

南亚热带调水水库春季浮游植物群落的结构与动态

李秋华, 韩博平*

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘要: 于 2005 年 1-6 月, 对南亚热带调水水库一大镜山水库的水文、营养盐(N、P)和浮游植物进行了调查研究。共检测到浮游植物 76 种; 浮游植物总的细胞数量在 4.925×10^6 – 63.65×10^6 cells L⁻¹ 之间, 浮游植物的总生物量在 1.632–20.420 mg L⁻¹ 之间。假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)是主要优势藻, 但是早春(1-3 月)假鱼腥藻和肘状针杆藻(*Synedra ulna*)共同成为优势藻。浮游植物细胞的丰度晚春(4-6 月)比早春的要高, 但是生物量却比早春的。在水文过程与其它水库有一定差别的典型调水水库, 水温是引起浮游植物种类组成变化的主要原因。浮游植物组成与动态是受入库营养盐和水动力学的变化所影响的。

关键词: 浮游植物; 动态; 春季; 调水水库

中图分类号: Q 948.881.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2007)04-0294-07

Dynamics and Structure of Phytoplankton Community in Spring in a Southern Subtropical Pumped-water Reservoir

LI Qiu-hua, HAN Bo-ping*

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

Abstract: The effects of hydrology and nutrients (N and P) on the phytoplankton community were studied in a southern subtropical reservoir, the Dajingshan Reservoir, during January to June in 2005. Seventy-six species of algae were identified. The total abundance of the phytoplankton ranged from 4.925×10^6 to 63.65×10^6 cells L⁻¹ and the total biomass from 1.632 to 20.420 mg L⁻¹. *Pseudanabaena* sp. and *Synedra ulna* were dominant species in the community during January to March (the early spring). Only *Pseudanabaena* sp. was dominant during April to June (the late spring), and *S. ulna* decreased rapidly in number due to water temperature. The phytoplankton abundance in the late spring (April to June) was higher than the early spring; however, its biomass was reverse. Water temperature was the most important factor for the changes of species composition and phytoplankton dynamics in the pumped storage reservoir, in which the phytoplankton community is regulated in a way distinct from other reservoirs. Nutrient loading and hydrodynamic changes affected the composition and dynamics of the phytoplankton.

Key words: Phytoplankton; Dynamics; Spring; Pumped-water reservoir

在相对稳定的水体中, 浮游植物的组成和数量通常具有明显的季节变化^[1-4], 主要是由季节性的外在驱动因素所决定, 如水温和水体的滞留时间等。这些物理因素会导致水体中营养盐负荷、生物生

长、以及营养级之间的相互作用的变化, 从而影响浮游植物群落的组成和数量^[5-9]。在富营养化水体中, 浮游植物的捕食强度相对较弱, 水动力学和营养盐负荷成为影响水体浮游植物群落的主要因

收稿日期: 2006-08-08 接受日期: 2006-11-24

基金项目: 国家教育部“优秀青年教师资助计划”; 珠海重大科技项目(PC20052040)资助

* 通讯作者 Corresponding author

素^[10-11]。水体的水动力学主要与水体的形态和水力交换有关,而营养盐的负荷则与外源输入和通过底泥的内源污染有关^[6,12]。在高纬度地区,水温的季节性差异明显,它是决定水体浮游植物群落季节变化的主要因素。在热带和亚热带低纬度地区,水体水温常年较高,季节变化不如高纬度明显,降水的季节性变化是影响营养盐输入和流体水动力学过程的关键因素,特别在受夏季风影响的地区^[13]。水库是一个特殊的水体,与天然湖泊有明显的差异。水库水动力学与用水模式直接相关,不同功能的水库其用水模式相差较大,导致水库水动力学过程存在明显的差异,浮游植物生存环境也有明显差别,表现在种类组成和动态特征上的不同^[14-18]。大镜山水库是广东省珠海市的一座中型供水水库,也是一座调水水库,由于抽水的河流水体具有较高的营养盐浓度,长期抽水入库后导致水库水质下降,目前该水库已成富营养化水体。本文通过对该水库春季(1-6月)浮游植物的采样调查,旨在进一步了解南亚热带地区富营养化调水水库的浮游植物群落结构与动态特征,并为今后富营养化水体的水库综合治理和水库水质管理提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 水库特征

