

南亚热带河流型水库浮游植物群落的变化： 以广东飞来峡水库为例

何国全, 雷腊梅, 韩博平*

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要:于2003年4-12月调查了广东省飞来峡水库的水文、营养盐分布状况和浮游植物种类与数量,分析了浮游植物群落的种类及数量组成与动态特征,探讨了其动态变化的驱动因子。结果表明,飞来峡水库是一个典型的河流型大型水库,水力滞留时间短,年均值低于15d;降雨量主要集中于夏季,最短水力滞留时间只有8d。水温全年没有分层现象。丰水期营养盐和叶绿素a高于枯水期。浮游植物生物量低,细胞密度在 21.7×10^3 - 808×10^3 cells L⁻¹之间变化,没有超过 10^6 cells L⁻¹,叶绿素a的平均浓度为 $2 \mu\text{g L}^{-1}$ 。浮游植物种类较多,4次采样共检到140种。种类组成上有较大变化,4月份有83种,以硅藻为主;7月和9月超过90种,以绿藻为主;12月有51种,蓝藻、绿藻和硅藻种类数量相当。优势种类的构成上与温带水库不同,硅藻仅在低水温时期为优势类群,而在丰水期则以蓝藻、绿藻和硅藻共同占优势。硅藻的主要优势种是变异直链藻(*Melosira varians*)、梅尼小环藻(*Cyclotella menighiniana*)和针杆藻(*Synedra* spp.)。绿藻种类组成季节变化较大,没有明显的优势种类。丰度相对较高的有美丽胶网藻(*Dictyosphaerium pulchellum*)、集星藻(*Actinastrum hantzschii*)和空球藻(*Eudorina elegans*)等。蓝藻的优势种以粘球藻(*Gloeocapsa* sp.)、优美平行藻(*Merismopedia elegans*)和伪鱼腥藻(*Pseudoanabaena* sp.)为主。与绿藻不同的是蓝藻的优势种在全年均可出现。隐藻只在水力滞留时间较长、温度较低的12月份占优势,主要优势种为嗜蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*)、尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)。

关键词:浮游植物;河流型水库;飞来峡水库;广东省

中图分类号:Q948.881.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3395(2006)03-0183-07

Seasonal Variation in Phytoplankton Community in a Tropical Riverine Reservoir: A Case Study of Feilaixia Reservoir

HE Guo-quan, LEI La-mei, HAN Bo-ping*

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Phytoplankton, water quality and hydrology in Feilaixia reservoir, Guangdong, were investigated to understand temporal pattern of phytoplankton community. The reservoir, located in the southern tropic region, is a typical riverine reservoir with a short residence time, averaging 15 days a year. Total cell abundance of phytoplankton was measured to be less than 10^6 cells L⁻¹, and the concentration of chlorophyll a varied between 1 and $5 \mu\text{g L}^{-1}$. In total, 140 taxa were observed in all samplings in various seasons, in April 83 taxa, in July 92, in September 96 and in December 51. The variation in species composition of phytoplankton was mainly contributed by green algae and diatoms. In the dry season, diatoms were the important groups, which were mainly composed of *Melosira varians*, *Cyclotella menighiniana* and *Synedra* spp.. Cryptophyta were the most important groups,

收稿日期:2005-11-10 接受日期:2006-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(39900022);广东省水文局重点项目(GDSW0302)资助

* 通讯作者 Corresponding author

dominated by *Cryptomonas erosa* and *Chroomonas acuta*, which appeared in relatively long residence time of water in reservoir (67 days) in December. Green algae, cyanophyta and diatoms were rich in flood season with high water temperature and high nutrient concentration. However, there was no significant differences in seasonal composition of green algae, in which no obvious dominant species were observed. Such green algae were *Dictyosphaerium pulchellum*, *Actinastrum hantzschii* and *Scenedesmus bijuga*. The cyanophyta were dominated by *Gloeocapsa* sp., *Merismopedia elegans* and *Pseudoanabaena* sp..

