

珠海地区小型抽水型与非抽水型 水库的浮游植物群落结构变化

刘 蕾, 雷腊梅, 韩博平*

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要: 2006年4月、8月、12月对珠海3座抽水型水库和3座非抽水型水库的水质和浮游植物进行采样和测定。抽水型水库和非抽水型水库的浮游植物分别有67种和56种。蓝藻门的假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)、湖丝藻(*Limnothrix redekei*)和拟柱孢藻(*Cylindrospermopsis rackiborskii*)仅在抽水型水库中检测到, 而绿藻门的鼓藻(*Cosmarium* sp.)仅在非抽水型水库中检测到。抽水型水库浮游植物种类的季节变化比非抽水型水库明显, 且浮游植物的丰度和生物量均高于非抽水型水库。抽水型水库浮游植物丰度在 $1.25 \times 10^5 \sim 4.38 \times 10^6$ cells L⁻¹之间, 以蓝藻和小型绿藻为主; 非抽水型水库浮游植物丰度在 $7.1 \times 10^4 \sim 4.61 \times 10^6$ cells L⁻¹之间, 以绿藻门的鼓藻为主。抽水型水库浮游植物的生物量在2.3~8.8 mg L⁻¹之间, 非抽水型水库浮游植物的生物量在1.3~5.6 mg L⁻¹之间。抽水型水库浮游植物的生物量在冬春季高于夏季, 而非抽水型水库浮游植物的生物量动态相反。抽水型水库浮游植物的优势种具有明显的季节变化。非抽水型水库浮游植物具有相对稳定的群落季节变化, 其优势种的组成较为稳定。对于抽水型水库而言, 咸潮前期集中调水入库, 不仅改变了水库的营养盐负荷, 也改变了水库水动力学的季节动态, 这也是导致抽水型与非抽水型水库在浮游植物群落结构与动态上存在明显差别的关键因素。

关键词: 浮游植物; 群落结构; 抽水型水库; 华南地区

中图分类号: Q 948.881.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)01-0054-09

Variation of the Phytoplankton Community in the Pumped Storage Reservoirs and the Non-pumped Storage Reservoirs in Zhuhai

LIU Lei, LEI La--mei, HAN Bo--ping*

(Institute of Hydrobiology, Ji'nan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Small reservoirs play an important role in both of city and country drinking water supply in the South China. To understand the phytoplankton community dynamics in these small reservoirs, three pumped storage reservoirs and three non-pumped storage reservoirs were investigated in April, August and December, 2006, respectively. 67 and 56 taxa in total were identified in the pumped and the non-pumped storage reservoirs, respectively. *Pseudanabaena* sp., *Limnothrix redekei*, *Cylindrospermopsis rackiborskii* only appeared in the pumped storage reservoirs, while *Cosmarium* sp. only occurred in the non-pumped storage reservoirs. Cells abundance and biomass in the pumped storage reservoirs were higher than those in the non-pumped storage reservoirs. The abundance of phytoplankton ranged from 1.25×10^5 cell L⁻¹ to 4.38×10^6 cells L⁻¹ in the pumped storage reservoirs, was mainly dominated by cyanobacteria and small cellular chlorococcacean, while the abundance of phytoplankton ranged from 7.1×10^4 cells L⁻¹ to 4.61×10^6 cells L⁻¹ in the non-pumped storage reservoirs, and dominated by *Cosmarium* sp.. The biomass of phytoplankton ranged from 2.3 mg L⁻¹ to 8.8 mg L⁻¹ in the pumped storage reservoirs, and from 1.3 mg L⁻¹ to 5.6 mg L⁻¹ in the non-pumped storage reservoirs. The dominant species were seasonally replaced in the pumped storage reservoirs, while those were seasonally constant in the non-pumped

收稿日期: 2008-03-24

接受日期: 2008-07-01

基金项目: 珠海市科技局重大项目(PC20052040); 国家自然科学基金重点项目(U0733007)资助

* 通讯作者 Corresponding author

storage reservoirs. Water pumped into reservoir made the nutrient distribution and hydrologic processes change, which was a key factor for a significant difference in the structure and dynamics of phytoplankton community between the pumped storage reservoirs and non-pumped storage reservoirs.