大镜山水库位于珠海市香洲区西北凤凰山南麓,水库以调节生活用水和防洪为主,为珠海市区供水系统的重要水源之一。水库集雨面积为 5.95 km^2 ,总库容为 $12.10 \times 10^6 \text{ m}^3$,多年平均降雨量为 1991 mm ,年调节水量为 $4.902 \times 10^7 \text{ m}^3$,年可供水量为 $4.287 \times 10^7 \text{ m}^3$,年调成水量为 $7.356 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。在水库的大坝处有三条涵管,分别位于大坝的左、中和右侧,其中位于中间的涵管主要为调水入库,而两侧的涵管则主要用于供水。

1.2 采样点的设置

根据大镜山水库的库盆特点设置4个采样点(图1),分别是S1(N $22^\circ 18' 03.0''$, E $113^\circ 32' 28.4''$), S2(N $22^\circ 18' 08.5''$, E $113^\circ 32' 49.6''$), S3(N $22^\circ 17' 42.5''$, E $113^\circ 33' 04.4''$), S4(N $22^\circ 17' 43.1''$, E $113^\circ 32' 59.4''$),其中S1为库尾,水流较缓,受外界的干扰较少;S2为库中;而S3和S4位于大坝附近,S3为水库出水口,S4为水库入水口,调水主要从S4进入水

库,外界对S3和S4干扰相对较大。

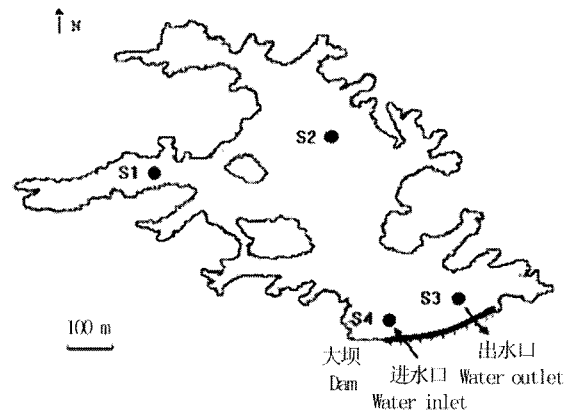


图1 大镜山水库的库形及采样点的设置

Fig. 1 Map of Dajingshan Reservoir with the sampling sites

1.3 采样与实验方法

2005年1月-6月,对大镜山水库进行取样调查,每2周1次。用YSI-85(美国)水质仪现场测定水温(Temperature);用萨克斯盘测定透明度(Secchi disk depth, SD);用pHS-3C酸碱度计测定水体的pH值。水化指标有总磷(Total phosphate, TP)、总氮(Total nitrogen, TN),按照国家水质标准方法GB3838-2002进行测定。降雨量(Precipitation)采用自动监测仪(南京)测定。

叶绿素a(Chl a)的含量测定:取经过 $0.45 \mu\text{m}$ 的纤维滤膜抽滤的 $200-400 \text{ ml}$ 水样,反复冻融-提,运用改进的丙酮萃取方法^[19]进行测定。

浮游植物定量样品在表层 0.5 m 处采取 1 L 水样,用5%福尔马林固定,在实验室浓缩沉淀;浮游植物定性样品用25号浮游生物网($64 \mu\text{m}$),在不同方向进行拖网,同样用5%福尔马林固定。浮游植物定性、定量样品均在显微镜下进行鉴定和计数。

藻类生物体积根据各藻类相近几何形状的体积公式计算^[20-21];假定浮游植物藻类的密度为 1 g cm^{-3} ,计算出水体浮游植物生物量。

1.4 数据分析

利用统计分析软件SPSS 13.0,进行显著性检验和相关性分析。

2 结果和分析

2.1 理化指标

大镜山水库水温常年都较高,1-6月水温在 $15-$

29℃之间。水温在 1-3 月上旬未出现分层,是属于全同温期,而从 3 月末开始出现了明显的分层,表层水温高于底层水温,而水深 2-6 m 是温跃层。根据水体的分层特点,整个采样时间可以分为两个明显不同的阶段,即 1-3 月(称为早春)和 4-6 月(晚春)。在大镜山水库,水体 pH 值在 7.95-8.90 之间;透明度较低,在 0.65-0.90 m 之间。大镜山水库水位在 15.5-19.9 m 之间波动(图 2A),由于大镜山水库调水和供水同时存在,水库水位的变化幅度不大,大镜山水库 1 月份总的供水量最高,河流调水以 2 月最多。1-3 月大镜山水库降雨量较少,3 个月仅降雨 66.8 mm,3 月份后,进入丰水期,4-6 月降雨量达 1 031.2 mm,远超过 1-3 月(图 2A)。在前 3 个月降雨入库水量仅为 $224.2 \times 10^3 \text{ m}^3$,而从河水调水入库多