Key words: Phytoplankton; Riverine reservoir; Feilaixia Reservoir; Guangdong Province

水库是通过人工筑坝形成的半人工半自然水体,根据水库的形态可分为河流型、山谷型和平原型三种类型,它们的水动力学有着较大的差别,其中河流型水库的滞留时间最短^[1]。目前多数水库都具有供水任务,水质管理中突出的问题是富营养化。高纬度地区水库浮游植物的组成与动态已有大量研究,而对热带及南亚热带的研究相对薄弱^[2-3]。由于水库在形态上兼有河流和湖泊的性质,水库浮游植物种类及数量的组成上有明显的空间异质性。在不同的水库,浮游植物的异质性产生的原因不同^[4-5]。如在温带地区,水温和光照是时间异质的主要驱动力,而空间上的异质则主要是由于库盆的结构差别产生的^[6-7]。在热带地区及南亚热带,水温的季节差别较小,时间上的异质性主要是由于水动力条件产生的^[8]。河流型水库因其水力滞留时间短,水文特征更接近河流,通常浮游植物种类数量少,生物量低,优势种类一般以硅藻为主^[9]。但这些结论主要来自对高纬度地区水库的研究,对热带地区水库的研究报道较少。

飞来峡水库地处广东省北江中下游,是区域防洪体系中最重要水利枢纽,为位于热带北缘的典型河流型水库,其主要功能是航运、发电、供水等。由于工农业生产和人口的增加,广州珠江河段水源污染日益严重,飞来峡水利枢纽作为离广州较近的大型水库是广州潜在的供水水源地^[10]。本文报道这一水库的水文理化参数以及浮游植物的组成与分布,探讨该水库浮游植物群落种类组成与数量的动态特征,为该水库及相似水体的富营养化控制与水质管理提供理论与数据参考。

1 水库概况

飞来峡水库兴建于 1994 年,1997 年蓄水。水库坝址以上控制面积 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,占北江流域总面积

的 73%,水库库容为 $19 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。水库面积 70.3 km^2 ,全长 73 km,最宽处 2 km,最窄处仅有 178 m。平均滞留时间小于 15 d,为典型的河流型水库。

2 采样和分析方法

在飞来峡水库共设置 3 个采样点:大坝、横石和大庙峡,每个采样点间距 2 km。采样时间由 2003 年 4 月开始,12 月结束,共采样 4 次。调查方法:(1)现场用塞氏盘测定水体透明度,用 YSI85 型水质仪现场测定水温、pH。(2)浮游植物:定性样品用 25 号浮游植物网拖取;定量样品从表层 0.5 m 处采取 1 L 水,现场用福尔马林固定,浓度为 5%,带回实验室静置沉淀,浓缩计数。(3)营养盐:采取表层 0.5 m 处的水样,带回实验室按标准方法^[11]测定 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 等指标。(4)叶绿素浓度测量参考林少君等改进的方法^[12];(5)水文数据由飞来峡水库管理处提供。

3 结果和分析

3.1 水文状况

飞来峡年平均降雨量在 2 200 mm 左右,降雨量季节性差异较大,主要集中在 7、9 月的丰水期,最大降水量出现在 7 月份,达到 448 mm;最小降水量在 12 月份,仅有 3 mm。出库流量月平均的波动范围在 $54.9\text{--}488 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$,7 月最高,12 月最低,出库流量与降水的季节变化一致。飞来峡的水位波动不大,在 21.37–23.96 m 间变化。水体流速快,平均水力滞留时间 15 d,但枯水期(4、12 月)出流量少,水力滞留时间明显增加,在 7 月份,滞留时间最短,仅为 8 d,而 12 月份达 67 d。飞来峡水库月平均水温在 10–37.5℃,采样期间测得的水温在 13.5–29.7℃。由于水库的水力滞留时间短,在丰水期和枯水期都无垂直分层现象(图 1)。

