

广东省水库枝角类组成特征的初步研究*

陈绵润, 赵帅营, 林秋奇, 韩博平**

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要:于2000年丰水期和枯水期调查了广东省19座典型大中型水库枝角类, 随后对其中3座代表性水库进行了4年的枝角类种类定性调查. 在鉴定出的枝角类16属24种中有13个广温种、7个嗜暖种、3个嗜寒种和1个特有种; 每个水库的平均种类数5-6种. 从个体大小来看, 水库枝角类以小个体种类为主, 有14种的体长小于1 mm, 它们分布广且数量多, 其中优势种主要为长额象鼻溞、秀体溞、微型裸腹溞、颈沟基合溞和角突网纹溞等. 透明溞和透明薄皮溞是主要的大个体种类, 出现在4座贫、中营养水库的水样中. 水库枝角类的丰度较低, 在丰水期, 平均丰度小于10 ind./L和10-20 ind./L的水库分别为14座和5座, 在枯水期, 为12座和5座, 而高州水库和河溪水库中的平均丰度达67 ind./L. 主要优势种在不同营养类型水库中分布差别不大. 枝角类的丰度受水力滞留时间影响, 直流型水库的枝角类种群丰度的分布明显受到水流速度的影响, 湖泊区枝角类个体及其食物均随水库放水输出而减少. 由于采样点主要位于大坝附近, 枝角类以敞水区的种类为主. 从种类组成和数量来看, 广东省水库枝角类具有明显的热带特点, 枝角类的生物量小, 以个体较小的种类优势种, 大型种类的个体数量极低且身体透明.

关键词:枝角类; 热带亚热带; 水库; 分布

Cladoceran distribution in reservoirs of Guangdong Province, South China

CHEN Mianrun, ZHAO Shuaiying, LIN Qiuqi & HAN Boping**

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

Abstract: Cladocerans in 19 reservoirs of Guangdong Province, South China were investigated in 2000. Among them, 3 typical with different retention time were sampled in the later 4 years. As a result, 24 species in 16 genera were identified, including 13 eurythermal species, 7 thermophilic species, 3 psychrophilic species and 1 endemic species. There are 5 or 6 species on average in an individual reservoir. The majority of the species were composed of small-bodied species that were abundant and dominant over large-bodied species. These small sized species had a body length less than 1 mm. Small-bodied species such as *Bosmina longirostris*, *Bominopsis deitersi*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Diaphanosom birger*, *Ceriodaphnia cornuta* and *Moina micura* were the dominant species. They occurred in all reservoirs less regarding of reservoir trophic states. Among large-bodied species, only *Daphnia hyaline* and *Leptodora kindti* can be found frequently in several oligotrophic or mesotrophic reservoirs. The average abundance of cladocerans was very low. In flood season, the average abundance was less than 10 ind./L in 14 investigated reservoirs, and ranged from 10 to 20 ind./L in 5 reservoirs. In dry season, the average abundance was less than 10 ind./L in 12 reservoirs, between 10 ind./L and 20 ind./L in 5 reservoirs, but reach 67 ind./L in 2 reservoirs; Gaozhou Reservoir and Hexi Reservoir. Because of the difference in food quality and quantity of zooplankton, the species composition and population abundance of cladocerans in reservoirs at different trophic states are different to some extent, however, the dominant species were almost the same in these reservoirs. The cladoceran's abundances were related to water retention time in the investigated. The abundance of cladocerans and their food concentration were significantly affected by flushing in the flow-through reservoirs. As most sampling sites are

* 教育部博士点基金(20050559004)和优秀回国人员基金联合资助. 2006-01-17 收稿; 2006-06-17 收修改稿. 陈绵润, 男, 1982年生, 硕士研究生; E-mail: cmrandy@126.com.

** 通讯作者; E-mail: tbphan@jnu.edu.cn.

located near dams, the species are mainly contributed by the pelagic group and the composition of species has a typical structure of tropical zooplankton. Cladocerans are dominated by small-sized species; the large sized species have a transparent body that is helpful to survive in high predation in tropical/subtropical reservoirs.

Keywords: cladoceran; tropical and subtropical; reservoir; distribution

枝角类是水域中最常见的浮游动物类群之一,是食物链中“下行效应”的关键因素,它们即可滤食浮游植物、细菌和碎屑等,同时也可作为鱼类和无脊椎动物等的饵料.因此,食物和被捕食共同影响着其种群的动态与分布^[1-6].食物的类型、质量和数量决定着枝角类种类组成和丰度^[7,8],而轮虫和桡足类等则是其利用食物的主要竞争者^[2,6].除生物因素外,日照和水温等生态因子能够影响枝角类的生殖、生长、摄食和垂直迁移等^[9],使具有不同适温范围的枝角类种类具有明显的纬度梯度分布.在热带亚热带地区,日照时间长使水体温度较高,热分层持久,浮游动物种群动态受水温的直接受影响较小,种类组成与温带地区有一定差别^[10-12].与温带地区相比,热带地区中单个水体的枝角类种类数较少,个体的体型偏小,蚤属(*Daphnia*)等大型枝角类在热带地区分布较少^[13-18].热带及热带亚热带地区的枝角类的种类数量和代表性种类方面一直存在较大的争议^[17].