达 $4.1186 \times 10^6 \text{ m}^3$,而 4-6 月总降雨入库水量达 $3.5545 \times 10^6 \text{ m}^3$,远超过 1-3 月降雨入库水量。1-6 月大镜山水库调水入库达 $7.7296 \times 10^6 \text{ m}^3$,而降雨入库水量为 $3.7787 \times 10^6 \text{ m}^3$,总的供水水量为 $12.9899 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。在营养盐浓度变化上,4 个采样点具有相似的动态规律,TN 的浓度在 $0.500-2.050 \text{ mg L}^{-1}$ 之间变化,其平均浓度约为 1.096 mg L^{-1} 。TP 的浓度在 $0.020-0.063 \text{ mg L}^{-1}$ 之间变化,平均浓度为 0.049 mg L^{-1} 。1-3 月的营养盐浓度明显要高于 4-6 月,尤其是总氮 1-3 月比 4-6 月高 0.60 mg L^{-1} (图 2B)。TN 与 TP 的质量比为 15.5-37.8,说明大镜山水库是一个磷限制性水体。叶绿素含量为 20.3-48.2 mg m^{-3} ,2-4 月的叶绿素含量较高,平均值超过 40 mg m^{-3} 。

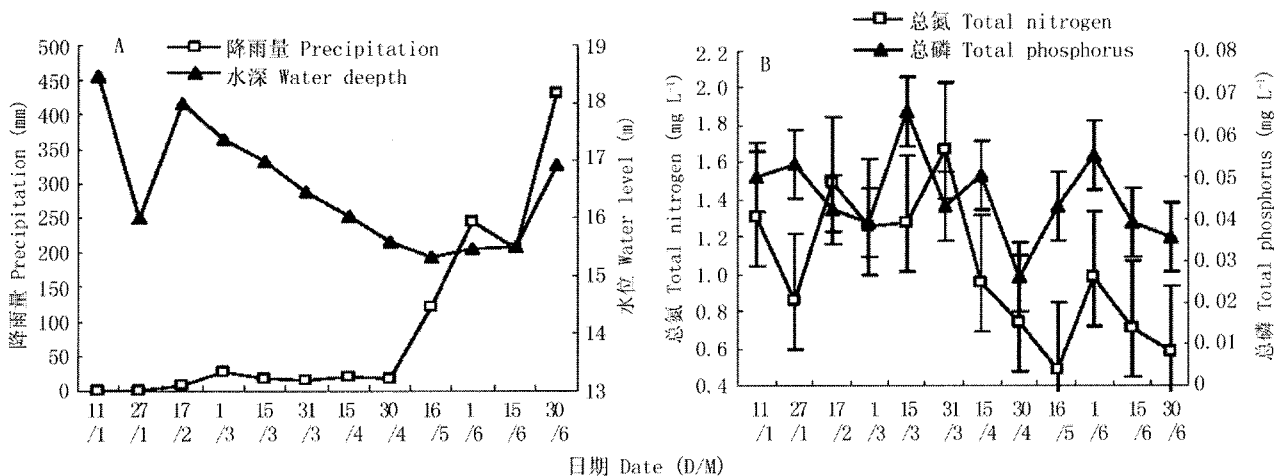


图 2 2005 年 1-6 月大镜山水库的水位、降雨量(A)、总氮和总磷(B)的动态分布

Fig. 2 Water level, precipitation (A) and total nitrogen and total phosphorus (B) in Dajingshan Reservoir from January to June, 2005