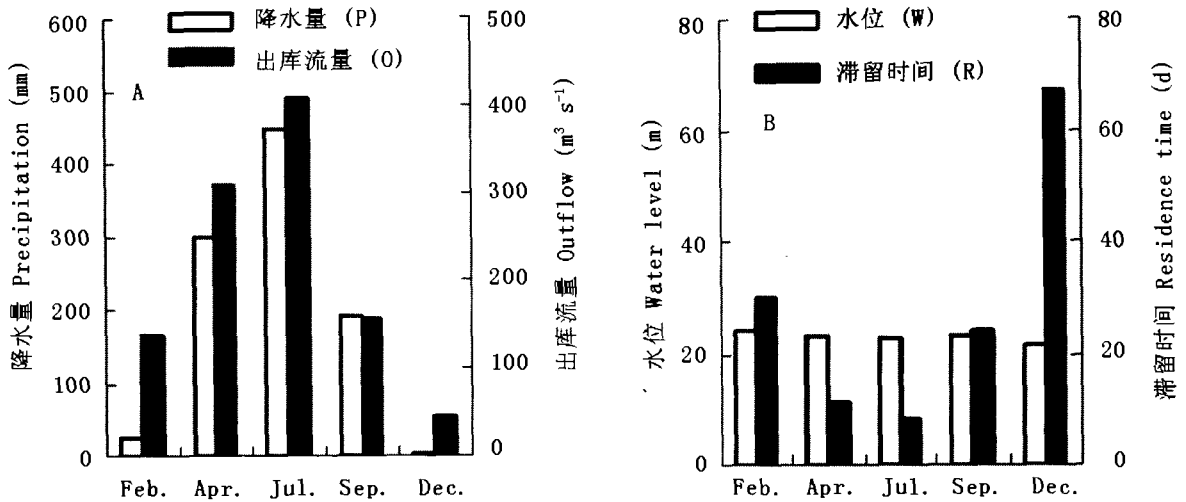


图 1 飞来峡水库 2003 年水文动态

Fig. 1 Fluctuation of hydrological variables in Feileixia reservoir in 2003

A: 降雨量和出库流量 Precipitation (P) and outflow (O); B: 水位和滞留时间 Water level (W) and residence time (R)

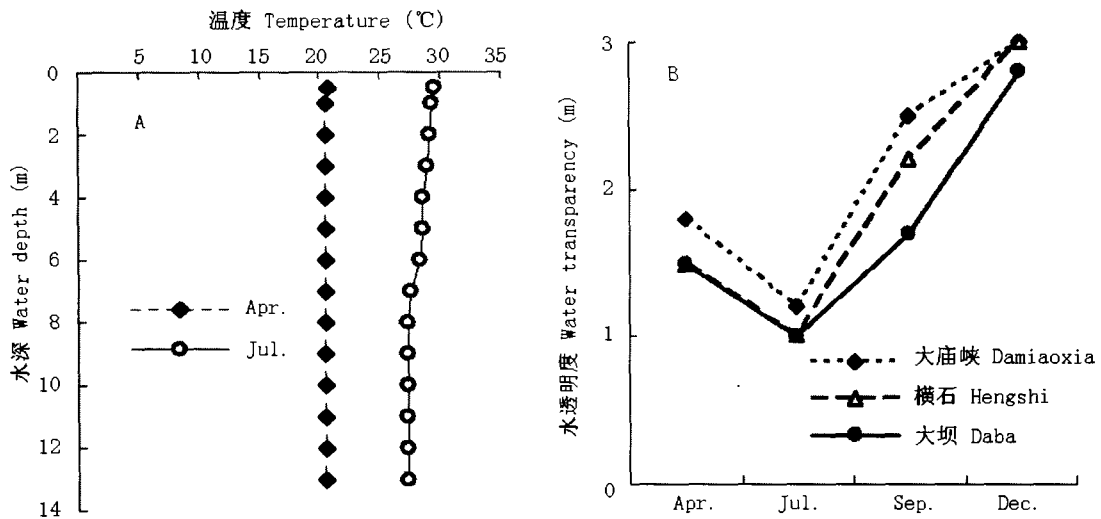


图 2 大坝水温度垂直分布 (A) 和 3 个采样点的水透明度变化 (B)

Fig. 2 Thermal profiles in water near dam in April and July (A) and variation of water transparency at three sampling sites in Feilaixia reservoir