Key words: Phytoplankton; Community structure; Pumped storage reservoir; South China

淡水生态系统中,浮游植物的群落结构是由物理、化学和生物三个方面的共同作用而决定的。通常认为营养盐、光照强度及浮游动物的捕食是影响浮游植物群落结构的首要因素^[1-2]。在温带地区,冬季水温较低,浮游植物群落类型以硅藻为主,随着夏季温度的升高,蓝藻和绿藻取代硅藻成为水体中的优势类群^[3]。华南地区,水温常年较高且季节变化不明显,浮游植物群落结构组成及其演替与温带水体存在一定的差别。在低纬度地区,浮游动物以小个体的种类为主,对浮游植物的捕食压力小,因此,营养盐、光照强度和水动力学条件成为影响浮游植物群落的主要因素^[4-6]。

水库是一种人工筑坝的半自然生态系统,其水动力学过程主要受人为调节的影响,因此,水库生态系统的季节变化与湖泊等自然生态系统有较为明显的差别^[7-8]。依据容量,水库分为大、中和小型水库。小型水库由于容量小,对人为活动较为敏感,因此在浮游植物的组成和季节动态上与大型水库存在差异。我国华南沿海地区,面临水资源短缺和水质性缺水的双重压力,小型水库在城镇供水起着重要的作用,以珠海市为例,小型水库供水量占水库供水量的 75%。小型供水水库从入库水的来源可分抽水型水库和非抽水型水库两类^[9],抽水型水库是指通过抽调河流水增加供水能力的水库,特别是在枯水期,这类水库能够有效地缓解城市供水压力,而非抽水型水库水位的补给则主要是依靠降雨等一些自然过程。调水会影响到水库的水文条件和理化因子,如水位波动、水滞留时间及营养状态等,这些因子的改变会引起浮游植物群落结构组

成和生物量的改变^[10-11]。

为了解小型抽水型和非抽水型水库浮游植物群落结构及其动态,于 2006 年对珠海市 6 座小型供水水库进行调查,其中包括 3 座抽水型水库和 3 座非抽水型水库,了解浮游植物组成与季节变化的特点及其主要的影响因素,为水库管理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 水库概况

在 6 座水库中,正坑水库、坑尾水库和银坑水库为抽水型水库;吉大水库、木头冲水库和黄绿背水库为非抽水型水库。正坑和坑尾是两座相连通的水库,库容较小,水面狭长。木头冲水库有一个明显的点源污染,其它 5 座水库的入库营养盐主要由抽水或降水带入。6 座水库的基本概况见表 1。

1.2 采样与水质测定方法

于 2006 年 4 月 7 日、8 月 9 日和 12 月 7 日进行采样,分别在 6 座水库的大坝处设置采样点。用 YSI 测定现场水温,用塞氏罗盘测定透明度(secchi disk depth, SD)。采集表层 0.5 m 处的水样进行水化分析,水化分析指标包括总磷(total phosphorus, TP)、正磷(orthophosphate, PO₄-P)、总氮(total nitrogen, TN)、硝氮(nitrate, NO₃-N)、亚硝氮(nitrogen, NO₂-N)、氨氮(ammonia nitrogen, NH₄-N)。理化指标的测定均按照国家水质标准 GB3838-200。叶绿素 a 的测定采用改进后的反复冻融-浸提法^[12]。

表 1 6 座水库的基本概况

Table 1 Status of six reservoirs in Zhuhai

水库 Reservoir	正坑 Zhengkeng	坑尾 Kengwei	银坑 Yinkeng	吉大 Jida	黄绿背 Huanglubei	木头冲 Mutouchong
最大库容 Maximal volume(× 10 ⁴ m ³)	10.7	13.57	148	237	101.4	508
正常库容 Normal volume (× 10 ⁴ m ³)	6.77	9.3	113.5	131.4	97	225
最大水深 Maximal depth (m)	7.7	7.7	12.3	15.5	18	16
正常水深 Normal depth (m)	5.2	5.3	10.1	11.2	13.8	7.6
建库时间 Building year	1985	1985	1959	1976	1992	1962
类型 Type	小 II	小 II	小 I	小 I	小 I	小 I
	Small II	Small II	Small I	Small I	Small I	Small I

1.3 浮游植物的采样与计数

浮游植物定性样品用 25 号浮游植物网(64 μm), 在水平和垂直方向进行拖网, 当场用 5% 福尔马林现场固定浮游植物。定量样品在水体表层下 0.5 m 处采水 1 L, 当场用 5% 福尔马林固定, 带回实验室静置沉淀浓缩。浮游植物的定性、定量样品均在 Olympus 显微镜下进行鉴定和计数, 定性样品在 10 \times 40 倍下直接观察鉴定, 定量样品根据各藻类近似几何形状的公式计算, 假定藻类密度与水密度相近为

1 g cm^{-3} , 计算水体浮游植物生物量^[13]。

2 结果分析

2.1 水库水质动态

抽水型水库的总氮、总磷和叶绿素 a 的浓度均高于非抽水型水库, 而透明度低于非抽水型水库(表 2), 两类水库的总磷浓度均值存在显著差异($P < 0.05$), 而总氮浓度均值不存在显著差异($P > 0.05$)。

