

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*

任晶晶, 林秋奇, 韩博平**

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要: 海南省是我国典型的热带区域, 目前对该地区浮游动物的研究和报道极少. 为了解该地区轮虫的群落组成, 于 2006 年 12 月和 2007 年 5 月对分布于海南省 7 座典型的水库敞水区进行了采样调查. 共采集到轮虫 32 种, 多为营浮游性生活的广温性和嗜温性种类. 在不同时期, 水库具体优势种类及其相对优势度有一定差别, 主要优势种个体较小且有被甲. 在丰水期, 剪形臂尾轮虫和镰状臂尾轮虫为主要优势种, 在枯水期则以束隐三肢轮虫为主要优势种. 海南省 7 座水库的平均丰度和生物量分别为 66.8 ind./L 和 21.6 $\mu\text{g/L}$, 均远低于亚热带和温带地区. 总体上, 海南省水库敞水区轮虫呈现出种类少、个体小、丰度低的特点. 尽管两次采样期间的轮虫优势种的相对丰度存在一定变化, 但轮虫的种类组成结构相对一致, 反映出该地区水库轮虫的群落结构具有较高稳定性.

关键词: 轮虫; 群落; 结构; 水库; 热带

Species diversity and community structure of rotifers in pelagic zones of seven reservoirs, Hainan Province

REN Jingjing, LIN Qiuqi & HAN Boping

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

Abstract: Hainan Province is at a tropical zone in South China. Zooplankton diversity there has rarely been investigated. In order to collect basic data and understand the community structure of rotifers in Hainan Province, seven typical reservoirs were sampled in December of 2006 and May of 2007. 32 species were identified, among which the majority was eurythermal or mesophilic species. In the two sampling periods, the dominant species and their relative dominance in abundance varied between different reservoirs, almost all the dominant species were small sized ones with armor. The dominant species were *Brachionus forficula* and *Brachionus falcatus* in the early flood season and *Filinia camasecla* in the late dry season. The average abundance and biomass of rotifers were 66.8 ind./L and 21.6 $\mu\text{g/L}$, respectively, which both were lower than those in the subtropics and temperate zones. In general, the rotifers were characterized by low species diversity, small body size and low abundance. Although the relative abundance of the dominant rotifers varied slightly between the dry and flood seasons, the consistent species composition indicates that the rotifers keep a steadily community structure in the tropical reservoirs.

Keywords: Rotifer; community; structure; reservoir; tropic

轮虫是浮游动物主要类群之一, 具有发育时间短、周转快、内禀增长率高的特点^[1], 在水生生态系统结构、功能和生物生产力等方面具有重要作用. 非生物因素的生境类型、水温以及生物因素的食物、竞争和捕食等在影响轮虫的种类和群落结构方面具有决定性作用^[2,4]. 从区域尺度上看出, 温带与热带水体的轮虫组成有很大差别. 在热带, 由于水温常年高且季节变化相对小, 这种环境条件会影响浮游动物的生长和繁殖, 导致生物体代谢快和个体小型化. 作为浮游动物中个体较小的类群, 在热带地区, 轮虫具有数量增长的潜力^[5].

* 国家自然科学基金项目 (U0733007, 30670345) 资助. 2009-04-21 收稿; 2009-07-28 收修改稿. 任晶晶, 女, 1984 年生, 硕士; E-mail: rjj850914@163.com.

** 通讯作者; E-mail: tbphan@jnu.edu.cn.

捕食是影响浮游动物最重要的生物因素,鱼类和一些肉食性或杂食性的浮游动物是轮虫的主要捕食者^[6-8].在热带地区,常年的水温高,鱼类等能全年维持对轮虫的高捕食压力,也被认为是影响热带地区轮虫种类和数量的关键因素^[9-11].因此,在热带水体能够适应高温和高捕食物压力的种类会成为轮虫中的优势种类.在我国,广东省地处热带与亚热带的过渡区,对其水库调查表明,轮虫的优势种类主要为臂尾轮虫、异尾轮虫和螺形龟甲轮虫^[12],它们都是热带地区的常见种.王晓辉等对处于南亚热带的大镜山水库研究表明,该水库轮虫种类少,优势种也是热带地区的常见种和特有种,体现了热带地区轮虫的组成特征^[13].与温带浮游动物的研究相比,对热带的研究要少得多,Dumont 等对此有较为详细的阐述^[1,10,14].

海南被认为是我国真正的热带地区,与广东省由琼州海峡相隔,同属热带北缘,浮游动物群落的结构是否具有热带地区典型的特点还不清楚,目前对该地区的轮虫种类组成与数量分布还缺少基本的数据.为了解海南省水库浮游动物的群落组成,于枯水期(2006年12月)和丰水期(2007年5月)对分布于海南省7座典型水库湖泊区的浮游轮虫进行了调查,本文分析其群落结构,探讨热带水库轮虫的分布特征.