2.2 浮游植物的种类组成

12 次采样中共检测到浮游植物 76 种,每次采样均有 50 种左右,浮游植物种类的组成较为稳定(图 3),主要由绿藻、蓝藻和硅藻等藻类组成,其中,绿藻有 36 种,蓝藻和硅藻均有 16 种,甲藻、金藻各 2 种,裸藻 3 种、隐藻 1 种。蓝藻中的假鱼腥藻(*Pseudanabaena* sp.)、针晶蓝纤维藻(*Dactylococopsis raphidioides*)、水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、小形色球藻(*Chroococcus minor*)、拟柱孢藻(*Cylindrospermopsis* sp.)、银灰平裂藻(*Merismopedia glauca*)和 *Limnithix*,绿藻中的镰形纤维藻(*Ankistrodesmus falcatus*)、双对栅藻(*Scenedesmus bijugatus*)、四尾栅藻(*S. quadricauda*)、二形栅藻(*S.*

dimorphus)、单角盘星藻(*Pediastrum simplex*)、单角盘星藻具孔变种(*P. simplex* var. *duodenarium*)、双射盘星藻(*Pediastrum biradiatum*)、凹顶鼓藻(*Euastrum* sp.)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、月牙藻(*Selenastrum bibrainum*)、小空星藻(*Coelastrum microporum*)、韦斯藻(*Westella botryoides*)、硅藻中的肘状针杆藻(*Synedra ulna*)、梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、曲壳藻(*Achnanthes* sp.)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、模糊直链藻(*M. ambigum*)等以及金藻的具尾鱼鳞藻(*Mallomonas candata*),裸藻的棘刺囊裸藻(*Trachelomonas hispida*),以及隐藻(*Cryptomonas* sp.)在采样期间都能检测到,它们是大镜山水库中的常见藻类。

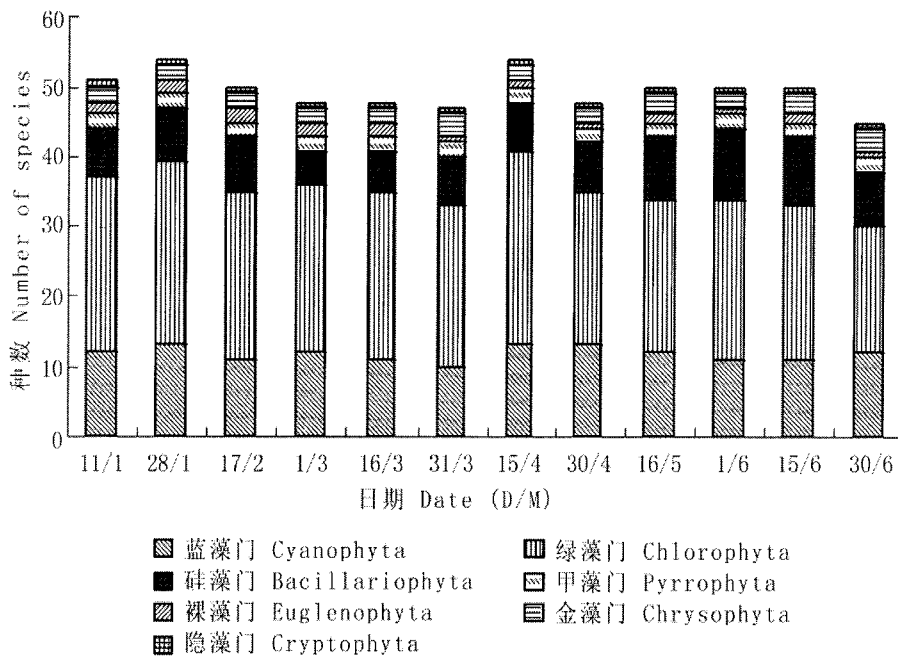


图 3 2005 年 1-6 月大镜山水库浮游植物的种类数量

Fig. 3 Species composition of phytoplankton during January to June, 2005 in Dajingshan Reservoir

在早春, 肘状针杆藻和假鱼腥藻共同成为优势种类, 而针晶蓝纤维藻、曲壳藻和水华微囊藻为次优势藻类; 在晚春, 硅藻中的肘状针杆藻、梅尼小环藻和曲壳藻的数量明显减少, 新出现了平板藻 (*Tabellaria* sp.)、螺旋颗粒直链藻 (*Melosira granulata* var. *angustissima* f. *spiralis*)、颗粒直链藻最窄变种 (*M. granulata* var. *angustissima*) 等。绿藻的数量不多, 但种数最多, 晚春出现了二叉四角藻 (*Tetraëdron bifurcatum*)、长绿梭藻 (*Chlorogonium elongatum*)、斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*)、扁盘栅藻 (*S.*

platydiscus)、异刺四星藻 (*Tetrastrum heterocanthum*)、尖头角星鼓藻 (*Staurastum cuspidatum*) 等种类。