表 2 6 座水库的水质参数

Table 2 Parameters of water quality in six reservoirs

	抽水型水库			非抽水型水库		
	Pumped storage reservoirs			Non-pumped storage reservoirs		
	最低值 Min.	最高值 Max.	平均值 Average	最低值 Min.	最高值 Max.	平均值 Average
总氮 TN (mg L^{-1})	0.2	1.5	0.69	0.2	1.2	0.53
总磷 TP (mg L^{-1})	0.01	0.08	0.03	0	0.017	0.01
叶绿素 a Chlorophyll a (mg m^{-3})	5.7	34	7.5	1.2	21.	5.4
透明度 Secchi disk depth	0.8	2.1	0.9	0.6	3.3	1.5

2.2 浮游植物结构动态

2.2.1 浮游植物的种类组成及动态

在 3 次采集的样品中, 抽水型水库检出浮游植物 67 种, 隶属于 7 门, 种类分布见表 3。种类最多的为绿藻门 47 种, 占 35.5%; 其次为硅藻门 14 种(21%); 蓝藻门 10 种(15%)、甲藻门 3 种、裸藻门 3 种、金藻门 1 种。非抽水型水库检出浮游植物 56 种, 隶属于 7 门(表 3)。种类最多的为绿藻门(32 种, 占 58%); 其次为硅藻门 12 种(21%)、蓝藻门 4 种、甲藻门 3 种、裸藻门 3 种、金藻门 1 种。蓝藻门的针晶蓝纤维藻(*Dactyloccopsis raphidioides*), 绿藻门的衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、对对栅藻(*Scenedemus bijuga*)、四尾栅藻(*S. quadricauda*), 硅藻中的梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、颗粒直链藻(*Aulacoseira granulata*)、舟形藻(*Navicula* sp.), 甲藻门的多甲藻(*Peridinium* sp.)、微小多甲藻(*P. pusillum*), 在两类水库中都被检测到并有较高的出现频次。蓝藻门的惠氏微囊藻(*Microcystis wesenbergii*)、平裂藻(*Merismopedia glauca*)、颤藻(*Oscillatoria* sp.)、假鱼腥藻(*Pseudanabaena limnetica*)、湖丝藻(*Limnothrix redekei*)、拟柱孢藻

(*Cylindrospermopsis rackiborskii*) 仅在抽水型水库中出现频率较高, 而绿藻门的近缘鼓藻(*Cosmarium connatum*)、角星鼓藻(*Staurastrum* sp.)、平卧角星鼓藻(*S. dejectum*) 以及金藻门的分歧锥囊藻(*Dinobryon divergens*) 仅在非抽水型水库中有较高出现频次。

就种类组成而言, 抽水型水库属绿藻-硅藻-蓝藻型(图 1A), 非抽水型水库属绿藻-硅藻型(图 1B)。抽水型水库种类组成的季节性变化较非抽水型水库明显。抽水型水库中, 正坑水库和坑尾水库的种类多于银坑水库, 正坑水库和坑尾水库检出的种数平均值为 28 种, 银坑水库为 22 种。抽水型水库中硅藻种类较为稳定, 均有 14 种左右, 蓝藻和绿藻的种类组成存在季节性变化, 3 次采样的种类数量之间存在差异; 非抽水型水库中, 木头冲水库的种类多于吉大和黄绿背水库。吉大水库种数在 17 种左右, 黄绿背水库 22 种左右, 这两座水库的浮游植物种类组成较为稳定, 季节变化不明显, 木头冲水库每次采样的种数为 26 种, 有明显的季节变化, 其物种数在 8 月份最高。

