云贵高原渔洞水库浮游植物群落结构及季节演替

吴卫菊[1,2],杨 凯[1,2],汪志聪[1,2],李根保[1],刘永定[1]

(1. 中国科学院水生生物研究所,湖北 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院,北京 100049)

摘要:2009年11月至2010年10月对云南省昭通市渔洞水库浮游植物群落结构及季节演替进行了周年调查。结果表明,常见浮游植物共7门、96种;其中,绿藻门52种,硅藻门22种,蓝藻门13种,甲藻门3种,隐藻门、金藻门和裸藻门各2种。浮游植物生物量的季节变化表现为春、冬季较低,夏、秋季较高,且在8月达到浮游植物生物量(以细胞数计)最高峰值1.19×10^7个/L,叶绿素a最高峰值可达28.6 μg/L。渔洞水库全年以硅藻门的钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)和尖针杆藻(*Synedra acus*)为主要优势种;另外,3-5月甲藻门的角甲藻(*Ceratium hirundinella*)及金藻门的分歧锥囊藻(*Dinobryon divergens*)是显著的亚优势种。将周年调查结果进行RDA分析,可见影响浮游植物季节演替的主要因素是水温,水温变化与浮游植物生物量成极显著正相关关系($r=0.762$, $P<0.01$);与浮游植物种类数成极显著负相关关系($r=-0.721$, $P<0.01$),与浮游植物生物多样性成显著负相关关系($r=-0.638$, $P<0.05$)。

关键词:渔洞水库;浮游植物;群落结构;季节演替

中图分类号:Q145 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2012)02-0069-07

渔洞水库位于长江上游、金沙江流域、横江支流、洒渔河正源的居乐河上,是云南省库容最大的水库之一,集城市供水、农业灌溉、防洪、发电等功能于一体的综合大型水利骨干工程(赵启荣和李清报,2006)。近年来,随着渔洞水库库区周边社会经济的发展,其水源地生态环境污染问题愈显突出,导致水库水质不断下降,局部库区时有浮游植物大量增加的现象,直接威胁到云南省昭通市的城市用水卫生安全。

浮游植物生长及季节演替是水生态学者一直极为关心的问题,也是反映水体水质较为重要的指标。本文通过对渔洞水库水质及浮游植物的周年调查,探讨和分析了库区浮游植物群落结构特征与季节演替规律及其影响因素,旨在了解渔洞水库浮游植物群落结构组成及演替特征,为水质污染治理工作提供指导及富营养化水库的水质管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

渔洞水库(103°19′~103°32′E,27°10′~27°34′N)控制流域面积709 km^2(代堂刚,2009)。水库地势自西北向东南倾斜,山岭陡峻,河谷深切,形成山间峡谷地形,流域平均宽度8.8 km,平均高程2 241 m,总库容3.64×10^9 m^3,正常蓄水时水库面积为12.9 km^2,最大水深85.0 m,属深水型水库(代堂刚,2008)。昭通市环境监测站从1997年开始对渔洞水库水质进行常年监测及评价。在运行初期,水库综合水质类别变化较大,常为Ⅳ、Ⅴ类(国家环境保护总局,2002)。至2000年后,水质基本趋于稳定,综合水质类别基本保持为Ⅲ类,根据昭通水文水资源网水环境监测水质月报数据绘制图1;但近年来水库的污染因子不再局限于总磷和总氮,水源地生态环境污染问题越来越严峻。

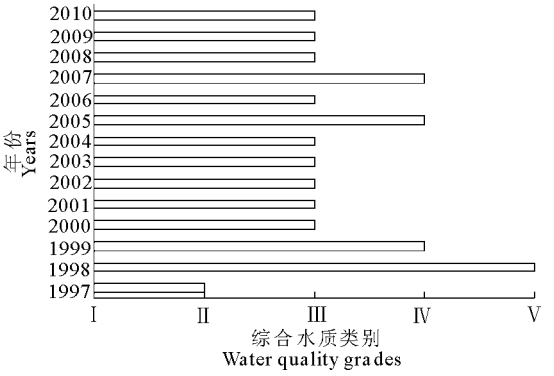


图1 渔洞水库历年综合水质类别

Fig. 1 Yearly water quality grades of the Yudong Reservoir

1.2 样点设置

结合渔洞水库的地形特征及污染源分布情况,

收稿日期:2011-10-25

基金项目:水专项2008ZX07102-005。

通讯作者:李根保。E-mail:ligb@ihb.ac.cn

作者简介:吴卫菊,1985年生,女,博士研究生,主要从事藻类环境生物学研究。E-mail:merry19851017@126.com

分别在水库库前(27°24′02.6″N, 103°33′06.7″E)、库中(27°26′33.1″N, 103°30′46.3″E)、居乐(27°26′49.2″N, 103°33′09.7″E)、瓜寨1号(27°28′17.0″N, 103°32′04.7″E)、瓜寨2号(27°28′03.5″N, 103°31′33.7″E)、库尾(27°28′32.9″N, 103°28′30.7″E)共设置6个采样点,进行了逐月的周年监测,各采样点的位置分布见图2。