2.3 浮游植物的数量与生物量

大镜山水库 4 个采样点的浮游植物丰度具有相似的动态变化特征, 没有明显的空间差异 ($P>0.05$)。总浮游植物丰度为 $2.86 \times 10^6 - 1.06 \times 10^8$ cells L^{-1} (图 4A), 1 月浮游植物数量相对较低, 从 2 月开始明显增加, 并出现了一个小的波峰, 3 月初略有降低。晚春浮游植物数量明显要高于早春, 4 月份达到最大。

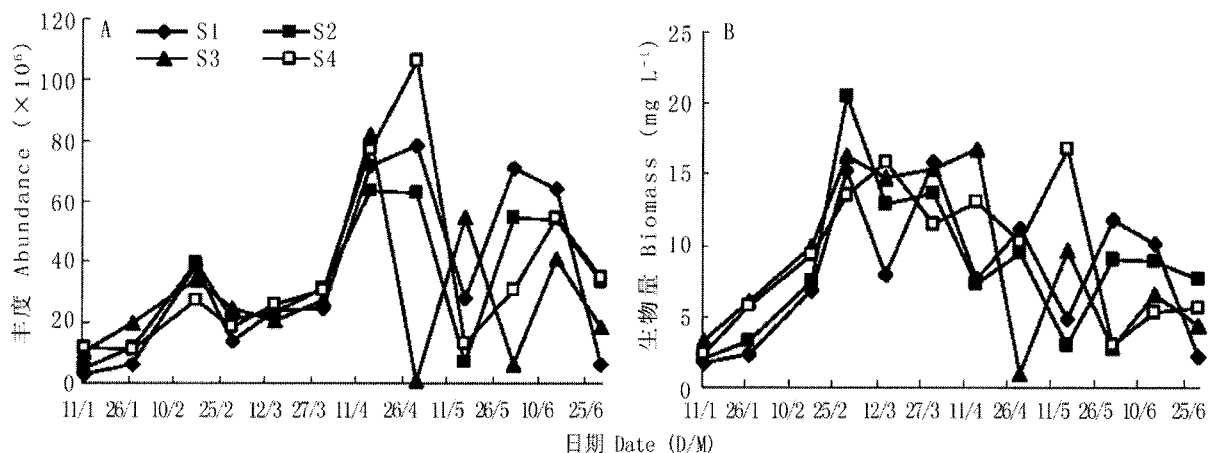


图 4 2005 年 1-6 月大镜山水库浮游植物丰度(A)和生物量(B)的变化

Fig. 4 Changes in abundance (A) and biomass (B) of phytoplankton in Dajingshan Reservoir from January to June, 2005

大镜山水库浮游植物的生物量在 $0.912 - 20.420 \text{ mg L}^{-1}$ 之间变化(图 4B)。1 月初大镜山水库浮游植物的生物量最低, 为 0.912 mg L^{-1} , 但 3 月初达到最高值, 为 20.420 mg L^{-1} 。浮游植物的生物量主要由蓝藻和硅藻及少量甲藻的生物量组成。浮游植物的生物量和叶绿素含量之间表现出较强的正相关关系($Y_{\text{生物量}} = 0.1562X_{\text{叶绿素}} + 2.98$, $R^2 = 0.133$, $n = 48$, $P < 0.05$)。

4 个采样点浮游植物群落的组成也没明显的差

异, 表 1 为采样点 S4 的浮游植物相对丰度构成比例。大镜山水库的浮游植物主要由蓝藻、硅藻、绿藻组成, 其中蓝藻数量占浮游植物总数的比例最高, 为 $65.71\% - 98.37\%$; 其次是硅藻, 最高时为 40.51% , 且早春明显要高于晚春, 6 月份硅藻数量不足 1% 。在晚春, 硅藻数量急剧下降的同时, 蓝藻所占的比例大大提高, 虽然出现了许多新的绿藻种类, 但是这些藻类的个体数量很少, 因此绿藻所占的比例并没有提高。

表 1 2005 年 1-6 月抽水入库口(S4)浮游植物丰度组成 (%)

Table 1 Relative abundance (%) of the composition of phytoplankton community at the water inlet mouth (S4)