表 3 6 座水库浮游植物的种类组成

Table 3 Species composition of phytoplankton in six reservoirs

浮游植物 Phytoplankton	抽水型 Pumped	非抽水型 Non-pumped	浮游植物 Phytoplankton	抽水型 Pumped	非抽水型 Non-pumped
硅藻门 Bacillariophyta			绿藻门 Chlorophyta		
小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+++	+++	衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp.	+++	+++
根管藻 <i>Rhizosolenia</i> sp.	++		粘四集藻 <i>Palmella mucosa</i>	++	
变异直链 <i>Aulacoseira variana</i>			具尾四角 <i>Tetraedron caudatum</i>	+++	+
颗粒直链藻 <i>A. granulata</i>	+++	++	膨胀四角藻 <i>T. tumidulum</i>	+++	+
模糊直链藻 <i>A. ambigua</i>	+	+	微小四角藻 <i>T. minimum</i>	+++	
颗粒直链藻最窄变种 <i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i>	++	+	异刺四星藻 <i>Treubaria heterocanthum</i>	+	
曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp.	++		单针藻 <i>Monoraphidium</i> sp.	+++	+
桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.	+++	+	集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>	+	
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	+++	+++	多芒藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	++	
菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.	+++		蹄形藻 <i>Kirchneriella lunaris</i>	++	
蓝藻门 Cyanophyta			湖生卵囊藻 <i>Oocystis lacustis</i>		++
蓝纤维藻 <i>Dactylocoopsis</i> sp.	+++	++	实球藻 <i>Pandorina morum</i>	++	
惠氏微囊藻 <i>Microcystis wesenbergii</i>	++		单角盘星藻具孔变种 <i>P. simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	++	
铜绿微囊藻 <i>M. aeruginosa</i>	++	+	十字藻 <i>Crucigenia qpiculata</i>	+	
假鱼腥 <i>Pseudanabaena</i> sp.	+++	+	四角十字藻 <i>C. quadrata</i>	+	
拟柱胞 <i>Cylindrospermopsis</i> sp.	++		胶网藻 <i>Dictyosphaerium</i> sp.	++	
颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.	+		葡萄藻 <i>Botryococcus</i> sp.	+	
平裂藻 <i>Merismopedia</i> sp.	+++		对对栅藻 <i>Scenedesmus bijugatus</i>	+++	++
湖丝藻 <i>Limnothrix</i> sp.	+++		四尾栅藻 <i>S. quadricauda</i>	+++	++
项圈藻 <i>Anabaenopsis will</i>	+		二形栅藻 <i>S. dimorphus</i>	++	
美丽隐球 <i>Aphanocapsa pulchra</i>	+		双射盘星藻 <i>Pediastrum biradiatum</i>	+	
小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	++	+	长鼻空星 <i>Coelastrum proboscideum</i>	+	
甲藻门 Pyrrophyta			网状空星藻 <i>C. reticulatum</i>	+	
多甲藻 <i>Peridinium</i> sp.	+++	+++	鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp.	+	++
微小多甲藻 <i>P. pusillum</i>	+++	+++	星月鼓藻 <i>Closterium nitzsch</i>	+	
飞燕角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	+	++	扁鼓藻 <i>C. depressum</i>		+
裸藻门 Euglenophyta			纤细角星鼓 <i>Staurastrum gracile</i>	+	++
裸藻 <i>Euglena</i> sp.	++	+	凹顶鼓藻 <i>Euastrum</i> sp.		+
囊裸藻 <i>Trachelomonas</i> sp.	+		项圈鼓藻 <i>C. moniliforme</i>		+
扁裸藻 <i>Phacus</i> sp.	+		近缘鼓藻 <i>C. connatum</i>		++
金藻门 Chrysophyta			角星鼓藻 <i>Staurastrum</i> sp.	+	+++
分歧锥囊藻 <i>Dinobryon divergens</i>		+++	平卧角星鼓藻 <i>S. dejectum</i>		++
			多棘鼓藻 <i>Xanthidium</i> sp.		+

+: 出现 Few; ++: 较多 Many; +++: 多 More.

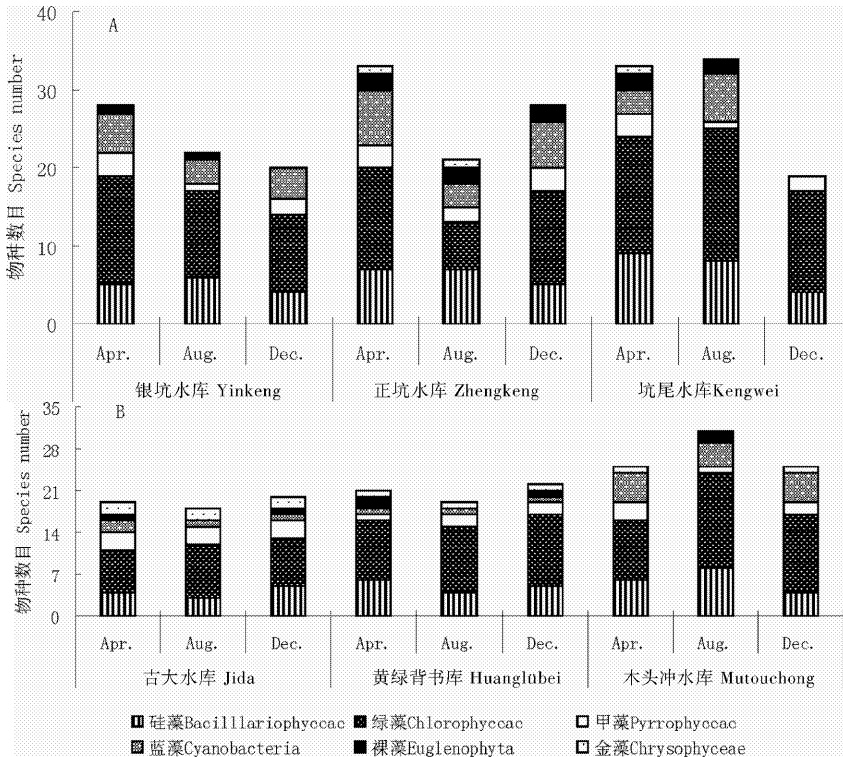


图 1 抽水型水库(A)和非抽水型水库(B)浮游植物种类组成动态

Fig. 1 Dynamics of phytoplankton numbers in pumped storage reservoirs (A) and non-pumped storage reservoirs (B)