3.2 水质状况及其营养状态

pH 值变化较小,在 6.5-7.78 之间。水体透明度在 1-3 m 之间,7 月份最低。从大庙峡到大坝有纵向的梯度分布,透明度逐渐升高(图 2)。3 个采样点上的营养盐浓度没有显著的差异,表 1 是每次采样的平均值,营养盐存在较为明显的季节变化,氮与磷的变化不同。总氮 (TN) 在 7 月份最高,为 1.769 mg, 12 月为 1.368 mg,而在 4 月份和 9 月份相对较低,不超过 1 mg。NO₃-N、NO₂-N 与 TN 有相

似的动态。枯水期 NH₄-N 浓度与 TN 趋势不一致。丰水期的 PO₄-P 浓度明显高于枯水期,7 月份最高,PO₄-P 的平均浓度为 3.4-75.6 μg L⁻¹ 之间;总磷 (TP) 除 7 月份采样时未检测到外呈下降趋势。飞来峡水库叶绿素 a 浓度较低 (图 3),7 月份最高,最低值出现在 12 月。叶绿素 a 与透明度呈负相关,但相关性不高 (r²=0.3226)。而根据营养状态指数^[11] 计算,4 次结果分别为 45、49.67、40.85 和 33.75,在 30-50 之间,可知飞来峡水库的营养程度为中-富

表 1 2003 年飞来峡水库营养盐动态 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

Table 1 Dynamics of nutrient concentration ($\mu\text{g L}^{-1}$) in Feilaixia reservoir in 2003

	Apr.	Jul.	Sep.	Dec.
总氮 Total N (TN)	571.3	1769	832	1368
NO ₃ -N	93.2	755.4	567	675.6
NO ₂ -N	37	47.3	9.1	12.4
NH ₄ -N	61	42.67	58.1	177.1
PO ₄ -P	14.2	33.43	8	4.1
总磷 Total P (TP)	62.8	ND	18.8	6.6

ND= 没有检测出 Not detected

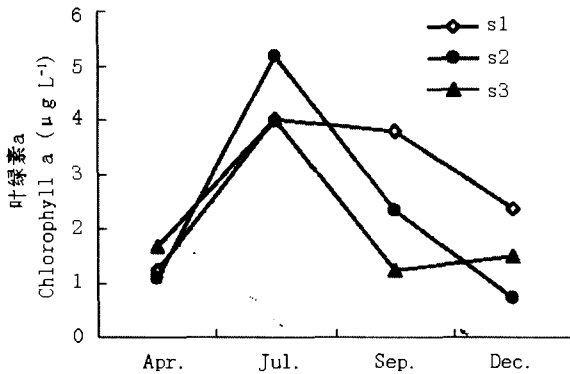


图 3 叶绿素 a 的动态变化

Fig. 3 Temporal variation of chlorophyll a (Chl a) at three sampling sites in Feilaixia reservoir

s1: 横石 Hengshi; s2: 大庙峡 Damiaoxia; s3: 大坝 Daba

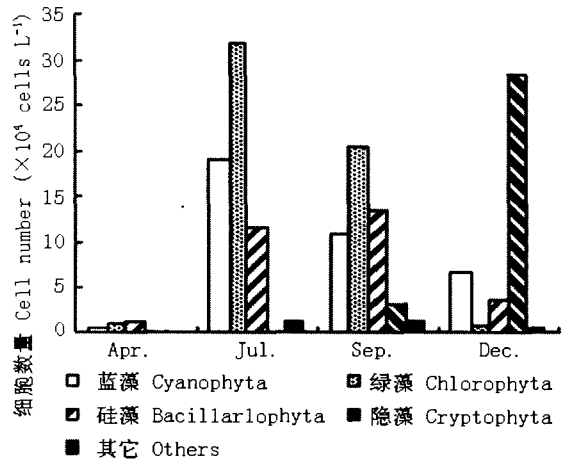


图 4 飞来峡水库浮游植物数量丰度分布

Fig. 4 Distribution of phytoplankton abundance in Feilaixia reservoir in 2003

营养水平。

3.3 浮游植物群落组成与数量变化

3.3.1 种类组成

4 次采样共检测到浮游植物 140 种, 其中绿藻 73 种, 硅藻 40 种, 二者占总种类数的 80% 以上; 蓝藻 14 种, 其它藻类种类较少, 只有 13 种。表 2 给出