日期 Date (D/M)	蓝藻 Cyanophyta	绿藻 Chlorophyta	硅藻 Bacillariophyta	甲藻 Pyrrophyta	金藻 Chrysophyta	裸藻 Euglenophyta	隐藻 Cryptophyta
11/1	55.262	16.330	28.097	0	0.156	0	0.156
27/1	50.526	5.236	40.513	2.996	0.351	0.351	0.027
17/2	76.708	6.464	15.366	1.306	0.070	0.070	0.018
1/3	67.439	6.975	23.542	1.635	0.109	0.082	0.022
15/3	65.711	8.189	26.416	0.212	0.058	0.077	0.116
31/3	81.650	3.610	14.410	0.187	0	1.247	0.062
15/4	90.619	5.136	3.948	0.161	0.012	0.111	0.012
30/4	9.707	1.192	1.542	0.179	0.009	0.009	0
16/5	81.418	7.402	9.055	0.787	0	1.338	0
1/6	96.063	1.995	1.732	0.210	0	0	0
15/6	98.366	0.771	0.496	0.257	0.007	0	0.037
30/6	96.893	1.961	0.769	0.204	0.016	0.110	0.047

2.4 浮游植物优势种的数量与生物量

早春以假鱼腥藻和肘状针杆藻为优势藻, 而晚春仅以假鱼腥藻为优势藻(图 5 A)。假鱼腥藻的丰度在 $5.36 \times 10^6 - 94.16 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 之间, 在 4 月末达到最大值, 而在晚春丰度的变化幅度也较大。肘状针杆藻的丰度在早春随水温上升而增加, 3 月中旬达到最大值($4.29 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$), 而在晚春丰度逐渐降低。3 月后针晶蓝纤维藻和小球藻等一些小型藻类迅速增加, 4 月份这些藻类的数量达到最大值, 分别为 $11.83 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$ 和 $2.95 \times 10^6 \text{ cells L}^{-1}$, 成为水库浮游植物中的次优势藻。假鱼腥藻和肘状针杆藻的生物量决定了水库浮游植物生物量的大小。在 1-3 月, 假鱼腥藻的平均生物量为 2.898 mg L^{-1} , 4-6 月为 5.579 mg L^{-1} ; 而肘状针杆藻在 1-3 月的平均生物量为 4.976 mg L^{-1} , 4-6 月为 0.229 mg L^{-1} (图 5 B)。1-

3 月虽然假鱼腥藻的数量远远超过肘状针杆藻, 但肘状针杆藻的细胞体积要远大于假鱼腥藻, 所以肘状针杆藻的生物量还要高于假鱼腥藻的生物量。1-3 月假鱼腥藻的生物量占整个水库浮游植物生物量的 33.91% , 肘状针杆藻的生物量就达到了 60.23% , 但 4-6 月假鱼腥藻的生物量占整个生物量的 67.02% , 肘状针杆藻仅占 4.27% 。

3 讨论

3.1 浮游植物群落的种类组成

水体浮游植物种类的组成是由浮游植物对水体环境适应的结果。大镜山水库是一个富营养化程度较高的水体, 浮游植物的种类数量变化较小。浮游植物群落的种类组成与动态, 与一般富营养化水体相类似, 早春以硅藻和蓝藻占优势, 水体分层后,