枝角类的分布与水体性质有关^[19],河流和湖泊类型的枝角类组成具有较大差别(底栖性或浮游性),而水库具有河流和湖泊的性质,具备独特的枝角类分布^[20-23].水库中枝角类的分布与水库中的水流速度、营养物质输入和输出、枝角类行为和水文变化等有关^[24,25].

广东省地处热带向亚热带的过渡区域(北纬 $20^{\circ}14'$ – $25^{\circ}31'$,东经 $109^{\circ}40'$ – $117^{\circ}20'$),水库具有典型过渡带特征.国内外有关热带亚热带过渡地区水库枝角类的研究较少,与亚热带地区和温带地区相比,缺乏较为完整的基础数据^[26],其分布特征还不很清楚,我国目前还缺乏对该地区枝角类分布的报道.本文根据对广东19座水库的2次采样和3座流域特征较明显的水库的5年调查,初步探讨了广东省水库枝角类的组成特征,并探讨营养水平和水力滞留时间对枝角类分布的影响,为了解我国热带亚热带地区浮游动物的研究提供基础数据.

1 材料与方法

在广东省珠江流域水系的6个主要亚流域中选取19座代表性水库进行采样,一般在水库的入水口、库中和大坝附近设置采样点;对大型水库考虑采样条件,通常在大坝附近处采样,从总体上看,采样点更加代表敞水区,这直接影响到样品中枝角类种类的组成特征.水库的地理位置、基本概况和营养水平等详见表1^[23].

于2000年6–7月(丰水期)和11–12月(枯水期),在水库的湖泊区和河流区进行采样,其中对新丰江水库、飞来峡水库和流溪河水库进行较为长期的采样(2000–2004).枝角类定性样品用13[#]浮游生物网(113 μm)于水平及垂直方向拖网.定量样品在较深的水库湖泊区从表层0.5 m往下每隔1 m采取5 L水,在较浅水库以及各水库河流区从表层采水50–100 L至底层,所有样品用25[#]浮游生物网(64 μm)现场过滤,并用5%福尔马林固定.用1 ml记数框记数.

2 结果

2.1 种类组成

共鉴定出8科16属,24种(表2).第一年共采集到15种,后又检到9种.2000年的2次大规模调查,水库平均种类数为5–6种,平均每采样点4.6种,种类最少的水库是小坑水库,仅有3种(图2),最高是8种,分别是新丰江水库、白盆珠水库和飞来峡水库.在来的调查后陆续发现的9种中,新丰江水库1种,飞来峡水库7种,流溪河水库9种.相对而言,调查水库中采到的枝角类种类数较少,这可能与采样点设于开阔水域有关,这些种类主要为敞水区的种类(pelagic species),沿岸性以及底栖性种类很难得到较好的反映.另一方面,在19座水库大规模的调查,难以保障足够的采样频度,也可能性种类偏少的原因.



图1 水库地理位置

Fig. 1 The location of the investigated reservoirs

表1 水库基本概况

Tab. 1 Description of the investigated reservoirs, modified from Han B P *et al.* 2003^[23]

流域	水库	流域面积 (km ²)	最大库容 (10 ⁶ m ³)	正常库容 (10 ⁶ m ³)	最大水深 (m)	滞留时间 (d)	营养状态
东江	新丰江	5734.0	13980.0	10800.0	93.0	644	O
	白盆珠	856.0	1220.0	575.0	48.0	128	O
	沙田	26.8	21.7	14.2	27.1	24	O-M
北江	赤石径	14.1	14.9	12.4	27.4	<365	M
	小坑	139.0	113.2	54.3	-	135	M
	飞来峡	34000.0	1900.0	440.0	24.0	14	M
粤西沿海	高州	1022.0	1151.1	841.8	44.6	161	O-M
	大水桥	196.0	143.0	100.7	23.6	343	M-E
	鹤地	1495.0	1144.0	795.0	25.8	123	M-E
粤东沿海	公平	317.0	330.7	163.3	17.0	133	O-M
	赤沙	23.0	1.1	1.1	13.2	18	M
	河溪	40.9	17.9	15.8	31.0	125	M
珠江三角洲	汤溪	667.0	381.0	286.4	37.0	151	M
	流溪河	539.0	378.0	326.0	73.0	172	O-M
	大镜山	6.0	11.7	10.5	13.9	<365	M-E
	石岩	44.0	31.2	16.9	27.1	169	E
	契爷石	17.6	13.0	10.2	13.6	236	E
韩江	大沙河	217.0	258.1	156.8	15.8	180	M
	合水	600.0	115.0	30.4	14.0	39	M