了每次采样浮游植物的种类数量和组成。7 月份和 9 月份的种类较多, 超过 90 种, 12 月份种类最少, 只 51 种。4 月份为 83 种。在种类组成上, 4 次采样的蓝藻种类数变化较小, 出现的种类多数常年均有出现。硅藻和绿藻的种类数和组成变化较大, 是导致浮游植物种类数量与组成变化的主要来源。硅藻的种类最多出现于 4 月份的采样中, 有 35 种, 7 月、

表 2 飞来峡水库浮游植物组成的变化

Table 2 Species numbers and composition of phytoplankton in Feilaixia reservoir in 2003

时间 Time	种数 No. of species							总数 Total
	蓝藻 Cyanophyta	绿藻 Chlorophyta	硅藻 Bacillariophyta	甲藻 Pyrrophyta	裸藻 Euglenophyta	金藻 Chrysophyta	隐藻 Cryptophyta	
Apr.	12	28	35	3	3	1	1	83
Jul.	14	54	19	3	0	1	1	92
Sep.	12	55	21	4	1	1	2	96
Dec.	10	16	19	2	1	1	2	51

9月和12月份的种类组成差别不大,约有20种,与硅藻不同,绿藻种类数量最多出现在7月和9月,近55种,其次是4月28种,12月最少,16种。

3.3.2 数量分布

浮游植物的数量不大,具有明显的季节变化。3个采样点之间差异不明显,大坝比横石和大庙峡的浮游植物数量略多。如图4所示(3个采样点的平均值),浮游植物细胞数量最高出现在7月份,达 $63.55 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$ 。4月份浮游植物的细胞数量最低。

从飞来峡水库不同时期出现的浮游植物细胞数量看,4月份硅藻占优势,7、9月份蓝藻、绿藻和硅藻共同占优势,而12月份隐藻占优势。绿藻7月份的细胞数量达 $31.86 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$,占总细胞数量的50%以上。蓝藻细胞数量在7、9月份也显著高于4月份和12月份,7月份蓝藻细胞数量达 $18.87 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$,最低数量出现在丰水期来临之前的4月份。4月份硅藻的种类多且占绝对优势,但数

量为全年最低。在7月份和9月份,硅藻与绿藻和蓝藻共同成为优势类群,但优势度低于蓝藻和绿藻。12月份占优势的隐藻细胞数量达到 $28.38 \times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$,而在其它的采样时期,隐藻的丰度都不高。其它藻类分布较少,甲藻在7月份采样时也有一定的数量,主要以微小多甲藻(*Peridinium pusillum*)为主。

3.3.3 优势浮游植物种类与动态

绿藻的种类组成变化很大,很少有常年优势种存在。它们的优势度主要体现在7月份和9月份。如图5所示(3个采样点的平均值),空球藻(*Eudorina elegans*)、实球藻(*Pandorina morum*)、美丽胶网藻(*Dictyosphaerium pulchellum*)、集星藻(*Actinastrum hantzschii*)等为主要优势种,其中集星藻和美丽胶网藻除在夏季成为优势种外,它们在12月也是绿藻的优势种,4月份的水样没有检测到,可能与4月浮游植物的细胞数量极低有关。这2个种有可能在正常年份成为水库中的常年优势种。绿