1 材料与与方法

1.1 采样时间与地点

根据海南岛的气候特点,分别于2006年12月和2007年5月对全岛不同区域的7座水库进行采样,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,具体的位置见图1.两次采样期间水温差别不大(表1),但水文条件有很大的差别.12月份是秋冬交替季节,丰水期的末期和枯水期的开始,水库水量比较充裕,水较深;5月份是枯水期的末期和丰水期开始阶段,水库的水量较少,水较浅.在每座水库的大坝附近水域设置1个采样点.

1.2 采样方法和样品分析

定量样品采用30 μm 的定量浮游生物网进行垂直拖网,采取整个水柱,拖网深度由采样点的深度决定,浮游动物样品用5%福尔马林固定.在显微镜下对所有样品进行种类鉴定,定量样品在解剖镜下用1ml计数框计数.

测定轮虫的体长、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,计算个体重量,最后可依据浮游动物体积的近似计算公式计算浮游动物的生物量^[15],计算结果见表1.

2 结果与分析

2.1 种类组成

海南省7个水库出现的轮虫多为广温性和嗜温性种类,常见的种类为剪形臂尾轮虫、镰状臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫、热带龟甲轮虫、螺形龟甲轮虫、束隐三肢轮虫、脾状三肢轮虫、卡顿异尾轮虫、刺盖异尾轮虫、圆筒异尾轮虫、对棘异尾轮虫、郝氏皱甲轮虫等.由于水样采集于水库的敞水区,检测到的轮虫以营浮游生活的种类居多.

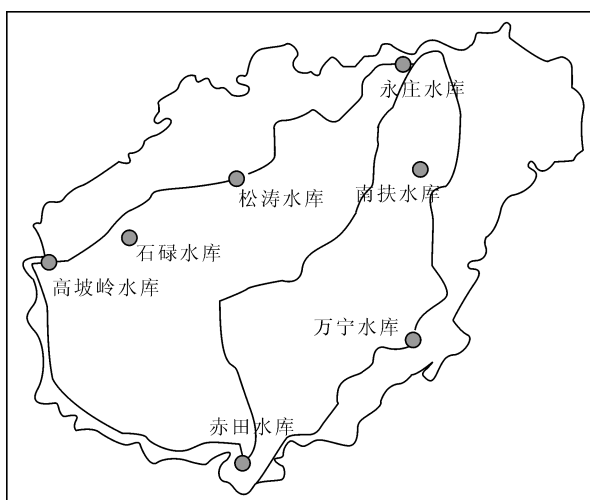


图1 7座调查水库的位置

Fig. 1 Distribution of seven investigated reservoirs

表1 海南省7座水库的库容、浮游植物平均生物量和水温

Tab. 1 Size, average biomass of phytoplankton and water temperature in seven investigated reservoirs in Hainan Province

水库	库容 ($\times 10^4 \text{m}^3$)	浮游植物平均 生物量 (mg/L)	枯水期 水温($^{\circ}\text{C}$)	丰水期 水温($^{\circ}\text{C}$)
松涛	33450	1.61	22.0	28.0
石碌	14130	1.09	22.0	27.3
赤田	7710	4.41	24.0	28.4
万宁	15200	8.42	20.0	28.8
高坡岭	6790	14.17	20.0	28.6
永庄	775	16.68	19.3	31.6
南扶	9162	0.84	21.5	27.9

热带地区的常见种属如臂尾轮属、异尾轮属、龟甲轮属和多肢轮属出现的频次较高,基本上两次采样中均有出现,尤其是臂尾轮属是水库中轮虫的主要优势种类.大型种类,如晶囊轮虫出现的频次不高,在全年14个采样点只出现5次.营生或底栖生活的科属腔轮科和镜轮科的轮虫出现的频次较低,各仅为1次(表2).