* O、M、E 分别代表水库为贫营养状态、中营养状态、富营养状态。

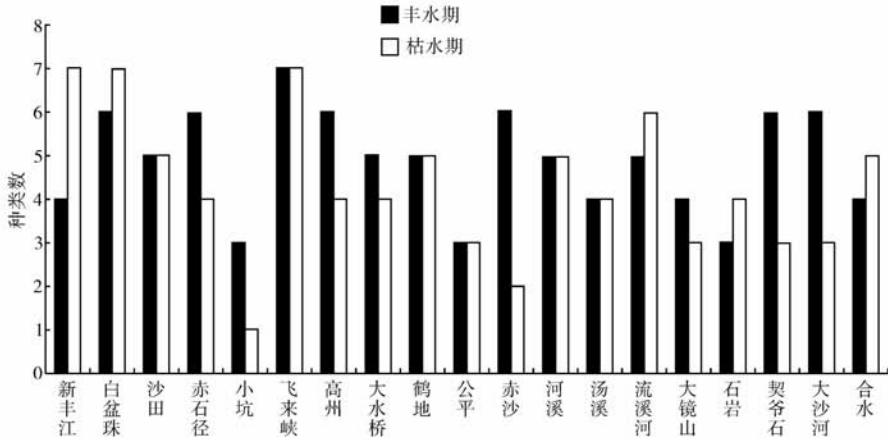


图 2 2000 年广东省 19 座水库枝角类的种类数
Fig. 2 Species numbers of cladocerans in 19 reservoirs in 2000

表 2 广东省 19 座典型水库枝角类种类组成和出现频率

Tab. 2 List of cladoceran species and frequency occurring in the investigated 19 reservoirs of Guangdong Province

种类	频率(座)	种类	频率(座)
象鼻溞科 Bosminidae		短钝溞 <i>D. obtusa</i> Kurz, 1874	1
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i> (O. F. Müller, 1785)	19	壳纹船卵溞 <i>Scapholeberis kingi</i> Sars, 1903	2
颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i> Richard, 1895	16	泥溞科 Ilyocryptidae	
盘肠溞科 Chydoridae		寡刺泥溞 <i>Ilyocryptus spinifer</i> Herrick, 1884	1
点滴尖额溞 <i>Alona guttata</i> Sars, 1862	3	薄皮溞科 Leptodoridae	
矩形尖额溞 <i>A. rectangula</i> Sars, 1861	4	透明薄皮溞 <i>Leptodora kindti</i> Focke, 1844	4
直额弯尾溞 <i>Camptocercus rectirostris</i> Schoedler, 1862	2	粗毛溞科 Macrothricidae	
圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1785)	3	多刺粗毛溞 <i>Macrothris spinosa</i> Herrick, 1884	1
吻状尖额溞 <i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	1	裸腹溞科 Moinidae	
环纹细额溞 <i>Oxyurella singalensis</i> (Daday, 1898)	1	微型裸腹溞 <i>Moina micura</i> Kurz, 1874	17
溞科 Daphniidae		直额裸腹溞 <i>M. rectirostris</i> (Leydig, 1860)	2
角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia cornuta</i> Sars, 1885	10	远东裸腹溞 <i>M. weismanni</i> Ishikawa, 1896	1
方形网纹溞 <i>C. quadrangula</i> (O. F. Müller, 1785)	3	仙达溞科 Sididae	
僧帽溞 <i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862	1	秀体溞 <i>Diaphanosoma birgeri</i> Korinek, 1981	11
透明溞 <i>D. hyaline</i> Leydig, 1860	5	短尾秀体溞 <i>D. brachyurum</i> (Lévein, 1848)	18
翼弧溞 <i>D. lumholtzi</i> Sars, 1885	1	晶莹仙达溞 <i>Sida cryotallina</i> (O. F. Müller, 1776)	1

分布最广的种类为长额象鼻溞 (*Bosmina longirostris*)、短尾秀体溞 (*Diaphanosoma brachyurum*)、微型裸腹溞 (*Moina micura*) 和颈沟基合溞 (*Bosminopsis deitersi*)，其中长额象鼻溞出现在所有调查的水库样品中，短尾秀体溞、微型裸腹溞和颈沟基合溞分别仅有在 1 座、2 座和 3 座水库样品中没有检测到 (表 2)。其次是秀体溞 (*Diaphanosoma birgeri*)、角突网纹溞 (*Ceriodaphnia cornuta*)、透明溞 (*Daphnia hyalina*) 和透明薄皮溞 (*Leptodora kindti*) 等，其中秀体溞 (*D. birgeri*) 和角突网纹溞分别在 12 座和 9 座水库的丰水期或枯水期出现；透明溞是滤食性较强的种类，在 5 座水库的枯水期的水样中出现，丰水期仅在 1 座水库出现；透明薄皮溞是猎食性的种类，在 4 座水库中出现。出现频率较低的是点滴尖额溞 (*Alona guttata*)、直额裸腹溞 (*M. rectirostris*)、方形网纹溞 (*C. quadrangula*)、圆形盘肠溞 (*Chydorus sphaericus*)、直额弯尾溞 (*Camptocercus rectiros-*