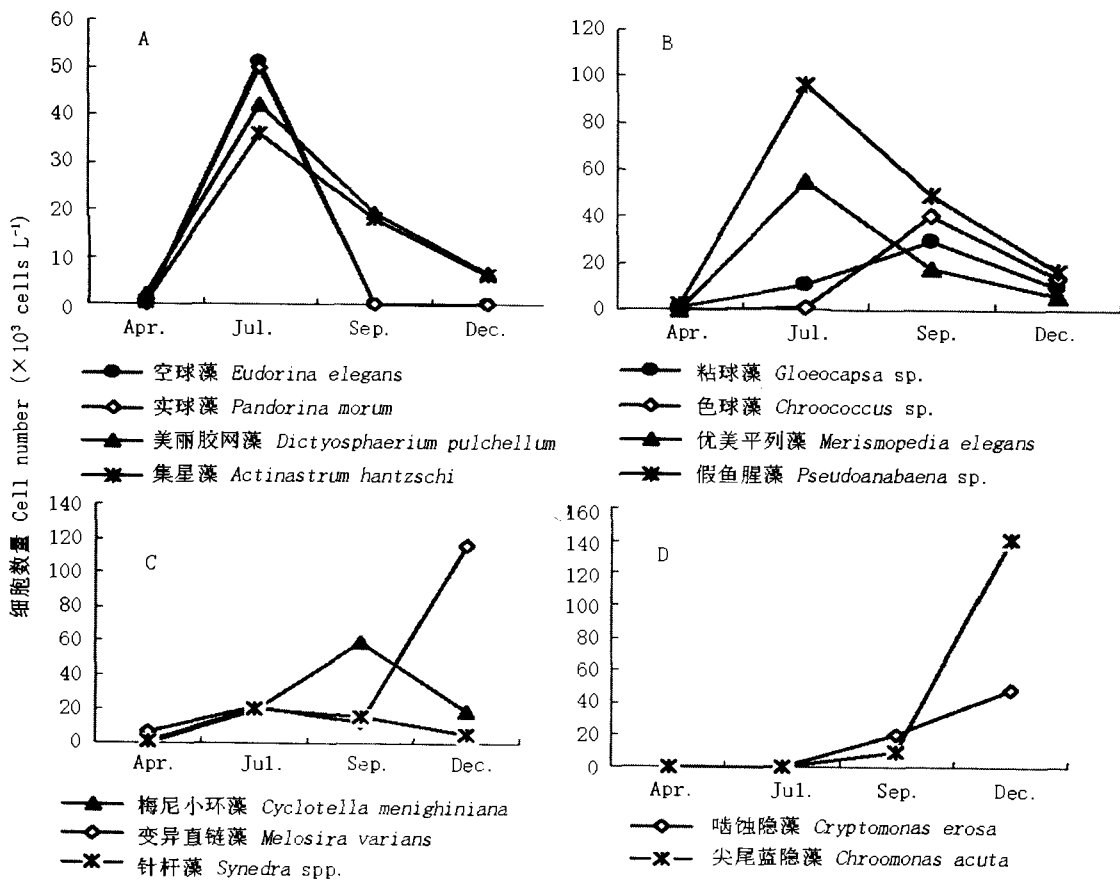


图5 绿藻(A)、蓝藻(B)、硅藻(C)和隐藻(D)主要优势种的变化动态

Fig. 5 Temporal variation of abundance for dominated species of Chlorophyta (A)、Cyanophyta (B)、Bacillariophyta (C) and Cryptophyta (D)

藻优势种均在 7 月份时达到密度的最大值,以空球藻和实球藻的丰度最高,分别达 $60 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$,但这两个种在其它采样时期数量急剧减少。

蓝藻的主要优势种为假鱼腥藻 (*Pseudoanabaena* sp.)、优美平列藻 (*Merismopedia elegans*)、色球藻 (*Chroococcus* sp.) 和粘球藻 (*Gloeocapsa* sp.)。假鱼腥藻、优美平列藻和后两种优势种在数量上有不同的变化特点。假鱼腥藻和优美平列藻主要出现在 7 月份,而色球藻和粘球藻的最高密度出现在 9 月。与绿藻优势种不同的是,蓝藻优势种在全年以较高的数量出现。

梅尼小环藻 (*Cyclotella menighiniana*)、变异直链藻 (*Melosira varians*) 和针杆藻 (*Synedra* sp.) 是硅藻的优势种,变异直链藻的细胞数量在 12 月份达到 $116 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$,梅尼小环藻和针杆藻的最大细胞数量出现在 9 月份,分别为 $59.5 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 和 $19.2 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 。硅藻的优势种常年均有出现。

12 月份占主要优势的为隐藻,只有 2 种,为啮蚀隐藻 (*Cryptomonas erosa*) 和尖尾蓝隐藻 (*Chroomonas acuta*),但细胞数量分别达到 $47.9 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 和 $140.9 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$,占浮游植物总细胞数量的 90% 以上。在其它采样时间隐藻细胞数量较低。