表2 海南省7座水库轮虫的种类与出现频次*

Tab. 2 Rotifer species and frequency occurring in seven reservoirs in Hainan Province

种名	出现频次		
	丰水期	枯水期	全年
臂尾轮科 Brachionidae			
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i> P	2	4	6
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i> P	4	4	8
镰形臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatu</i> P	3	3	6
异棘臂尾轮虫 <i>Brachionus donneri</i> P	2	2	4
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i> P	4	2	6
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i> P	7	5	12
蒲达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestinensis</i> P	2	2	4
热带龟甲轮虫 <i>Keratella tropica</i> P	5	5	10
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i> P	5	4	9
晶囊轮科 Asplanchnidae			
卜氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i> P	2	2	4
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i> P	1		1
异尾轮科 Trichocercidae			
圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i> P	3	5	8
卡顿异尾轮虫 <i>Trichocerca chattoni</i> P	4	3	7
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i> B	1		
对棘异尾轮虫 <i>Trichocerca stylata</i> P	4	2	6
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i> P	4	5	9
三肢轮科 Filiniidea			
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i> P		2	2
束隐三肢轮虫 <i>Filinia camasecla</i> P	5	6	11
脾状三肢轮虫 <i>Filinia opoliensis</i> P	4	4	8
六腕轮科 Hexarthridae			
奇异六腕轮虫 <i>Hexarthra mira</i> P		1	1
聚花轮科 Conochilidae			
叉角拟聚花轮虫 <i>Conochiloides dossuarius</i> P	1	2	3
独角聚花轮虫 <i>Conochilus unicornis</i> P		1	1
胶鞘轮科 Collotheceidae			
胶鞘轮虫 <i>Collotheca</i> P		1	1
腹尾轮科 Gastropodidae			
卵形无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i> P		2	2
舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i> P		1	1
柱足腹尾轮虫 <i>Gastropus styliifer</i> P	1		1
疣毛轮科 Synchaetidae			
广生多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i> P	1	3	4
尖尾疣毛轮虫 <i>Syncheta stylata</i> P		2	2
郝氏皱甲轮虫 <i>Ploesoma hudsoni</i> P	3	3	6
镜轮科 Testudinellidae			
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i> P	1		1
腔轮科 Lecanidae			
爪趾单趾轮虫 <i>Lecane unguitata</i> B	1		1
月形腔轮虫 <i>Lecane lunaris</i> B	1		1

* P 代表浮游性种类 Planktonic; B 代表底栖性或附着性种类 Benthic.

7座水库中,万宁水库出现的种类最多(20种),其次是高坡岭水库(18种),松涛水库的种类最少(5种)(图2).对每座水库而言,两次采样出现的种类相似性超过85%.

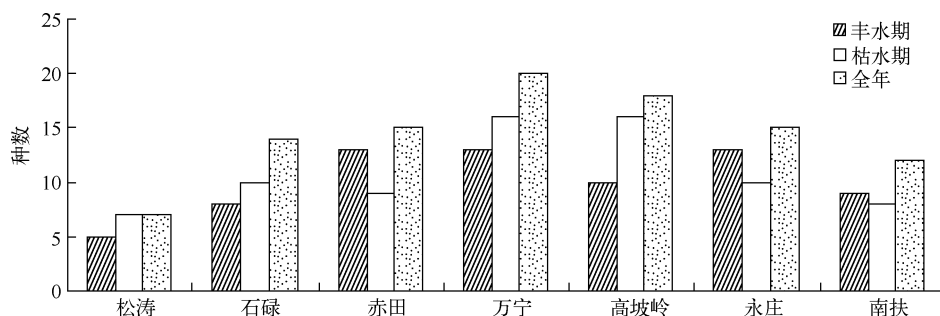


图2 海南省7座水库轮虫的种类数

Fig. 2 Species numbers of rotifers in seven reservoirs in Hainan Province

轮虫的体长范围在75–375 μm 之间,其中个体最小的为蒲达臂尾轮虫,个体最长的为前节晶囊轮虫和卜氏晶囊轮虫.海南省7座水库轮虫优势种体长范围见图3.

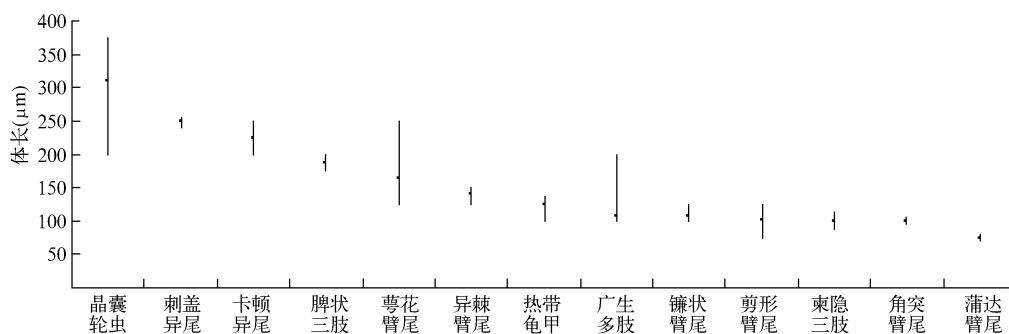


图3 海南省7座水库轮虫主要优势种的体长

Fig. 3 Body length of dominant rotifers in seven reservoirs in Hainan Province

2.2 轮虫的丰度

除万宁水库外,轮虫丰度总体上呈现出枯水期大于丰水期的动态特点(图4).在丰水期轮虫的变化范围为10.6–137.6ind./L,平均丰度为40.7ind./L.在枯水期各水库轮虫丰度变化范围为20–259.5ind./L,平均丰度为92.9ind./L.在万宁水库中,丰水期角突臂尾轮虫的丰度很大,基本达到总丰度的一半.