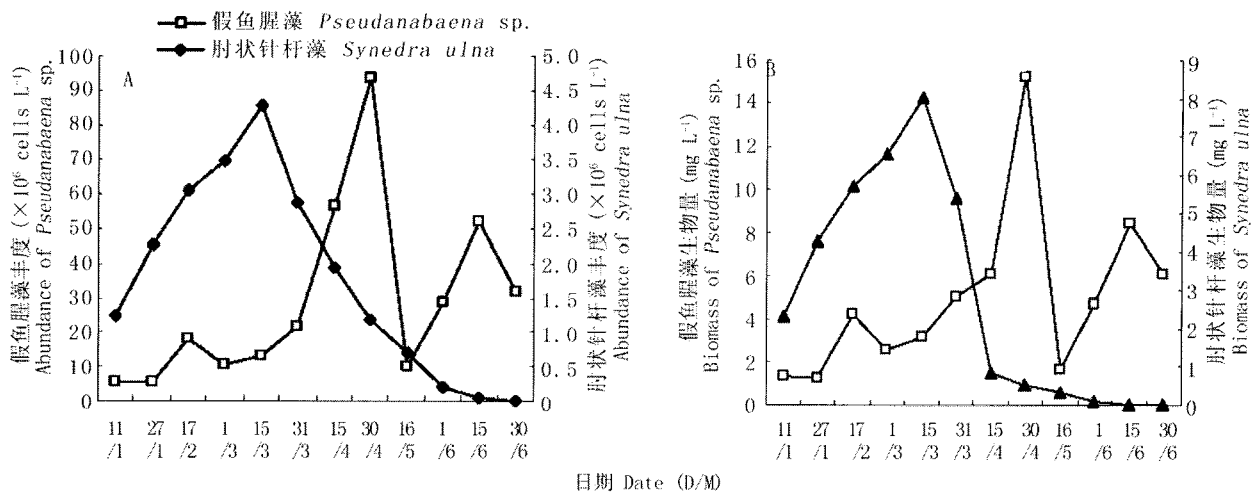


图 5 大镜山水库优势种类假鱼腥藻和肘状针杆藻的丰度 (A) 与生物量 (B) 的动态变化

Fig. 5 The dynamics of abundance (A) and biomass (B) of dominant phytoplankton of *Pseudanabaena* sp. and *Synedra ulna* in Dajingshan Reservoir

以蓝藻占优势,特别是丝状蓝藻中的假鱼腥藻占绝对的优势。在早春,硅藻的肘状针杆藻和蓝藻的假鱼腥藻为优势种类。此时水库水温略高于 15℃,水体没有分层。硅藻能够成为优势种类是由于其适合在混合水体生活的结果。在贫营养水体中,美丽针杆藻通常为优势种^[22],而在富营养化水体中出现肘状针杆藻,则说明该种类能适应较高的营养盐浓度。大镜山水库在地理上处于南亚热带,水温较高且季节差异相对小,且营养盐浓度较高,形成了有利于蓝藻生存的环境条件^[23-26]。进入晚春后,水体出现了明显的分层,水体的混合强度减弱,比重较大的硅藻难以在水体得到足够的悬浮条件^[27]。水温和硅藻的丰度及生物量表现出较强的负相关($Y_{\text{硅藻丰度}} = -1.706X_{\text{水温}} + 25.724, R^2 = 0.538, n = 48, P < 0.01$; $Y_{\text{硅藻生物量}} = -0.8X_{\text{水温}} + 23.711, R^2 = 0.305, n = 48, P < 0.01$)很好地说明了硅藻对低水温的适应性。此时蓝藻的生物量增加,优势度进一步提高,这是水温和营养盐为其提供了适宜的生长条件和物质基础。水温与蓝藻丰度和生物量之间呈正相关关系($Y_{\text{蓝藻丰度}} = 7.763 \times 10^4 X_{\text{水温}} + 18.782, R^2 = 0.168, n = 48, P < 0.05$; $Y_{\text{蓝藻生物量}} = 0.54X_{\text{水温}} + 18.789, R^2 = 0.138, n = 48, P < 0.05$)。晚春的自然降雨增加,从河流抽水的入库量减少,总入库水量减少,但出库水量仍稳定在 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$,导致水库水力滞留时间有所下降,水体分层现象仍然存在,所以浮游植物群落以蓝藻为优势类群。

3.2 浮游植物的数量与生物量

大镜山水库浮游植物的丰度和生物量的变化动态与其它类型水库表现出不同的特征。浮游植物对水温升高的响应表现在浮游植物的生物量随水温的上升有明显增加,从 2 月开始,水体叶绿素含量和浮游植物的生物量有了较为明显的增加,这是因为硅藻和蓝藻及裸藻的生物量增加明显,在 3 月中旬达到最高。4 月份后降水量明显增加,调水入库的水量减少,导致外源性的营养盐负荷减少,对水库营养盐浓度有稀释作用,水体的滞留时间下降,晚春的营养盐浓度较早春明显下降(总氮低于 0.60 mg L^{-1})。整个采样期间,降雨量与水库 TN、TP 浓度呈较为显著的负相关($Y_{\text{降雨量}} = -158.056X_{\text{TN}} + 255.283, R^2 = 0.497, n = 48, P < 0.01$)。在晚春,浮游植物的生物量总体上呈下降趋势,但波动幅度较大,可能是大量降水入库导致水体营养盐浓度的下降,且降水又导致表层水的混合^[28]。在晚春,水位下降,水库水量减少,自然降水对水库水体浊度的影响程度增加($Y_{\text{降雨量}} = -356.994X_{\text{透明度}} + 367.99, R^2 = 0.38, n = 48, P < 0.05$)。这一时期,入库水量主要由降水组成,相对早春期间,水库水体的滞留时间减少,相应地降低了浮游植物生物量的积累速率。从大镜山水库浮游植物的数量与生物量的动态变化可以看出,与贫营养水体相比,富营养化水库水文条件对藻类生长的影响更为重要, Horn^[29]在研究澳大利亚水库时有类似的结论。