4 讨论和结论

飞来峡水库作为一个典型的河流型水库,水温全年没有分层现象;从营养盐浓度来看,该水库为中-富营养水平,但浮游植物生物量低,全年叶绿素 a 的浓度几乎都低于 $5 \mu\text{g L}^{-1}$,浮游植物的细胞数量也不高,均低于 $10^6 \text{ cells L}^{-1}$;但浮游植物种类多,全年共出现 140 种,在 4-9 月的 3 次采样中,均超过 80 种,只是在水温较低的 12 月只发现 38 种。浮游植物的优势种类具有明显的季节变化,在夏季由绿藻、蓝藻和硅藻为主要优势类群,而在春冬季则以硅藻为优势类群。日本的 Sapporo 水库建成后 4 a,浮游植物春季的优势类群为金藻和硅藻;夏季主要以绿藻占优势;而秋季又以甲藻的种类为主。以上特点,与飞来峡水库有所差别,这种差异主要体现在种类数量和优势种类上^[13]。

影响水库浮游植物组成和数量季节性变化的主要有生物和非生物因素^[14]。对于河流型的飞来峡水库来说,由于没有人工养殖或放养,浮游动物和滤食性鱼类的生物量低,难以显著地影响浮游植物

的生物量^[15]。因此非生物因素成为影响该水库浮游植物群落的主要因素。在热带地区,温度和光照的季节性变化不如温带地区明显,但流域的水文季节性变化可引发浮游植物群落的季节性变化^[8]。在水动力学参数中,水温和滞留时间直接影响浮游植物的生长和生物量的积累。

降水增加有利于入库营养盐水平的提高,促进浮游植物的生长和生物量的增加,但水力滞留时间会随水库出库流量的增加而下降。飞来峡水库是河流型水库,其出库水量主要由降雨量形成的入库水量决定。降水量增加,必然导致水力滞留时间的减少,而较快的水流使浮游植物飘到下游,不利浮游植物生物量的积累。飞来峡水库与几乎同纬度的流溪河水库(滞留时间为 120 d)相比^[16],营养状态更高,在种类组成上,有更多的硅藻种类;而浮游植物细胞数量比流溪河水库河流区稍低,且远低于其湖泊区,这反映了水力滞留时间对浮游植物数量的影响。在滞留时间较长的水库(大于 100 d),营养盐及浮游植物的分布具有明显的空间异质性^[1]。飞来峡水库的滞留时间短,水体常年均匀混合,3 个采样点的水质参数和浮游植物都没有显著的差异。可见,水库的水动力学性质不仅影响水库浮游植物的组成和数量,也影响其空间分布。

水温的升高有利于绿藻和蓝藻的生长^[17],夏季飞来峡水库滞留时间最短,此时的浮游植物的细胞数量最高,这从一个方面反映出水温对浮游植物的影响。与营养水平相近的温带新安江水库相比^[18],从 1998-2000 年的浮游植物调查结果看,新安江水库浮游植物结构从春季到冬季季节性优势种群分别为隐藻-蓝藻-硅藻-硅藻。飞来峡水库在 2003 年 12 月份采样时温度只有 10°C ,与新安江水库春季的水温接近,隐藻成为此时的优势种群。

水库水动力特征对浮游植物丰度的影响主要是通过通过对优势种类的数量变化来实现的^[9]。蓝藻在水温较高的夏季是主要的优势类群之一,其丰度主要由粘球藻、假鱼腥藻、色球藻和优美平裂藻等少数优势种类决定,这些种类通常出现于富营养化水体,适合于高温条件。夏季的高温和高营养盐浓度是导致蓝藻丰度增加的原因^[2-3]。由于这些种类对高水温和高营养盐的需求,很难在飞来峡水库中成为全年主要优势种类。

绿藻也是在夏季成为主要的优势类群,相比之

下, 种类的变化动态更为复杂。空球藻、实球藻、美丽胶网藻等主导了夏季绿藻的丰度, 对营养盐和水温的响应与蓝藻有相似性, 由于绿藻种类数量多, 有少数绿藻在低水温时期仍能保持一定的丰度。但低水温时期, 优势地位已由隐藻占据。

硅藻在枯水期和丰水期均有较多的分布, 其中硅藻以梅尼小环藻和变异直链藻细胞数量较大。它们都能够在波动频繁的水体中生长, 能够迅速地增加单位细胞叶绿素和辅助色素的含量以提高对光的捕捉能力^[9, 19], 成为接近河流的飞来峡水库中的优势种类群之一。