tris)、矩形尖额蚤(*A. rectangula*)和短钝蚤(*D. obtusa*),这些种类的出现的水库不多于4座。2001—2004年发现的种类有僧帽蚤(*Daphnia cucullata*)、翼弧蚤(*D. lumholtzi*)、吻状异尖额蚤(*Disparalona rostrata*)、寡刺泥蚤(*Ilyocryptus spinosa*)、多刺粗毛蚤(*Macrothris spinosa*)、远东裸腹蚤(*M. weismanni*)、环纹细额蚤(*Oxyurella singalensis*)、壳纹船卵蚤(*Scapholeberis kingi*)和晶莹仙达蚤(*Sida cryotallina*)。

在种类生态习性组成上,主要以广温性和嗜暖性种类为主(图3),典型嗜暖性种类是颈沟基合蚤、微型裸腹蚤、角突网纹蚤、短尾秀体蚤、秀体蚤(*D. birger*)、环纹细额蚤和壳纹船卵蚤。位于广东省北江的河流型水库——飞来峡水库的水样中检测到僧帽蚤、远东裸腹蚤2种嗜寒性种类;在白盆珠水库、飞来峡水库、流溪河水库和契谷石水库检测到分布南限为北纬30°的嗜寒性种类透明薄皮蚤^[9]。寡刺泥蚤是热带及亚热带地区特有种类,在飞来峡水库中出现。此外,从表2还可以看出,水库中枝角类以适合于敞水区为主,并有部分沿岸生活的种类。从出现频率来看,浮游种类分布较广,底栖种类则分布较少在种类大小组成上主要以小型个体居多,中型个体和大型个体较少^[14,27](图4)。其中大型个体是晶莹仙达蚤、透明薄皮蚤以及蚤属(*Daphnia*)中的4个种类,它们的成体体长均大于1 mm,其中晶莹仙达蚤的体长为1.5 mm左右,透明薄皮蚤为3.0—4.0 mm,蚤属的体长范围为1.0—1.5 mm,极少数体长大于1.5 mm以上。中型个体只有2种秀体蚤和2种裸腹蚤,它们的成体的体长约1 mm,多数个体的体长范围为0.68—1.0 mm,少数大于1.0 mm。小型个体共14种,体长普遍小于1.0 mm,体长范围为0.20—1.0 mm,长额象鼻蚤、颈沟基合蚤和微型裸腹蚤等分布频率高的种类体长很少超过0.5 mm,一般为0.3 mm左右。

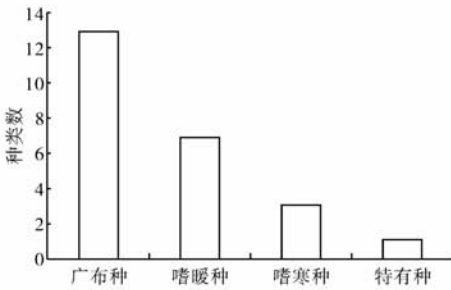


图3 不同适温范围的枝角类种类数量

Fig. 3 The species number related to eurythermal, thermophilic, psychrophilic and endemic species

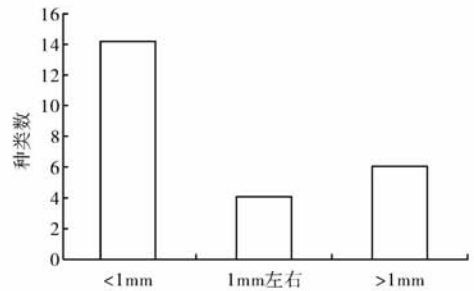


图4 不同体长的枝角类种类数量

Fig. 4 The species number related to body length of cladocerans

2.2 丰度与优势种

2.2.1 丰度 在丰水期和枯水期,枝角类的丰度变化范围分别为0—36.1 ind./L和0—117 ind./L(表3)。在丰水期,水库河流区和湖泊区中的枝角类的丰度小于5 ind./L的水库,各有10座(含小坑水库);丰度在5 ind./L和15 ind./L范围之间的水库,分别为5座和7座;丰度大于15 ind./L的水库,分别为4座和2座;小坑水库、高州水库、公平水库和契谷石水库等4座水库湖泊区的枝角类丰度最低,均小于0.01 ind./L;鹤地水库河流区中的枝角类的丰度最大,为36.1 ind./L。在枯水期,水库河流区和湖泊区中的枝角类的丰度小于5 ind./L的水库,分别为12座(含小坑水库)和9座;丰度在5 ind./L和15 ind./L范围之间的水库,分别为5座和4座;丰度大于15 ind./L的水库,分别为2座和6座;河溪水库河流区和湖泊区中的枝角类的丰度均为67.5 ind./L,高州水库湖泊区中的枝角类的丰度最大,为117 ind./L。