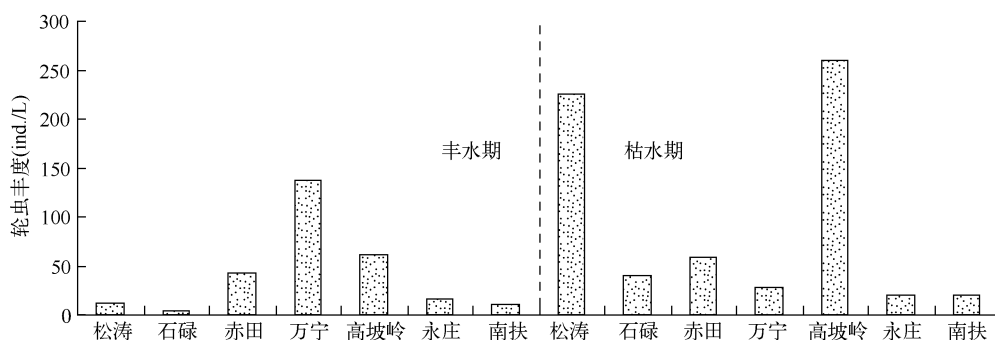


图4 海南省7座水库轮虫丰度变化

Fig. 4 Dynamics of rotifer abundance of seven reservoirs in Hainan Province

7座水库轮虫主要有剪形臂尾轮虫、镰状臂尾轮虫、角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、热带龟甲轮虫和束隐三肢轮虫,此外还有卡顿异尾轮虫、广生多肢轮虫、脾状三肢轮虫和刺盖异尾轮虫等(表3)。在水库之间以及不同时期,水库具体优势种类和相对优势度有一定的差别。在丰水期中以剪形臂尾轮虫和镰状臂尾轮虫为主要优势种,在枯水期中以束隐三肢轮虫为主要优势种。

表3 海南省7座水库的主要优势种和相对丰度

Tab. 3 The relative abundance of the main dominant rotifers in seven reservoirs in Hainan Province

水库	丰水期		枯水期	
	优势种	相对丰度(%)	优势种	相对丰度(%)
松涛	剪形臂尾轮虫	46.8	束隐三肢轮虫	93.2
	卡顿异尾轮虫	36.2	脾状三肢轮虫	2.2
石碌	镰状臂尾轮虫	55.8	刺盖异尾轮虫	32.0
	剪形臂尾轮虫	28.9	束隐三肢轮虫	26.2
赤田	剪形臂尾轮虫	67.7	脾状三肢轮虫	48.4
	镰状臂尾轮虫	18.0	剪形臂尾轮虫	25.0
万宁	角突臂尾轮虫	49.7	广生多肢轮虫	16.9
	热带龟甲轮虫	19.6	热带龟甲轮虫	15.9
			圆筒异尾轮虫	15.9
高坡岭	剪形臂尾轮虫	40.0	对棘异尾轮虫	48.9
	热带龟甲轮虫	30.1	萼花臂尾轮虫	11.6
永庄	镰状臂尾轮虫	22.6	萼花臂尾轮虫	77.3
	剪形臂尾轮虫	22.1	束隐三肢轮虫	7.6
南扶	剪形臂尾轮虫	64.7	束隐三肢轮虫	37.7
	异棘臂尾轮虫	14.3	脾状三肢轮虫	14.8

由于丰水期与枯水期轮虫种类组成不同,不同体长的丰度也不同(图5)。在丰水期由于主要优势种为个体较小的臂尾轮虫,7座水库中明显以150 μm 以下的个体占优势;在枯水期,主要优势种逐渐过渡为三肢轮虫和个体较大的异尾轮虫,丰度在0-150 μm 和150-300 μm 间所占的比例基本相当。300 μm 以上的晶囊轮虫全年仅在万宁和高坡岭水库中出现并且个体数很少,所占的比例很低。