隐藻是冬季的主要优势类群, 隐藻适宜在温度较低、中等的湍流环境中生长^[20], 在12月份采样时, 飞来峡水库的滞留时间为67 d, 同时水温也较低, 只有13.5℃, 有利于隐藻生长并成为主要优势种群。

致谢 飞来峡水库管理局的有关人员协助采样并提供了水文数据, 特此致谢。

参考文献

- [1] Straskraba M, Tundisi J G, Duncan A. State of the Art of Reservoir Limnology and Water Quality Management [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993. 213-288.
- [2] Kotut K, Krienitz L, Muthuri F M. Temporal changes in phytoplankton structure and composition at the Turkwel Gorge Reservoir, Kenya [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 368:41-59.
- [3] Calijur M C, Dos Santos A C A, Jati S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP-Brazil) [J]. *Plank*, 2001, 24:617-634.
- [4] Nogueira M G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicator of environmental compartmentalization in Jurumirim reservoir (Parapanema River), (Sao Paulo, Brazil) [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 431:115-118.
- [5] Horn H. The relative importance of climate and nutrients in controlling phytoplankton growth in Saldenbach Reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 505:159-166.
- [6] Komarkova J, Hejzlar J. Summer maxima of phytoplankton in the Rimov Reservoir in relation to hydrologic parameters and phosphorous loading [J]. *Arch Hydrobiol*, 1996, 136:217-236.
- [7] Han B P, Armengol J, Garcia J C, et al. The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): A simulation approach [J]. *Ecol Mod*, 2000, 125:109-122.
- [8] Figueredo C C, Giani A. Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 445:165-174.
- [9] Reynolds C S, Descy J P, Padisák J. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lake [J]? *Hydrobiologia*, 1994, 289:1-7.
- [10] Zheng J M(郑锦明), Lü H T(吕洪涛), Han B P(韩博平). Water quality of Feilaixia Reservoir and the possibility of supply water to Guangzhou City [J]. *Ecol Sci(生态科学)*, 2004, 23(3):208-211.(in Chinese)
- [11] Jin X C(金相灿), Tu Q Y(屠清瑛). Manual of Eutrophication Survey on Lakes [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990. 286-302.(in Chinese)
- [12] Lin S J(林少君), He L J(贺立静), Huang P S(黄沛生), et al. Comparison and improvement on the extraction method for chlorophyll a in phytoplankton [J]. *Ecol Sci(生态科学)*, 2005, 24(1): 9-11.(in Chinese)
- [13] Teru I, Satoshi I, Masaru H, et al. Changes of chemical and biological water environmental at a newly constructed reservoir [J]. *Water Sci Techn*, 1998, 37:187-194.
- [14] Reynolds C S. The Ecology of Freshwater Phytoplankton [M]. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1984. 83-105.
- [15] Lin Q Q, Duan S S, Hu R, et al. Zooplankton distribution in tropical reservoirs, South China [J]. *Inter Rev Hydrobiol*, 2003, 88: 602-613.
- [16] Lin Q Q(林秋奇), Hu R(胡韧), Han B P(韩博平). Effect of hydrodynamics on nutrient and phytoplankton distribution in Liuxihe Reservoir [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2004, 25:2278-2284.(in Chinese)
- [17] Nalewako C, Murphy T P. Effects of temperature and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: an experimental approach [J]. *Limnology*, 2001, 2:45-48.
- [18] Yan L J(严力蛟), Yu Z M(虞左明), Huang X R(黄迅刃). The community and dominated of phytoplankton in Qiandaohu reservoir [J]. *Contemporary Eco-Agri Cult(当代生态农业)*, 2002, (2):84-88.(in Chinese)
- [19] Han B P(韩博平), Han Z G(韩志国), Fu X(付翔). Algal Photosynthesis: Mechanisms and Methods [M]. Beijing: Science Press, 2003. 7-23.(in Chinese)
- [20] Dos Santos A C A, Calijur M C. Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita Reservoir (Sao Paulo, Brazil) [J]. *Hydrobiologia*, 1998, 445:139-152.