2.2.2 浮游植物丰度的动态

抽水型水库浮游植物丰度高于非抽水型水库。抽水型水库浮游植物的丰度为 $3.55 \times 10^5 \sim 4.38 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ (图 2A), 正坑水库 12 月份的最大, 银坑水库 12 月份的最小。正坑水库和银坑水库的丰度高于坑尾水库。从细胞密度的相对数量来看, 蓝藻和绿藻是抽水型水库中主要的浮游植物优势类群, 其中的蓝藻以假鱼腥藻和湖丝藻为主, 绿藻以单针藻、四尾栅藻和实球藻为主。硅藻门的曲壳藻成为银坑水库 8 月份的优势种类, 相对丰度超过 50%。

非抽水型水库浮游植物的丰度为 $7.1 \times 10^4 \sim 4.61 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ (图 2B), 木头冲水库 4 月份的最大, 吉大水库 12 月份的最小值。木头冲水库的浮游植物丰度远高于吉大和黄绿背水库。从细胞密度的相对数量来看, 绿藻是非抽水型水库中主要的浮游植物优势类群。吉大和黄绿背水库的优势种主要以鼓藻科的鼓藻和绿球藻纲的卵囊藻为主。除鼓藻外, 木头冲水库的优势种还包括颗粒直链藻。

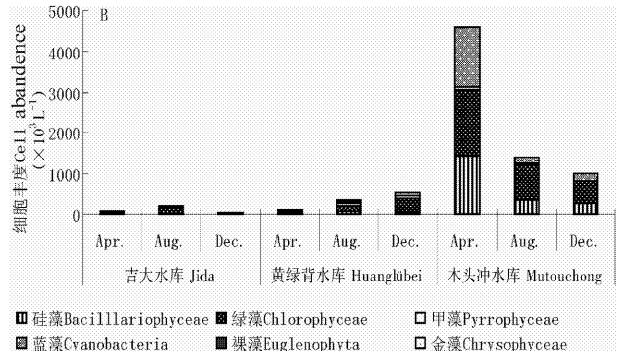
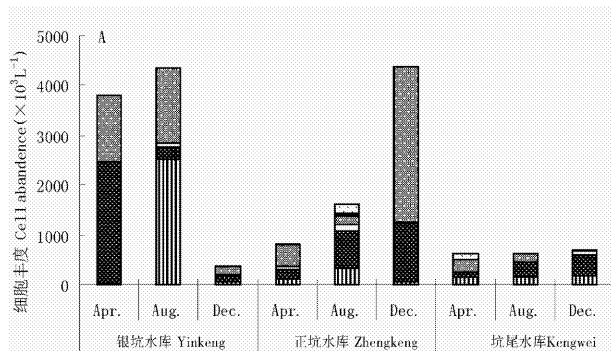


图 2 抽水型水库(A)和非抽水型水库(B)浮游植物细胞丰度动态

Fig. 2 Dynamics of phytoplankton abundance in pumped storage reservoirs (A) and non-pumped storage reservoirs (B)

2.2.3 浮游植物生物量的动态

抽水型水库浮游植物生物量也高于非抽水型水库。抽水型水库浮游植物的生物量为 2.3 ~ 8.8 mg L⁻¹(图 3A),平均值为 4.1 mg L⁻¹,银坑水库 4 月份的最大,坑尾水库 8 月份的最小。正坑和银坑水库的浮游植物生物量高于坑尾水库。由于甲藻个体较大,成为两类水库的优势种。非抽水型水库

浮游植物的生物量为 1.3 ~ 5.6 mg L⁻¹(图 3B),平均值为 3.1 mg L⁻¹,木头冲水库 8 月份的最大,吉大水库 12 月份的最小。木头冲水库的浮游植物生物量高于吉大和黄绿背水库。两类水库浮游植物生物量的季节动态有一定的差异,抽水型水库冬、春两季的生物量高于夏季,而非抽水型水库夏季的生物量高于冬、春两季。