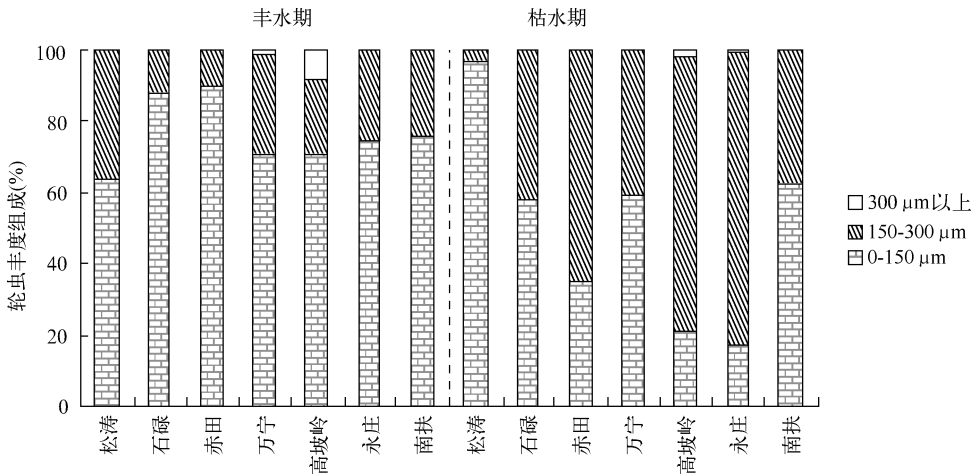


图5 基于个体体长的轮虫丰度组成结构

Fig. 5 Composition structure of rotifers abundance based on individual body length

2.3 轮虫的生物量及组成

在丰水期,7个水库轮虫生物量在 $0.73-38.92\mu\text{g/L}$ 之间,在枯水期为 $7.79-96.89\mu\text{g/L}$ 之间(图6),与丰度具有一致的动态特征.除了万宁水库的生物量在丰水期比枯水期高之外,其余各水库的生物量都是枯水期高于丰水期,并以松涛水库和高坡岭水库尤为显著.在枯水期,松涛水库的生物量较高,束隐三肢轮虫丰度达到93%,占绝对优势,使松涛水库轮虫的生物量达到 $58.4\mu\text{g/L}$;在高坡岭水库中,轮虫的生物量为 $96.9\mu\text{g/L}$,其中晶囊轮虫数量多、个体大,它对轮虫的生物量贡献很高达7.8%.在万宁水库中,丰水期的生物量为 $38.9\mu\text{g/L}$,主要由丰度高的角突臂尾轮虫和体型大的晶囊轮虫对其生物量的贡献.

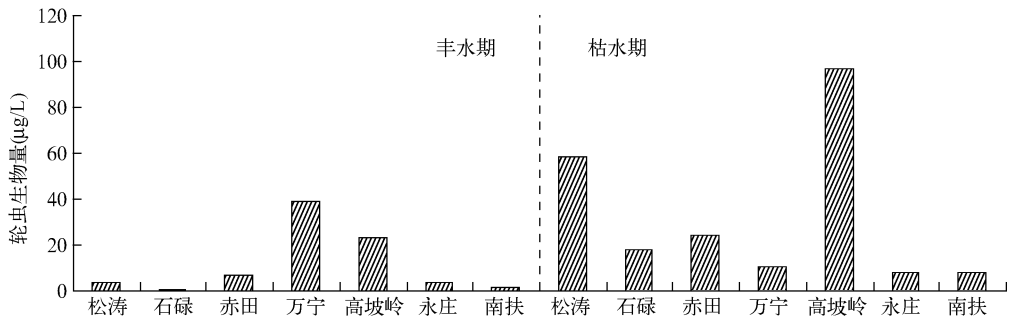


图6 海南省7座水库轮虫生物量变化

Fig. 6 Rotifer biomass in seven reservoirs in Hainan Province

在丰水期,轮虫生物量主要由 $0-150\mu\text{m}$ 个体的生物量组成,其次是 $150-300\mu\text{m}$,对应于个体较小的臂尾轮虫占优势种.在枯水期,松涛、永庄和南扶是以束隐三肢轮虫为优势种,生物量以 $0-150\mu\text{m}$ 为优势外,其余的水库基本由 $150-300\mu\text{m}$ 间的生物量组成,对应于个体较大的异尾轮属占优势.构成 $300\mu\text{m}$ 以上生物量的个体是晶囊轮虫,其个体远大于其它种类,导致在有晶囊轮虫存在的水体,其对轮虫的生物量有较大的贡献(图7).

