^[9],测定浮游甲壳动物的体长、体宽或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,最后可依据浮游动物体积的近似计算个体重量计算公式计算.

浮游甲壳类优势种根据每个种的优势度值(Y)来确定:

$$Y = (n_i / N) f_i$$

式中, n_i 为*i*种的个体数, N 为所有种类个体数, f_i 为出现的频率. Y 值大于0.02的种类为优势种^[13-14].

2 结果与分析

2.1 浮游甲壳动物种类组成

共检到浮游甲壳动物15种,其中枝角类8种,桡足类7种(表2).贫营养型松涛水库(10种)的浮

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

于2006年12月(枯水期)和2007年5月(丰水期的初期)对海南不同区域的7座水库敞水区进行采样,在每座水库的大坝附近水域设置一个采样点^[7-8](表1).这7座水库为:松涛水库、石碌水库、赤田水库、万宁水库、高坡岭水库、永庄水库和南扶水库(图1).

1.2 采样方法和样品分析

浮游甲壳动物的定性样品用25号浮游生物网(孔径为 $64\mu\text{m}$)在垂直和水平方向上拖网.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 $30\mu\text{m}$ 的浮游生物网当

游甲壳动物种类数最多,富营养型高坡岭水库(6种)种类数最少.在丰水期和枯水期两次调查出现的不相同的种类有5种:盃形蚤(*Daphnia galeata*)、华南尖额蚤(*Alona milleri*)、台湾温剑水蚤(*Thermocyclops taihokuensis*)、泽西近剑水蚤(*Tropocyclops jerseyensis*)和博平近剑水蚤(*Tropocyclops bopingi*).在7座水库中,温中剑水蚤(*Mesocyclops thermocyclopoides*)、脆弱象鼻蚤(*Bosmina fatali*)和颈沟基合蚤(*Bosminopsis deitersi*)是出现频率较高的种类.枝角类体长范围为233.3-875 μm ,桡足类体长范围为140-1250 μm ,优势种以小型种类为主(图2).枝角类的平均体长为394 μm ,桡足类平均体长为940 μm .

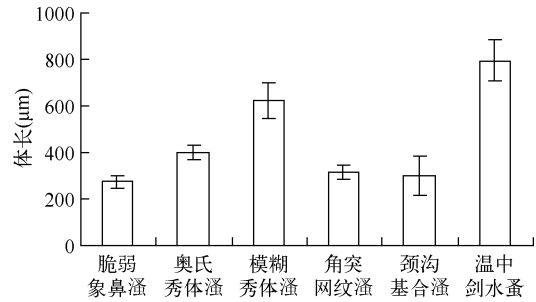


图2 海南省7座水库浮游甲壳动物优势种平均体长与标准差

Fig. 2 Average body length of dominant species in the investigated resevoirs

表2 海南省7座水库浮游甲壳类种类组成及出现频次*

Tab. 2 Species of planktonic crustacean and frequency occurring in the seven investigated resevoirs in Hainan Province

种类	松涛水库		石碌水库		赤田水库		南扶水库		万宁水库		高坡岭水库		永庄水库	
	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯	丰	枯
枝角类														
脆弱象鼻蚤(<i>Bosmina fatali</i>)	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
颈沟基合蚤(<i>Bosminopsis deitersi</i>)	+		+	+	+	+	+		++	++			+	+
角突网纹蚤(<i>Ceriodaphnia cornuta</i>)	++	+				+	++	++						+
奥氏秀体蚤(<i>Diaphanosoma orghidani</i>)	++	++	++	+	++	+	++	++	+	++	++	+	++	+
模糊秀体蚤(<i>Diaphanosoma dubium</i>)	++	+	+		+	+	+	+		+	++		+	+
微型裸腹蚤(<i>Moina micrura</i>)	+		+				+			+				
盃形蚤(<i>Daphnia galeata</i>)			+										+	
华南尖额蚤(<i>Alona milleri</i>)									+		+			
桡足类														
台湾温剑水蚤(<i>Thermocyclops taihokuensis</i>)											+			
温中剑水蚤(<i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>)	+	+	+	++	+	+	+	++	+	++	++	++	+	+
台湾复镖水蚤(<i>Allodiaptomus uenoi</i>)							+	+		+				
右突新镖水蚤(<i>Neodiaptomus schmackeri</i>)	+	+	+		+	+								
锥肢蒙镖水蚤(<i>Mongolodiaptomus birulai</i>)	+	+	+	+	+	+								+
博平近剑水蚤(<i>Tropocyclops bopingi</i>)								+						
泽西近剑水蚤(<i>Tropocyclops jerseyensis</i>)									+					

* +代表出现, ++代表优势种.