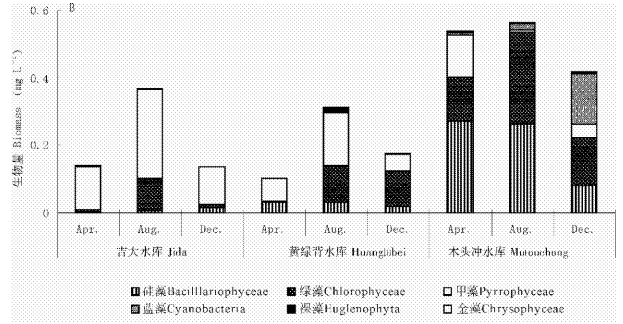
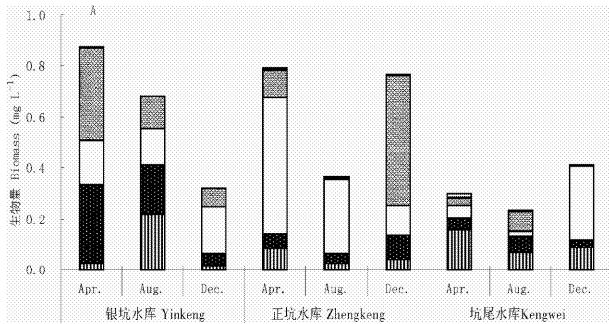


图 3 抽水型水库(A)和非抽水型水库(B)浮游植物生物量动态

Fig. 3 Dynamics of phytoplankton biomass in pumped storage reservoirs (A) and non-pumped storage reservoirs (B)

2.2.4 浮游植物优势种类动态

抽水型水库浮游植物优势种的季节变化不如非抽水型水库稳定。其优势种的组成存在一定的季节差异,抽水型水库 4 月、8 月和 12 月的优势种依次为:铜绿微囊藻、假鱼腥藻、衣藻、实球藻、颗粒直链藻;假鱼腥藻、湖丝藻、单针藻、曲壳藻、多甲藻;单针藻、颗粒直链藻、多甲藻。非抽水型水库中吉大和黄绿背水库的优势种一直是多甲藻和微小多甲藻,木头冲水库的优势种是颗粒直链藻及其变种。抽水型水库中,前 8 种优势种的生物量占总生物量的 70% 以上(图 4A);8 优势种的组成存在季节

差异,假鱼腥藻、四尾栅藻、颗粒直链藻、微小多甲藻和多甲藻是 3 次采样中所共同的优势种,此外的 3 优势种发生季节变化,4 月为铜绿微囊藻、衣藻、实球藻,8 月为湖丝藻、单针藻、曲壳藻,12 月为湖丝藻、小环藻和飞燕角甲藻。非抽水型水库中,吉大水库和黄绿背水库浮游植物前 8 种优势种的生物量占总生物量的 90% 以上,它们在木头冲水库所占的百分比略低,但仍在 75% 以上(图 4B)。这 8 种依次为:鼓藻、角星鼓藻、纤细角星鼓藻、小环藻、舟形藻、多甲藻、微小多甲藻、飞燕角甲藻。

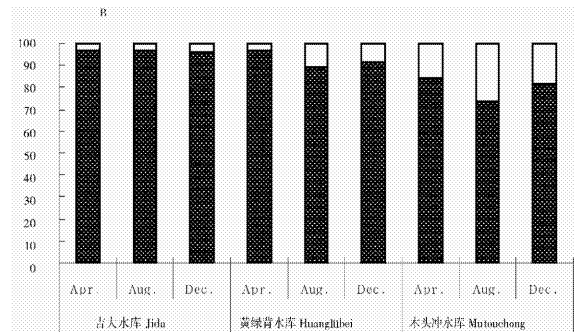
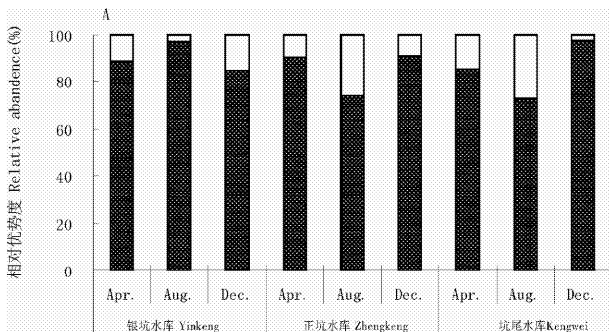


图 4 抽水型水库(A)和非抽水型水库(B)前 8 个优势种的相对优势度

Fig. 4 The relative abundance of dominant phytoplankton species in pumped storage reservoirs (A) and non-pumped storage reservoirs (B)

■ 优势种 Dominanted □ 其它 others

3 讨论

3.1 浮游植物的群落组成

正坑水库、银坑水库、坑尾水库是珠海市典型的小型抽水型水库,由于枯水期的抽水入库导致水库的富营养化程度较高,水库浮游植物的种类较少,一些适合在富营养化程度较高水体中生长的种类成为水体中的优势类群。抽水型水库中种类数目最多的属绿藻门,其中的绿藻又以个体较小的种类为主,如十字藻(*Crucigenia qpiculata*)、胶网藻(*Dictyosphaerium* sp.)和蹄形藻(*Kirchneriella lunaris*)等,这些种类都仅在抽水型水库中检出。通常,这些小型绿藻也被视为是富营养化的指示种^[2]。蓝藻在种类组成也有一定的比例,其中的假鱼腥藻和湖丝藻是水库优势种类。这类蓝藻,其细胞中的辅助捕光色素(如藻胆体)含量比较高,对光限制有较好的耐受能力,容易在透明度不高的富营养化浅水水体中形成优势种^[14-15]。正坑水库和坑尾水库是位于珠海市香洲区的供水水库,它们与该区的大镜山水库(抽水型水库)相联通,且在浮游植物种类组成上有很大的相似性。大镜山水库浮游植物的种类组成为蓝藻硅藻型,蓝藻中的假鱼腥藻是水库中最主要的优势种类^[6]。