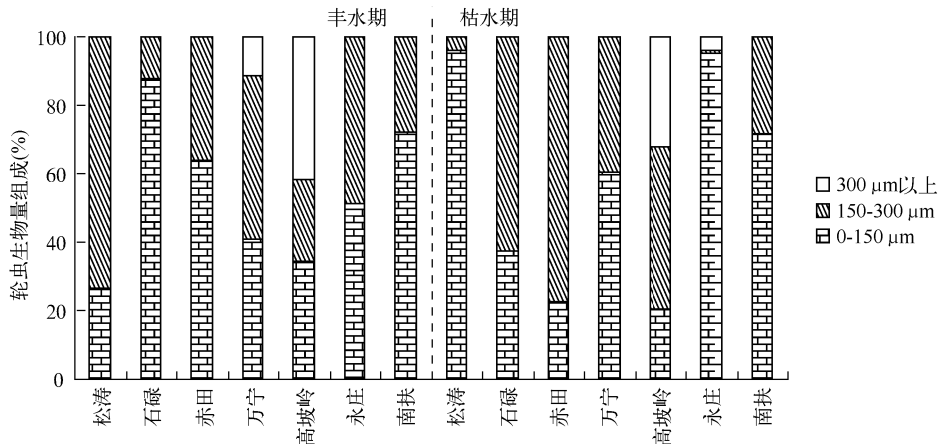


图7 基于个体体长的轮虫生物量组成结构

Fig. 7 Composition structure of rotifers biomass based on individual body length

3 讨论

3.1 轮虫群落的基本结构

海南省是我国最具热带特点的地区,全年暖热,雨量充沛,干湿季节明显.气候的影响在很大程度上决

定了浮游动物群落结构特征,在种类组成和数量组成均有体现.气候的影响可以是直接的(如代谢速率)也可以是间接的(如鱼类的捕食强度).依据属来分类,调查的7座水库轮虫的基本结构在枯水期可分为四类:第一类是松涛水库、赤田水库、永庄水库和南扶水库,基本结构是三肢轮属+臂尾轮属;第二类是石碌水库,基本结构是异尾轮属+臂尾轮属;第三类是万宁水库,基本结构是多肢轮属+龟甲轮属+异尾轮属;第四类是高坡岭水库,基本结构是异尾轮属+臂尾轮属+龟甲轮属.在丰水期的基本结构可分为三类:第一类是松涛水库,基本结构是臂尾轮属+异尾轮属;第二类是石碌水库、赤田水库、永庄水库和南扶水库,基本结构是臂尾轮属,前三个水库主要是由剪形臂尾轮虫和镰状臂尾轮虫构成,后一个水库主要由剪形臂尾轮虫和异棘臂尾轮虫构成;第三类是万宁水库和高坡岭水库,基本结构是臂尾轮属+龟甲轮属.

从轮虫的基本结构可以看出,在枯水期轮虫的优势种类比较丰富,有三肢轮虫、异尾轮虫、龟甲轮虫和臂尾轮虫,这些种类处于共存或竞争的地位,轮虫没有明显的单一绝对优势种.而到了丰水期,轮虫的优势种逐渐单一化,基本上以臂尾轮虫占绝对优势地位.臂尾轮虫是热带水体中的常见种类^[16-17],虽然其在全年的基本结构中都存在,但其优势种在不同时期是有区别的.在丰水期,主要以剪形臂尾轮虫、镰状臂尾轮虫和角突臂尾轮虫为主;在枯水期,主要以剪形臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫为主.龟甲轮属在7座水库中也广泛存在,主要是由热带龟甲轮虫和螺形龟甲轮虫构成.

热带水体中的浮游动物有趋向小型化的特点,在鱼类摄食压力较大的情况下显得更加明显^[10,18].从形态特征来看,在丰水期形成优势种的个体都比较小,而且也有坚硬的被甲或棘刺,这些防御机制使得它们在捕食压力较大的丰水期生存下来并成为优势种^[19].在枯水期捕食压力相对较小,使得个体较大较透明的异尾轮虫、跳跃快的三肢轮虫和多肢轮虫、以及耐污性强的萼花臂尾轮虫可以利用其自身的竞争优势成为优势种.

3.2 影响轮虫群落结构特征的因素

水库是一个受人工调节程度很高的水体,其浮游动物群落的动态在很大程度上受到水动力学影响^[20].小型水体的水动力学不稳定,而大型水库相对稳定,它们所提的生境多样性.在调查的7座水库中,湖泊区轮虫的多样性随着库容的增大而降低.

水温被认为是影响轮虫发生并且引起轮虫种类季节演替的关键因子之一^[21-23],水温的变化可导致被捕食的压力和轮虫的食物发生改变,进而直接或间接的改变轮虫的群落演替.在枯水期开始阶段,水温较低,鱼类的生长和繁殖速率低,轮虫多以大个体的异尾轮虫和多肢轮虫占优势.到了丰水期开始阶段,水温较高,鱼类代谢加快,捕食压力增大,大个体的轮虫多被个体较小且有坚硬外壳的臂尾轮虫所代替.