从图5中可看出,在丰水期,水库中的枝角类的平均丰度均小于20 ind./L,平均丰度最小的水库是小坑水库(小于0.01 ind./L),其次是契谷石水库和公平水库(均小于1 ind./L);最大平均丰度约20 ind./L,是鹤地水库、汤溪水库和大沙河水库。在枯水期,水库中的枝角类的平均丰度最小的水库是契谷石水库(0.13 ind./L),其次是小坑水库、石岩水库、飞来峡水库、白盆珠水库和新丰江水库(均小于1 ind./L);只有高州水库和河溪水库的枝角类的平均丰度大于20 ind./L,平均为67 ind./L,这是由于优势种群数量大幅度增加引起的。

2.2.2 优势种 长额象鼻蚤和颈沟基合蚤是最主要的优势种,其次是秀体蚤和角突网纹蚤,再次是微型裸

腹蚤(表3)。在丰水期和枯水期,长额象鼻蚤分别在6座和15座水库中占优势,在这些水库中,长额象鼻蚤的平均丰度范围为0.171–40.5 ind./L,最小值和最大值均出现在枯水期,分别是石岩水库和河溪水库;相对丰度范围为31.9%–100%;丰水期大沙河水库的相对丰度最小,枯水期小坑水库的相对丰度最大。在丰水期和枯水期,颈沟基合蚤分别在7座和2座水库中占优势,在这些水库中,颈沟基合蚤的平均丰度范围为0.64–9.28 ind./L,相对丰度范围为32.3%–100%,最小值和最大值均出现在丰水期,沙田水库的平均丰度和相对丰度均最小,汤溪水库的平均丰度最大,而相对丰度最大的是公平水库和赤沙水库。秀体蚤(*Diphanosoma* spp.)在丰水期的飞来峡水库、大水桥水库和契斧石水库以及枯水期的契斧石水库成为优势种,秀体蚤的平均丰度分别为4.28 ind./L、2.25 ind./L、0.21 ind./L和0.50 ind./L,分别占总丰度的65.3%、63.8%、100%和80%。角突网纹蚤是丰水期河溪水库和枯水期高州水库的优势种,河溪水库的角突网纹蚤种群数量在水库过渡区较高,丰度为3.8 ind./L,占总丰度的33.6%,水库湖泊区的数量极少,在枯水期河溪水库角突网纹蚤的平均丰度达12.0 ind./L,但此时长额象鼻蚤已成为绝对优势种;高州水库丰水期角突网纹蚤的丰度较低,其在该水库入水口的丰度仅0.7 ind./L,其在出水口的丰度不足0.01 ind./L,而在枯水期,角突网纹蚤在入水口的丰度为12.8 ind./L,出水口的丰度达93.5 ind./L,约占总丰度的80%。微型裸腹蚤虽然广泛分布,但仅在丰水期石岩水库成为优势种,该水库湖泊区微型裸腹蚤的丰度为25.2 ind./L,占总数的86.3%。

表3 枝角类的平均丰度和优势种*
Tab. 3 Average abundances of cladocerans and dominant species

水库	丰水期			枯水期		
	丰度(ind./L)		优势种	丰度(ind./L)		优势种
	河流区	湖泊区		河流区	湖泊区	
新丰江	0.67	2.10	长额象鼻蚤	0.29	1.13	长额象鼻蚤
白盆珠	7.20	8.78	颈沟基合蚤	0.13	0.88	长额象鼻蚤
沙田	1.96	2.00	颈沟基合蚤	15.00	7.88	长额象鼻蚤
赤石径	13.00	5.10	长额象鼻蚤	0.15	3.60	长额象鼻蚤
小坑	–	<0.01	–	–	0.20	长额象鼻蚤
飞来峡	1.90	11.20	秀体蚤	0.71	<0.01	长额象鼻蚤
高州	4.90	<0.01	长额象鼻蚤	17.25	117.00	角突网纹蚤
大水桥	4.15	2.90	秀体蚤	6.25	8.40	长额象鼻蚤
鹤地	36.10	3.00	长额象鼻蚤	1.73	30.50	长额象鼻蚤
公平	1.65	<0.01	颈沟基合蚤	9.00	4.50	长额象鼻蚤
赤沙	3.20	7.50	颈沟基合蚤	1.75	1.25	颈沟基合蚤
河溪	11.30	<0.01	角突网纹蚤	67.50	67.50	长额象鼻蚤
汤溪	15.85	25.60	颈沟基合蚤	13.00	24.00	长额象鼻蚤
流溪河	5.48	2.51	颈沟基合蚤	1.38	6.50	长额象鼻蚤
大镜山	6.60	10.70	颈沟基合蚤	5.10	5.20	长额象鼻蚤
石岩	4.33	29.20	微型裸腹蚤	0.35	0.23	长额象鼻蚤
契斧石	0.43	<0.01	秀体蚤	1.00	0.25	秀体蚤
大沙河	24.20	15.00	长额象鼻蚤	4.75	34.80	长额象鼻蚤
合水	24.00	9.00	长额象鼻蚤	0.90	23.00	颈沟基合蚤