参考文献

- [1] Calijuri M C, Dos Santos A C A. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP-Brazil) [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 445:11-26.
- [2] Negro A I, Hoyos C D, Vega J. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain) [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424:25-37.
- [3] Evans J H. Spatial and seasonal distribution of phytoplankton in an African Rift Valley Lake (L. Albert, Uganda, Zaire) [J]. *Hydrobiologia*, 1997, 354:1-16.
- [4] Kamenir Y, Dubinsky Z, Zohary T. Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake [J]. *Hydrobiologia*, 2004, 520:89-104.
- [5] Reynolds C S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status? [J] *Hydrobiologia*, 1998, 369-370:11-26.
- [6] 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.
- [7] 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)*, 2003, 23:2278-2284.(in Chinese)
- [8] Piet G J, Vijverberg J. Environmental perturbation and the structure and functioning of tropical aquatic ecosystem [J]. *J Aquat Ecosyst Stress Recov*, 1999, 6:265-279.
- [9] Gomes L C, Miranda L E. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the Upper Paraná River Basin, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2001, 457:205-214.
- [10] Naselli-Flores L. Phytoplankton assemblages in twenty-one Sicilian reservoirs: relationships between species composition and environmental factors [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424:1-11.
- [11] Kotou 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.
- [12] An K-G, Jones J R. Factors regulating blue green dominance in a reservoir directly influenced by the Asian monsoon [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 432:37-48.
- [13] Lewis W M. Basis for the protection and management of tropical lakes [J]. *Lakes Reservoirs: Res Manag*, 2000, 5:35-48.
- [14] Thornton K W, Kimmel B L, Payne F E. *Reservoir Limnology: Ecological Perspectives* [M]. New York: A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons Inc., 1990:654-661.
- [15] Straskraba M, Tundisi J G. *Guidelines of Lake Management Volume 9: Reservoir Water Quality Management* [M]. Japan: International Lake Environment Committee, 1999:1-229.
- [16] Han B P, Armengol J, Garcia J C, et al. The thermal structure of Sau Reservoir (Spain NE): A simulation approach [J]. *Ecol Mod*, 2000, 125:109-122.
- [17] Naselli-Flores L, Barone R. Importance of water-level fluctuation on population dynamics of cladocerans in a hypertrophic reservoir (Lake Arancio, south-west Sicily, Italy) [J]. *Hydrobiologia*, 1997, 360:223-232.
- [18] Han B P(韩博平), Li T(李铁). *Reservoir Trophic States and the Study of Strategies of Prevention in Guangdong Province* [M]. Beijing: Science Press, 2003:3-6.
- [19] 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)
- [20] Jin X C(金相灿), Tu Q Y(屠清瑛). *The Standard Methods in Lake Eutrophication Investigation* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990:286-302.(in Chinese)
- [21] Sun J(孙军), Liu D Y(刘东艳), Qian S B(钱树本). Study on phytoplankton biomass. I. Phytoplankton measurement biomass from cell volume or plasma volume [J]. *Acta Oceanol Sin(海洋学报)*, 1999, 21:75-85.(in Chinese)
- [22] Reynolds C S. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [23] Beyruth Z. Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 424:51-65.
- [24] Downing J A, Watson S, McCauley E. Predicting cyanobacteria dominance in lakes [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2001, 58:1905-1908.
- [25] Dokulil M T, Teubner K. Cyanobacterial dominance in lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 438:1-12.
- [26] Hunt R J, Matveev V, Jones G J, et al. Structuring of the cyanobacterial community by pelagic fish in subtropical reservoirs: Experimental evidence from Australia [J]. *Freshwat Biol*, 2003, 48:1482-1492.
- [27] Serra T, Colomen J, Baserba C, et al. Quantified distribution of diatoms during the stratified period of Boadella reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2002, 489:235-244.
- [28] Ahn C Y, Chung A S, Oh H M. Rainfall, phycocyanin, and N: P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2002, 474:117-124.
- [29] Horn H. The relative importance of climate and nutrients in controlling phytoplankton growth in Saldenbach Reservoir [J]. *Hydrobiologia*, 2003, 504:159-166.