吉大水库、黄绿背水库和木头冲水库是3座富营养化程度较低的非抽水型水库。此类水库中种类数目最多的仍属绿藻门,但其中的优势种类是个体较大的鼓藻。蓝藻在浮游植物的种类组成中所占比例很小,这是由非抽水型水库较低的营养盐浓度低所决定的。蓝纤维藻(*Dactylococopsis* sp.)是吉大和黄绿背水库中唯一检到的蓝藻种类,但数量极低且属于不产毒的单细胞种类。金藻门的分歧锥囊藻在每次采样中均能检出,通常这类藻被视为是贫营养水体的指示种^[17],也是被广泛应用的藻类监测的种类^[18]。

3.2 浮游植物的优势种

水库运行方式的不同会导致水库水位的不同变化,这种变化的结果之一就是使得水库的物理状态发生改变^[19-20]。本文中所研究的两类水库均分布于同一地区,两类水库受到大致相同的气候和季节变化的影响,但水位波动范围和强度在两类水库间存在明显的差异。对于小型水库而言,在一定时期内的集中调水,会显著改变浮游植物群落结构组成和群落演替的方向。

抽水型水库在枯水期内调水输入营养盐并影响水位,进而引起营养盐浓度和水下光环境的变化。新形成的水体环境(营养盐、光、湍流强度等)不足以维持现存种类的生理和种群积累的需要,一些对环境有更好适应能力的种类获得生长和竞争优势并最终成为优势种,最终导致浮游植物的群落结构发生改变^[21]。在高纬度地区稳定的湖泊中,前8种优势种的生物量占总生物量的95%左右^[22]。但本文调查的抽水型水库中,前8种优势种只占70%左右,可见抽水型水库水体的相对不稳定性是引起浮游植物群落结构不稳定的主要原因。3座抽水型水库均为中富营养化水体,但典型富营养化水体中的微囊藻并没有成为主要优势种类。微囊藻具很强的悬浮调节能力,对垂直热分层明显的水体有较好的适应能力^[23]。而抽水型水库枯水期的抽水容易破坏水体的垂直热分层,使得枯水期水体的热稳定性降低,这时,适宜在混合水体生长的种类(假鱼腥藻和湖丝藻)取代微囊藻成为优势种。衣藻和实球藻这类具鞭毛的绿藻可依靠鞭毛运行更好地获取营养盐,同时对于低光强有较好的适应能力,因此这类绿藻在水体营养盐较高且光照低的枯水期也成为水体中的优势种。丰水期由于停止抽水,水体中营养盐浓度明显下降,此时,单针藻这类适宜在中营养水体中生长的藻类成为水体优势种。

非抽水型水库的水位波动不如抽水型水库明显。对于非抽水型水库而言,水体中浮游植物的群落结构组成较为稳定,优势种的季节性变化不大。多甲藻和微小多甲藻是吉大水库和黄绿背水库的优势种,其生物量超过总生物量的50%,是此类水库浮游植物的第一优势种类,且季节变化不大。这一结果与同样位于珠海市的一座小型贫营养型水库—梅溪水库相似^[16]。甲藻可以通过鞭毛的摆动而停留在水体表层获得维持生理作用所需的光,当表层营养物质减少时,甲藻可以潜入深层水体获取充足的营养盐,这样的生理特性使甲藻在贫营养水体中能保持良好的竞争能力^[24-25]。木头冲水库是一个中富营养水平水体,其藻类数量组成属硅藻型,颗粒直链藻及其变种是水体中的优势种。颗粒直链藻通常生长在营养水平较高的水体中,在贫营养水体中很少出现^[26],这类藻对光有很好的捕获能力,并能随着光照条件的改变而迅速改变在水中的位置,因此具有很强的光合作用能力,这样的能力

使得颗粒直链藻能在营养水平较高的水体中具有竞争优势,此外,圆柱形的外形能在最大程度上避免颗粒直链藻沉降^[27]。丰水期期间,鼓藻的丰度及其生物量增加,成为水库的优势种,引起浮游植物结构的变化,降低了甲藻的相对优势度。鼓藻适合在混合较好且营养盐浓度较低的水体中生长^[28],降雨对水体的扰动为鼓藻的生长创造了有利的环境。