7个水库轮虫的生物量与藻类、枝角类和桡足类生物量回归分析表明,在丰水期,轮虫的生物量与这三个变量均呈微弱的正相关,与藻类的生物量相关性略高($R^2 = 0.1827, P = 0.339$),其次是桡足类($R^2 = 0.0145, P = 0.797$)和枝角类($R^2 = 0.001, P = 0.946$);在枯水期,轮虫的生物量与藻类生物量呈负相关($R^2 = 0.0011, P = 0.944$),与枝角类、桡足类生物量呈正相关($R^2 = 0.06, P = 0.596; R^2 = 0.0163, P = 0.785$).赵帅营等开展热带湖泊浮游动物研究时,认为水体浮游动物不仅种类少、而且丰度也低^[24].海南省7座水库浮游动物的平均丰度和生物量分别为66.8ind./L和21.6 $\mu\text{g/L}$,通过与星湖(375ind./L,169.4 $\mu\text{g/L}$)^[24]和武汉南湖(1615ind./L,565 $\mu\text{g/L}$)^[25]的丰度和生物量相比,远低于其它地区.Twombly通过研究热带湖泊季节变化对浮游动物动态的影响表明,浮游动物的种类组成随季节变化较小^[1].在对海南省7座水库的调查结果与Twombly的研究一致,季节变化较小,反映出该地区水库轮虫的群落结构具有较高稳定性.

食物是影响浮游动物群落结构的重要因子^[26].轮虫主要以细菌和腐屑等为食^[17,27],夏季高温天气使得水体中的藻类、动物尸体等在细菌的作用下,很快形成碎屑^[28],使得一些以碎屑为主要食物的轮虫因有丰富的食物而大量繁殖,使得在丰水期食物对轮虫的影响比较显著.在枯水期,7座水库藻类的生物量比丰水期低(丰水期为9.75mg/L,枯水期为3.74mg/L),而轮虫的生物量却比丰水期高,这说明了食物并不是影响轮虫生物量的关键因子,相反鱼类的捕食压力对轮虫的影响比较显著.

捕食是影响浮游动物群落结构最重要的生物因素.在热带及亚热带地区水库中,水产养殖非常普遍,滤食性鱼类对浮游动物,尤其是浮游动物群落结构的控制也是不容忽视的^[6-7,29].在鱼类捕食旺季的丰水期,鱼类倾向于捕食个体较大的种类,使得作为鱼类适口性饵料的枝角类数量减少,从而减轻了对轮虫的捕食压

力。另外,当水体中食浮游生物鱼类密度较高时,在枯水期以大个体为主的浮游动物群落到了丰水期会变为以个体较小的浮游动物为主,这主要是也由鱼类的选择性捕食造成的^[30-31]。

枝角类对食物的滤食效率相对轮虫较高,是与轮虫争夺食物的有力竞争对手^[32]。由于7座水库中枝角类的丰度比较低(平均丰度为32.6 ind./L),因此轮虫与枝角类之间的食物竞争要弱。桡足类是轮虫的捕食者(平均丰度为164.4 ind./L),捕食轮虫的压力主要来自于剑水蚤,剑水蚤喜欢捕食适口性的软体种类,轮虫坚硬的外壳和棘刺的存在可以减少其对剑水蚤的捕食率,所调查的7座水库的轮虫优势种类主要为有坚硬外壳的种类,在很大程度上反映了它们对捕食压力的适应。

根据竞争排斥原理,每个种都有自己的生境^[33],种间的竞争机制对轮虫的群落组成有一定的影响,具有相同资源利用方式的轮虫通过食物竞争最终导致其共存或消失^[34]。7座水库中轮虫群落中主要优势种出现的时间不同,且同一属内种间的优势种也是交错出现。在枯水期的优势种是肢轮虫,在丰水期的优势种变成臂尾轮虫;对于同一属内的龟甲轮虫来说,热带龟甲轮虫和螺形龟甲轮虫在七个水库中也是交替出现成为优势种。通常,同一属内种类取食方式和食物种类的相似,它们的竞争也较为激烈。在7座水库中,同一属内种类在时间上交错出现,说明这些种类已形成了一定程度的生态位分化。