2.2 浮游甲壳类的生物量和丰度

7座水库浮游甲壳动物生物量和丰度变化范围分别是112.2-2903.8 $\mu\text{g/L}$ 和42.9-1211.6 ind./L,生物量和丰度动态变化一致(图3).除高岭坡水库、万宁水库外,甲壳类丰度总体上呈现出枯水期大于丰水期的动态特点,仅万宁水库丰水期甲壳类生物量高于枯水期.

虽然7座水库浮游甲壳类丰度均以无节幼体和桡足幼体占优势,但是其生物量组成特征上有较大的差别(图4).浮游甲壳类生物量主要是由桡足幼体和脆弱象鼻蚤贡献的.7座水库丰水期,脆弱象鼻蚤占浮游甲壳类生物量的32.8% \pm 10%;枯水期,占甲壳类的25% \pm 16%,万宁水库中,脆弱象鼻蚤占总生物量的70.4%.从丰水期到枯水期,石碌水库由脆弱象鼻蚤占优势变成桡足类占优势,万宁水库由脆弱象鼻蚤占优势变成颈沟基合蚤占优势.

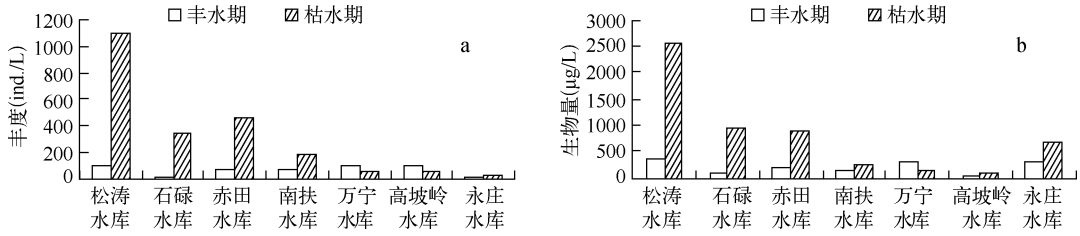


图3 海南省7座水库丰水期和枯水期浮游甲壳类丰度(a)及生物量(b)变化

Fig. 3 Variations of planktonic crustacean abundance(a) and biomass(b) of seven investigated reservoirs in Hainan Province in flooding and dry season

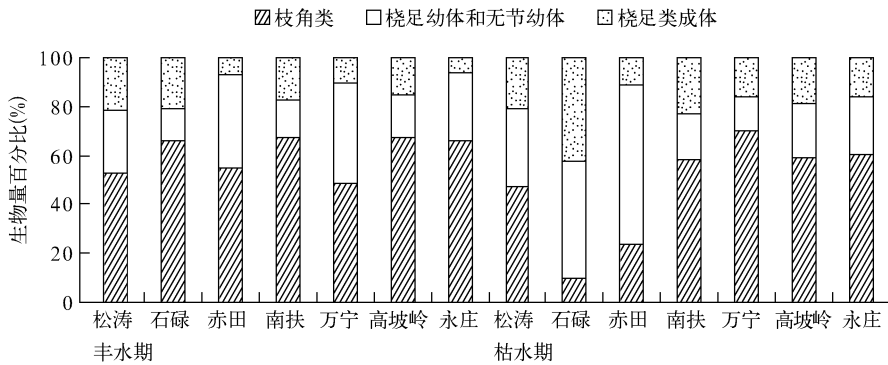


图4 海南省7座水库丰水期和枯水期桡足类和枝角类生物量百分比

Fig. 4 Relative abundance of copepod and cladoceran abundance of seven reservoirs in Hainan Province in flooding and dry season

3 讨论

与温带水体相比,热带水体敞水区现存浮游动物具有种类少和丰度低的特点,小型个体占有优势,浮游甲壳类种类和数量均很少,特别是大型的溞属(*Daphnia*)较少^[4,14].与广东水库浮游甲壳类群落结构相比,海南省7座水库浮游甲壳类种类数更少(平均7种),浮游甲壳类以个体更小的枝角类为优势类群,优势种类主要以小型热带种类为主,例如脆弱象鼻溞、颈沟基合溞和温中剑水蚤等.