* – 代表没有采样, <0.01 代表极少。

3 讨论

3.1 水库枝角类分布的区域特点

枝角类的不同种类对温度的有不同的适应能力,使不同枝角类种类有明显的纬度分布^[11,12].广东省地处热带亚热带地区,典型大中型水库枝角类种类组成主要以广布种、嗜暖种等小型浮游种类为主,它们广泛分布且为优势种.水库枝角类总种类数较少,其中溞属仅4种、裸腹溞属3种、网纹溞属2种,被视为热带典型代表种的秀体溞属仅有2种^[13,14,25],以秀体溞属为优势种的水库仅3座,溞属等大型枝角类以及常为温带优势种的圆形盘肠溞等种类在调查水库中有一定分布,但种类数量和丰度都很低.值得注意的是透明溞和薄皮透明溞能在广东省较南的区域分布,限制这些种类分布的因素还不清楚^[25].

广东省6个主要亚流域中,纬度最低是粤西沿海流域,调查水库为高州水库、鹤地水库和大水桥水库,该地区特征最靠近热带地区,夏季水温高且持续时间长,冬季平均水温也是所有流域中最高的地区.粤西沿海流域的3座水库中的枝角类的丰度略高于同营养水平条件下的其他水库.枝角类的平均种类数在6个亚流域中的差异不大,只有季节差异,丰水期为5.3种/水库,枯水期为4.3种/水库.纬度最高的北江流域位于南亚热带的北部,所调查水库为赤石径水库、小坑水库和飞来峡水库,相对于其他流域枝角类丰度较低.总体上,所调查的广东省水库枝角类的分布特征更趋向于热带特征,个体小且数量低.

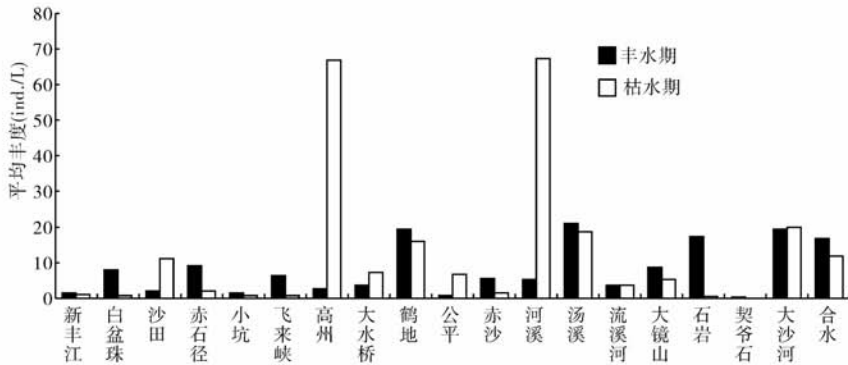


图5 水库中的枝角类的平均丰度

Fig. 5 Average abundance of cladocerans in 19 reservoirs

3.2 水力滞留时间对枝角类分布的影响

枝角类在水库中沿水流方向的分布明显受由水流速度、食物输出和枝角类迁出的影响^[24].水力滞留时间是影响枝角类食物供应量及周转速度的重要水动力学参数^[22].直流型水库(滞留时间 < 15 d)具有明显的河流特性,水流速度快、食物输出量大以及部分枝角类随着水流迁出水库,枝角类食物短缺,大多数枝角类不能在短滞留时间内完成繁殖周期以增加种群数量,使枝角类丰度低.枝角类的生存决定于其种群是否能繁殖足够多的数量以补偿数量的减少^[25,28],这类水库湖泊区枝角类数量远低于河流区.本文中,飞来峡水库为典型直流型水库,平均滞留时间14 d,丰水期该水库湖泊区枝角类总平均丰度为1.9 ind./L,河流区为11.2 ind./L.中滞留型水库(滞留时间为15-365 d)仍然受到水流速度快和物质输出过多的影响,丰水期,湖泊区的水文变化不稳定,河流区的食物输入相对较高.本文调查的水库有16座中滞留型水库,其中有12座水库在丰水期的河流区丰度高于湖泊区,而在枯水期有10座水库的河流区丰度明显低于湖泊区,这主要与枯水期降雨和河流入库水量较少有关,湖泊区却相对较稳定.而长滞留型水库(滞留时间 ≥ 365 d)中枝角类的种群的繁殖累积所受食物输出和个体迁出影响不大,水流将枝角类更多地带到水质条件稳定的湖泊区来,本文中的长滞留型水库,如新丰江水库和大镜山水库的湖泊区的丰度基本上都比河流区大,而赤石径水库丰水期例外.