参考文献

- [1] Figueredo C C, Giani A. Seasonal variation in diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 445: 165–174.
- [2] Negro A I, Hoyos C D, Vega C V. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain) [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424: 25–37.
- [3] Sera T, Colomen J, Baserba C, et al. Quantified distribution of diatom during the stratified period of Boadella reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2002, 589: 235–244.
- [4] Horn H. The relative importance of climate and nutrients in controlling phytoplankton growth in Saldenbach Reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 504: 159–166.
- [5] Gonzalez E J. Nutrient enrichment and zooplankton effects on the phytoplankton community in microcosms from El Andiano reservoir (Venezuela) [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 434: 81–96.
- [6] Lin Q Q(林秋奇), Hu R(胡韧), Han B P(韩博平). Reservoir trophic state and the response of plankton in Guangdong Province [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)*, 2003, 23(6): 1101–1108.(in Chinese)
- [7] Thornton K W, Kimmel J L, Payne P E. *Reservoirs Limnology: Ecological Perspectives* [M]. New York: A Wiley-interscience Publication, 1990: 4–9.
- [8] Han B P(韩博平), Li T(李铁), Lin X T(林旭钊). *Reservoir Trophic States and The Study of Strategies of Prevention in Guangdong Province* [M]. Beijing: Science Press, 2003: 3–6.(in Chinese)
- [9] Han B P(韩博平), Feng Y C(冯远船), Liu Z W(刘正文). *Ecology and Water Quality Management of Dajingshan Reservoir in Guangdong Province* [M]. Guangdong: Science Technology Press, 2006: 1–5.(in Chinese)
- [10] Lin Z W(林彰文), Han B P(韩博平). Spatial distribution of sediment and contents of inorganic phosphorus in pumped storage reservoir [J]. *J Agro-Environ Sci(农业环境科学学报)*, 2006, 25(3): 776–781. (in Chinese)
- [11] Li Q H(李秋华), Han B P(韩博平). Dynamics and structure of phytoplankton community in spring in a subtropical pumped-water reservoir [J]. *J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报)*, 2007, 15(4): 294–300.(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: 9–11.(in Chinese)
- [13] Zhang Z S(章宗涉), Huang X F(黄祥飞). *Study Method on Freshwater Plankton* [M]. Beijing: Science Press, 1991: 334–346. (in Chinese)
- [14] Dokulil M T, Teubner K. Cyanobacterial dominance in lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 438: 1–12.
- [15] Nixdorf B, Mischke U, Rucker J. Phytoplankton assemblages and steady state in deep and shallow eutrophic lakes — An approach to different the habit properties of Oscillatoriales [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 502: 111–121.
- [16] Li Q H(李秋华), Han B P(韩博平). Spring dynamics of phytoplankton community of an oligo-trophic reservoir in southern of China [J]. *Acta Phytoplankton Sin(植物生态学报)*, 2007, 31(2): 313–319.(in Chinese)
- [17] Reynolds C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? [J] *Hydrobiologia*, 1998, 369/370: 11–26.
- [18] Albay M, Akcaanlan R. Factors influencing the phytoplankton steady state assemblage in a drinking-water reservoir (Omerli reservoir, Istanbul) [J]. *Hydrobiologia*, 20003, 502: 85–95.
- [19] Naselli-Flores L. Phytoplankton assemblage in twenty-one Sicilian reservoirs: relations between species composition and environment factors [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424: 1–11.
- [20] Naselli-Flores L, Barone R. Water-level fluctuations in Mediterranean reservoirs: A dewatering threshold as a management tool to improve water quality [J]. *Hydrobiologia*, 2005, 548: 85–99.
- [21] Naselli-Flores L, Barone R. Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 438: 65–74.
- [22] Reynolds C S. *The Ecology of Phytoplankton* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006: 362–389.
- [23] Reynolds C S, Huszar V, Kruk C, et al. Towards a function classification of the freshwater phytoplankton [J]. *J Plankton Res*, 2002, 24(5): 417–428.
- [24] Rengfors K, Legrand C. Toxicity in *Peridinium aciculiferum* an adaptive strategy to outcompete other winter phytoplankton [J]. *Limnol Oceanogra*, 2001, 46: 1990–1997.
- [25] Zohary T. Changes to the phytoplankton assemblage of Lake Kinneret after decades of a predictable, repetitive pattern [J]. *Freshwater Biol*, 2004, 49: 1355–1371.
- [26] Beyruth Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, S o Paulo State, Brazil [J]. *Hydrobiology*, 2000, 424: 51–65.
- [27] Reynolds C S, Descy J P, Padisak J. Are phytoplankton dynamics in river so different from those in shallow lakes? [J] *Hydrobiology*, 1994, 289: 1–7.
- [28] Nogueira M G. Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environment compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Parapanema River), S o Paul, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 431: 115–128.