4 参考文献

- [1] Twombly S. Seasonal and short term fluctuations in zooplankton abundance in tropical lake Malawi. *Limnology & Oceanography*, 1983, **28**: 1214-1224.
- [2] Gannon JE, Stemberger RS. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. *American Microscopical Society*, 1978, **97**(1): 16-35.
- [3] Pollard AI, Gonzalez MJ, Vanni MJ *et al.* Effects of turbidity and biotic factors on the rotifer community in an Ohio reservoir. *Hydrobiologia*, 1998, **388**: 215-223.
- [4] 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.
- [5] Dumont HJ. Biogeography of rotifers. *Hydrobiologia*, 1983, **104**(1): 19-30.
- [6] Starling FLRM, Rocha AJA. Experimental study of the impacts of planktivorous fishes on plankton community and eutrophication of a tropical Brazilian reservoir. *Hydrobiologia*, 1990, **200/201**: 581-591.
- [7] Devetter M, Seda J. Regulation of rotifer community by predation of *Cyclops vicinus* (Copepoda) in the Rímov Reservoir in spring. *International Review of Hydrobiology*, 2006, **91**(1): 101-112.
- [8] Devetter M, Seda J. The relative role of interference competition in regulation of a rotifer community during spring development in a eutrophic reservoir. *International Review of Hydrobiology*, 2008, **93**(1): 31-43.
- [9] Fernando CH. Zooplankton, fish and fisheries in tropical freshwaters. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 105-123.
- [10] Dumont HJ. On the diversity of the Cladocera in the tropics. *Hydrobiologia*, 1994, **272**: 27-38.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 王晓辉, 望甜, 林秋奇等. 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. *生态学报*, 2009, **29**(1): 456-465.
- [14] Marazzo A, Valentin JL. Population dynamics of *Penilia avirostris* (Dana, 1852) (Cladocera) in a tropical bay. *Crustaceana*, 2003, **76**: 803-817.
- [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: 1358-1362.
- [16] Dussart BH, Fernando CH, Matsumura TT *et al.* A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton. *Hydrobiologia*, 1984, **113**(1): 77-91.
- [17] Arndt H. Rotifers as predators on components of the microbial web (bacteria, heterotrophic flagellates, ciliates) a review. *Hydrobiologia*, 1993, **255/256**(1): 231-246.
- [18] Fernando CH. 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.

- [19] Pejler B, Berzins B. On choice of substrate and habitat in brachionid rotifers. *Hydrobiologia*, 1989, **186/187**: 137-144.
- [20] Devetter M. Influence of environmental factors on the rotifer assemblage in an artificial lake. *Hydrobiologia*, 1988, **387/388**: 171-178.
- [21] Edmondson WT. Factors in the dynamics of rotifer populations. *Ecological Monographs*, 1946, **16**(4): 357-372.
- [22] Bérziņš B, Pejler B. Rotifer occurrence in relation to temperature. *Hydrobiologia*, 1989, **175**: 223-231.
- [23] Yildiz S, Altindag A, Ergonul MB. Seasonal fluctuations in the zooplankton composition of a eutrophic lake; Lake Marmara (Manisa, Turkey). *Turkey Journal Zoology*, 2007, **31**: 121-126.
- [24] 赵帅营, 林秋奇, 刘正文等. 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): 405-413.
- [25] 刘红, 马徐发, 刘瑾. 武汉南湖浮游轮虫的初步研究. 水利渔业, 2006, **26**(2): 60-62.
- [26] Hessen DO, Faafeng BA, Smith VH *et al.* Extrinsic and intrinsic controls of zooplankton diversity in lakes. *Ecology*, 2006, **87**: 433-443.
- [27] Nogueira MG. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, **455**: 1-18.
- [28] 林婉莲, 刘鑫洲, 刘建康. 四种浮游生物的碎屑形成过程. 水生生物学集刊, 1984, **8**(2): 1-8.
- [29] Nilssen JP. Tropical lakes-functional ecology and future development: The need for a process-orientated approach. *Hydrobiologia*, 1984, **113**(1): 231-242.
- [30] Brooks JL, Dodson SI. Predation, body size, and composition of plankton. *Science*, 1965, **150**(3692): 28-35.
- [31] Hurlbert SH, Mulla MS. Impacts of Mosquito fish (*Gambusia affinis*) predation on plankton communities. *Hydrobiologia*, 1981, **83**(1): 125-151.
- [32] Gilbert JJ. Suppression of rotifers populations by Daphnia: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology & Oceanography*, 1988, **33**: 1286-1303.
- [33] Pejler B. Relation to habitat in rotifers. *Hydrobiologia*, 1995, **313/314**: 267-278.
- [34] Ciroso PJ, Carmona MJ, Serra M. Resource competition between sympatric sibling rotifer species. *Limnology & Oceanography*, 2001, **46**(6): 1511-1523.