3.3 捕食压力对枝角类个体大小分布的影响

鱼类对枝角类的捕食对个体大小有明显的选择性,通常在同等能耗下优先选择个体较大的浮游动

物^[27]. 当鱼类密度高时, 个体较大的枝角类种类和丰度都很低^[29,30]. 这一观点已在温带地区得到广泛支持, 也被认为是解释热带地区浮游动物个体小的主要原因之一^[27]. 广东省水库水产养殖比较普遍, 以鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*) 和罗非鱼 (*Tilapia* spp.) 等为主要养殖对象^[23,25,31], 枝角类是这些鱼类主要食物. Domaizon 等曾研究过白鲢滤食对枝角类的影响, 发现溞属等大型枝角类比象鼻溞属等小型枝角类的影响更为显著^[32]. 大型枝角类是捕食者的优先选择对象, 且在与鲢鳙等对浮游植物滤食竞争中处于不利位置, 不利于其种群数量的积累. 因此, 鱼类或无脊椎动物的捕食行为在一定程度上减少了小型枝角类 (< 1 mm) 的种外竞争压力^[1,19]. 在本文中, 种类组成和丰度上均以小型种类占绝对优势, 而大型种类仅 6 种, 其中除了透明溞和透明薄皮溞的分布频率分别为 5 和 4 座外, 其他 4 种的频率均为 1 座, 且丰度均很低, 为 0 - 0.25 ind./L. 在热带及亚热带水库, 除了养殖的鱼类外, 自然水体中的野杂鱼通常具有很大的种群数量, 这些鱼类个体小, 他们能够常年繁殖, 主要以浮游动物为食物, 他们对浮游种群影响可能比预想要大得多. 在广东省水库中, 能够成为优势种类的浮游动物通常具有明显的特点: 个体小且具相对坚硬的外壳来逃避捕食, 如长额象鼻溞和颈沟基合溞; 个体稍大的浮游动物身体透明, 如秀体溞.

3.4 不同营养类型水库枝角类的分布特点

水库的营养类型对枝角类生存与分布的影响^[33], 主要通过影响其食物的类型、质量、大小和浓度^[7,8]. 富营养化条件下, 通常叶绿素浓度、有机悬浮颗粒含量和细菌数量等较高, 透明度低. 热带亚热带地区的富营养化水库, 藻类以难消化的蓝藻为主, 特别是丝状蓝藻占优势^[23], 食物质量较差. 小型枝角类以小型个体的单细胞藻类、细菌和有机碎屑为食, 一般不以较大型的丝状藻类为食, 使其免受大型蓝藻群落影响, 使它们在富营养化水体中处于有利位置^[3]. 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和颗粒, 当发生蓝藻水华时, 溞属等大型个体枝角类的滤食受到限制, 其生长受抑制. 所调查水库中, 3 座富营养程度较高的水库中没有出现大型个体, 并且枝角类总丰度较低, 最高的是石岩水库在丰水期, 但这是由于小型种类微型裸腹溞数量多. 长额象鼻溞、颈沟基合溞、微型裸腹溞和秀体溞通常为富营养化水体的优势种, 它们均通过滤食细菌和有机碎屑而占优势, 同时前三者繁殖率高, 而秀体溞逃避捕食的能力较强^[4], 因此这 4 种不仅分布的频率高且是不同营养水平下的优势种 (表 2, 表 3).

贫营养条件下, 浮游植物以硅藻 - 甲藻、硅藻 - 金藻或硅藻 - 绿藻等组合为主^[23,31], 藻类细胞个体相对细菌和有机颗粒大, 比较适合滤食效率较强的大型枝角类生存. 在所调查水库中, 大型枝角类透明溞出现在 3 座贫营养型、贫 - 中营养型的水库和 2 座中营养型的水库中, 其他溞属也只出现在贫 - 中营养型的水库. 从总体上看, 由于贫营养化水体叶绿素浓度低, 食物不足, 枝角类丰度小. 大型猎食性枝角类透明薄皮溞以原生动、轮虫及小型甲壳类动物为食^[5,34], 主要出现在贫、中营养水体中, 但由于食物数量的限制, 其种群数量很低.

致谢: 野外采样得到水库相关人员的支持和帮助, 暨南大学水生生物研究所水库组的老师和同学协助完成采样与枝角类的定性和计数等, 在此一并感谢.

4 参考文献

- [1] Korponai J, Paulovits G & Matyas K *et al.* Long-term changes of cladoceran community in a shallow hypertrophic reservoir in Hungary. *Hydrobiologia*, 2003, **504**:193 - 201.
- [2] Horn W. Long-term development of the crustacean plankton in the Saldenbach Reservoir (Germany)-changes, causes, consequences. *Hydrobiologia*, 2003, **504**:185 - 192.
- [3] 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.
- [4] Yang Y F, Huang X F & Liu J K. Long-term changes in crustacean zooplankton and water quality in a shallow, eutrophic Chinese lake densely stocked with fish. *Hydrobiologia*, 1999, **391**:195 - 203.
- [5] 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.