就枝角类来而言,海南水库出现的脆弱象鼻溞、奥氏秀体溞和模糊秀体溞等8种枝角类都是体型偏小的种类,体长范围在200-800µm之间.在桡足类中,无节幼体和桡足幼体是主要的存在形式,成体出现的频次较低,而温中剑水蚤为桡足类优势种,其体长范围多集中在600-900µm之间,这与热带湖泊中枝角类和桡足类的优势种类通常小于1mm的结论一致^[15].

一般认为,水体处于中等营养型时,栖息的生物种类数多,其群落多样性也高;而在环境条件极端的水体(贫营养型或超富营养型)中,只能生存耐受性大的少数种类,群落结构单一,其群落多样性也低^[16].水体的富营养化导致物种多样性下降^[17].在本次调查的7座水库中,浮游动物的种类数随着营养水平的升高而趋于减少(表1,表2).

水体营养水平直接影响枝角类食物的质量、粒径大小和数量^[18].热带亚热带地区的富营养化水库,藻类组成上以难消化的蓝藻为主,特别是丝状蓝藻占优势,食物质量较差^[19].小型个体枝角类以小型个体的单细胞藻类、细菌和有机碎屑为食,难以利用较大的丝状藻类为食,使其免受大型蓝藻群落影响,在富营养化水体中处于有利位置^[20].大型滤食性枝角类更多偏向于滤食细胞个体相对较大的藻类.当发生蓝藻水华时,溞属等大型个体枝角类的滤食则受到限制,其生长受抑制.

李莹等^[21]在研究三座亚热带大型水库桡足类群落结构时,认为随着水库富营养水平的升高,桡足类密度和生物量也相应增加。在本次调查的海南省7座水库中,随着富营养化程度的增加,桡足类生物量和丰度相应的却呈降低趋势(图4),说明鱼类捕食的影响明显。在本次调查的7座水库中,盔形蚤只在枯水期出现在松涛水库。松涛水库是一座典型大型贫-中营养型深水水库,有利于盔形蚤进行垂直迁移,从而逃避捕食。

随着水体的富营养化水平增加,鱼类产量也随之增加。在热带地区,水库渔业生产非常普遍,大多数养殖鱼类主要以浮游生物为食。枯水期,水温下降和水库鱼类的捕获,导致鱼类捕食压力减弱,较大个体的种类增加,中型个体种类数减少,这种由下行效应的影响会导致水库优势种类的季节性更替。此时,浮游动物的体形、个体大小、行为和生活史等均会成为影响浮游动物季节更替的因素^[22-25]。

石碌水库、万宁水库和南扶水库优势种在丰水期和枯水期具有明显的季节性更替。在石碌水库中,丰水期优势种为脆弱象鼻蚤和奥氏秀体蚤,枯水期优势种则为脆弱象鼻蚤和温中剑水蚤。脆弱象鼻蚤作为全年优势种可能是由于其个体小,逃避捕食的能力强。枯水期奥氏秀体蚤优势度降低,个体较大的温中剑水蚤成为优势种。万宁水库丰水期优势种为小型个体的脆弱象鼻蚤和颈沟基合蚤;枯水期时,优势种类除原有的小型种类还出现个体较大的奥氏秀体蚤和温中剑水蚤,与鱼类捕食压力下降有关。南扶水库丰水期优势种为脆弱象鼻蚤、角突网纹蚤和奥氏秀体蚤;枯水期温中剑水蚤优势度上升也成为优势种。

4 结论

海南省7座水库敞水区浮游甲壳类群落结构具有典型热带地区甲壳动物的种类组成特征。浮游甲壳动物种类数少、丰度和生物量低,多样性水平不高,优势种类以小型种类为主,且具有明显的季节性更替,浮游甲壳动物的群落结构主要受水库的营养状态、库容大小和鱼类捕食的影响。