- [6] García P R, Nandini S & Sarma S S S *et al.* Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico). *Hydrobiologia*, 2002, **467**: 99 – 108.
- [7] Ferrão-Filho A S, Arcifa M S & Fileto C. Resource limitation and food quality for cladocerans in a tropical Brazilian lake. *Hydrobiologia*, 2003, **491**: 201 – 210.
- [8] Ferrão-Filho A S, Demott W R & Tessier A J. Responses of tropical cladocerans to a gradient of resource quality. *Freshwater biology*, 2005, **50**: 954 – 964.
- [9] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979.
- [10] Lewis W M. Tropical lakes: how latitude makes a difference. *Perspectives in Tropical Limnology*, 1996: 43 – 64.
- [11] Lewis W M. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 2000, **5**: 35 – 48.
- [12] Lewis W M. Tropical limnology. *Ann Rev Ecol*, 1987, **18**: 159 – 184.
- [13] Fernando C H. The Freshwater Zooplankton of Sri Lanka, with a Discussion of Tropical Freshwater Zooplankton Composition. *Int Revue Ges Hydrobiol*, 1980, **65**(1): 85 – 125.
- [14] Fernando C H. The species and size composition of tropical freshwater zooplankton with special reference to the oriental region (South East Asia). *Int Revue Ges Hydrobiol*, 1980, **65**(3): 411 – 426.
- [15] Dussart B H, Fernando C H & Matsumura-Tundisi T *et al.* A review of systematics, distribution and ecology of tropical freshwater zooplankton. *Hydrobiologia*, 1984, **113**(1): 77 – 91.
- [16] 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.
- [17] Dumont H J. On the diversity of the cladocera in the tropics. In: Dumont H J, Tundisi J G, eds. Tropical zooplankton. Development in Hydrobiology: *Hydrobiologia*, 1994.
- [18] Crisman T L & Beaver. Applicability of planktonic biomanipulation for management in eutrophication in the subtropics. *Hydrobiologia* 1990, **200/201**: 177 – 185.
- [19] Nogueira M G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), Sao Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, **455**: 1 – 18.
- [20] Kimmel B L, Lind O T & Paulson L J. Reservoir primary production. In: Thornton K W, Kimmel B L & Payne F E, eds. Reservoir limnology: Ecological perspectives. New York: John Wiley & Sons Inc, 1990.
- [21] Marzifk G R. Reservoirs as environments for zooplankton. In: Thornton K W, Kimmel B L & Payne F E, eds. Reservoir limnology: Ecological perspectives. New York: John Wiley & Sons Inc, 1990.
- [22] 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.
- [23] 韩博平, 李 铁, 林旭钊. 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, 2003.
- [24] Bini L M, Tundisi J G & Tundisi T M *et al.* Spatial variation of zooplankton groups in a tropical reservoir (Broa Reservoir, Sao Paulo State-Brazil). *Hydrobiologia*, 1997, **357**: 89 – 98.
- [25] Lin Q Q, Duan S S & Hu R *et al.* Zooplankton Distribution in Tropical Reservoirs, South China. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 2003, **88**(6): 602 – 613.
- [26] Aka M, Pagano M & Saint-Jean L *et al.* Zooplankton variability in 49 shallow tropical reservoirs of Ivory Coast (West Africa). *Internat Rev Hydrobiol*, 2000, **85**(4): 491 – 504.
- [27] Hall D J, Threlkeld S T & Burns C W *et al.* The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1976, **7**: 177 – 208.
- [28] Sa-arndrit P & Beamish F W H. Cladocera diversity, abundance and habitat in a Western Thailand Stream. *Aquatic Ecology*, 2005, **39**: 353 – 365.
- [29] Korponai J, Matyas K & Paulovits G *et al.* The effect of different fish communities on the cladoceran plank-

- ton assemblages of the Kis-Balaton Reservoir, Hungary. *Hydrobiologia*, 1997, **360**: 211 – 221.
- [30] Swierzowski A, Godlewska M & Poltorak T. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina reservoir, Poland. *Aquat Living Resour*, 2000, **13**: 373 – 377.
- [31] 林秋奇, 胡 韧, 段舜山等. 广东省大中型供水水库营养现状及浮游生物响应. *生态学报*, 2003, **23** (6): 1101 – 1108.
- [32] Domaizon I & Devaux J. Impact of moderate silver carp biomass gradient on zooplankton communities in a eutrophic reservoir. Consequences for the use of silver carp in biomanipulation. *Life Sciences*, 1999, **322**: 621 – 628.
- [33] Pinto-Coelho R M. Effects of eutrophication on seasonal patterns of mesozooplankton in a tropical reservoir: a 4-year study in Pampulha Lake, Brazil. *Freshwater Biology*, 1998, **40**: 159 – 173.
- [34] 梁象秋, 方纪祖, 杨和荃. *水生生物学(形态与分类)*. 北京: 中国农业出版社, 2000.