5 参考文献

- [1] Brooks, Dodson. Predation, body size and composition of plankton. *Science, New Series*, 1965, **150**: 28-35.
- [2] Pianka ER. *Evolutionary Ecology* (6th Edition). Benjamin Cummings, 1999.
- [3] Paine RT. Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist*, 1996, **100**(910): 65-75.
- [4] Dumont HJ. On the diversity of the Cladocera in the tropics. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 27-38.
- [5] 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*, 2005, **26**(8): 2646-2654.
- [6] 刘阳生. 海南省水资源与水环境现状分析及对策研究. *水文*, 2006, **26**(1): 89-91.
- [7] 任晶晶, 林秋奇, 韩博平. 热带水库敞水区轮虫种类组成与数量结构——基于海南7座典型水库的分析. *湖泊科学*, 2010, **22**(2): 272-280.
- [8] 肖利娟. 海南省7座大中型水库浮游植物群落特征和富营养化分析[学位论文]. 广州:暨南大学, 2008.
- [9] 章宗涉, 黄祥飞. *淡水浮游生物研究方法*. 北京: 科学出版社, 1991.
- [10] Guo XM. Two new species of *Mesocyclops* from southern China and notes on the genus *Mesocyclops* in China. *Hydrobiologia*, 2000, **429**: 115-131.
- [11] Dumont HJ. Further expansion of the genus *Cercopagis* (Crustacea, Branchiopoda, Onychopoda) in the Valtic Sea, with notes on the taxa present and their ecology. *Hydrobiologia*, 2000, **429**: 207-218.
- [12] 阳含熙, 卢泽愚. *植物生态学的数量分类方法*. 北京: 科学技术出版社, 1981: 90-120.
- [13] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙等. 长江口河口锋区浮游动物生态研究 I. 生物量及优势种的平面分布. *中国水产科学*, 1995, **2**(1): 49-58.
- [14] Lin QQ, Duan SS, Hu R *et al.* Zooplankton distribution in tropical reservoirs, South China. *International Review of Hydrobiology*, 2003, **88**(6): 602-613.
- [15] Lewis WM. Tropical lakes; how latitude makes a difference. In: Schiemer F, Boland KT eds. *Perspectives in Tropical Limnology*. Netherlands: Amsterdam SPB Academic publishing, 1996: 43-64.
- [16] 日本生态学会环境问题专门委员会编. *环境和指示生物(水域分册)*. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [17] Seda J, Devetter M. Zooplankton community structure along a trophic gradient in a canyon-shaped dam reservoir. *Journal of Plankton Research*, 2000, **22**: 1829-1840.

- [18] 林秋奇,赵帅营,韩博平. 广东省水库轮虫分布特征. 生态学报, 2005, **25**(5): 1123-1131.
- [19] 韩博平. 广东省大中型水库富营养化现状与防治对策研究. 北京: 科学出版社, 2006: 8.
- [20] Vijverberg J, Boersma M. Long-term dynamics of small-bodied and large-bodied cladocerans during the eutrophication of a shallow reservoir, with special attention for *Chydorus sphaericus*. *Hydrobiologia*, 1997, **360**: 233-242.
- [21] 李莹, 林秋奇, 韩博平. 三座南亚热带大型水库敞水区桡足类群落结构比较. 生态科学, 2010, **29**(1): 22-29.
- [22] Maciej Gliwicz Z, Gerardo Umana. Cladoceran body size and vulnerability to copepod predation. *Limnology and Oceanography*, 1994, **39**(2): 419-424.
- [23] 陈绵润, 赵帅营, 林秋奇等. 广东省典型大中型水库枝角类的分布特点. 湖泊科学, 2007, **19**(1): 77-86.
- [24] Horn W. Long-term development of the crustacean plankton in the Saldenbach Reservoir (Germany) — changes, causes, consequences. *Hydrobiologia*, 2003, **504**: 185-192.
- [25] Zaret TM. Predation and freshwater communities. New Haven and London: Yale University Press, 1980.