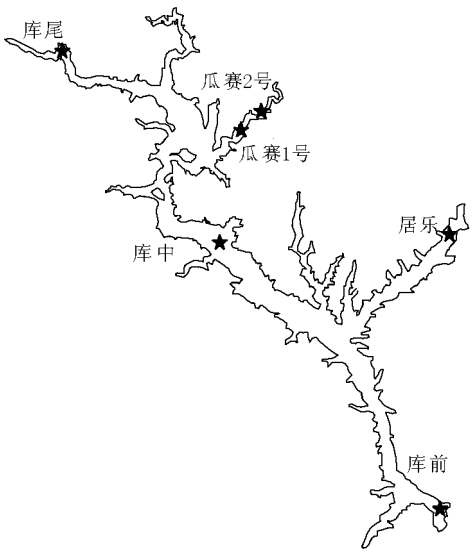


图2 渔洞水库采样点分布

Fig. 2 Sampling stations in Yudong Reservoir

1.3 测量方法

每次采样时对水温(T)、pH值、溶解氧含量(DO)、透明度(SD)等指标进行现场测定;用于浮游植物定性定量分析、叶绿素a含量测定及生物多样性指数计算的样品,进行现场采集后带回实验室分析。温度、溶解氧含量和pH分别使用美国YSI550A便携式溶氧仪及YSI63型便携式pH计进行现场测定,水体透明度用赛氏盘进行测定。浮游植物定性样品用25号浮游植物网采集,装瓶后加入适量鲁格氏液固定,带回实验室镜检;定量水样用采水器取水表下0.5 m处水样1 L,加10 mL鲁格氏液固定,室内静置沉淀24 h后弃去上清液,收集下层藻细胞,用0.1 mL的浮游植物计数框于光学显微镜下鉴定浮游植物种类并计数(胡鸿钧等,1980; APHA,1992)。叶绿素a(Chl-a)含量的测定:取一定量水表下0.5 m处的水样于玻璃纤维滤膜(Whatman GF/C,47 mm)进行抽滤,再加入适量95%乙醇用研钵研磨,转入10 mL离心管中以95%乙醇定容,4℃条件下暗处保存24 h,用分光光度计测定吸光度值并且用公式计算出Chl-a含量(Sartory & Grobbelaar,1984)。

1.4 数据分析

浮游植物生物多样性指数使用Simpson指数计算公式(岳天祥,2001;刘晓红等,2008):

$$D = 1 - \sum (N_i/N)^2$$

式中:D为多样性指数,N_i为物种i的数量,N是所有物种的总数量。

另外,本文中使用SPSS16.0软件进行统计分析,并使用CANOCO 4.5软件对浮游植物和环境因子的相关性进行了RDA分析(Jongman et al,1995)。在CCA分析中,先进行了DCA检验,发现最长轴长小于3,所以最终选择了RDA进行分析。

2 结果与分析

2.1 水体理化指标的周年变化

气温的季节变化是导致渔洞水库水体理化指标改变的主要因素。水温在冬季(1月)达到最低10.5℃,之后开始回升,夏季(8月)升至最高26℃(图3A),水体年均温度为17.5℃。水体pH值的变化趋势与水温相同,冬季降至最低pH 7.26,夏季回升至最高值pH 9.95,年均pH值为8.53(图3B)。水体溶解氧含量和透明度则与水温变化趋势相反,冬季较高,夏季较低;溶解氧含量最大值为9.45 mg/L,最低值仅2.19 mg/L(图3C)。冬季水体透明度最大为2.7 m,夏季最低时仅有0.85 m(图3D);此外,透明度还与水库上游来水量有关,上游来水量越大,所携带的泥沙就越多,也会导致水体浑浊、透明度降低。

2.2 浮游植物种类组成

对渔洞水库浮游植物种类的周年调查,共发现7门、96种常见浮游植物;其中,绿藻门52种,硅藻门22种,蓝藻门13种,甲藻门3种,隐藻门、裸藻门和金藻门各2种。从浮游植物种类组成来看,绿藻门占了54%(图4),但从水体藻细胞数量上分析,水库全年以硅藻门的尖针杆藻(*Synedra acus*)和钝脆杆藻(*Fragilaria capucina*)为主要优势种,另外,3-5月甲藻门的角甲藻(*Ceratium hirundinella*)及金藻门的分歧锥囊藻(*Dinobryon divergens*)也是显著的亚优势种。

本研究中,统计分析及冗余分析(RDA)结果均表明,渔洞水库浮游植物种类数与水温的季节变化呈现极显著负相关性($r = -0.721$, $P < 0.01$,图5)。RDA分析方法中,以水温、pH值、溶解氧含量和水体透明度为环境变量,而浮游植物种类数、浮游植物细胞数、水体叶绿素a含量及生物多样性指数为物

种变量,分析得出浮游植物种类数与水温呈负相关关系。冬春季节(10 – 3 月)水温较低,浮游植物种类较多;反之,夏秋季节(4 – 9 月)水温较高,而浮游植物种类数相对减少(图 6)。渔洞水库浮游植物定性分析结果表明,水库中各位点的浮游植物种类数相差不大,分布比较均匀,库前 7 门、67 种,库中 7 门、66 种,居乐 7 门、68 种,瓜寨 1 号 7 门、71 种,瓜寨 2 号 7 门、70 种,库尾 7 门、66 种。

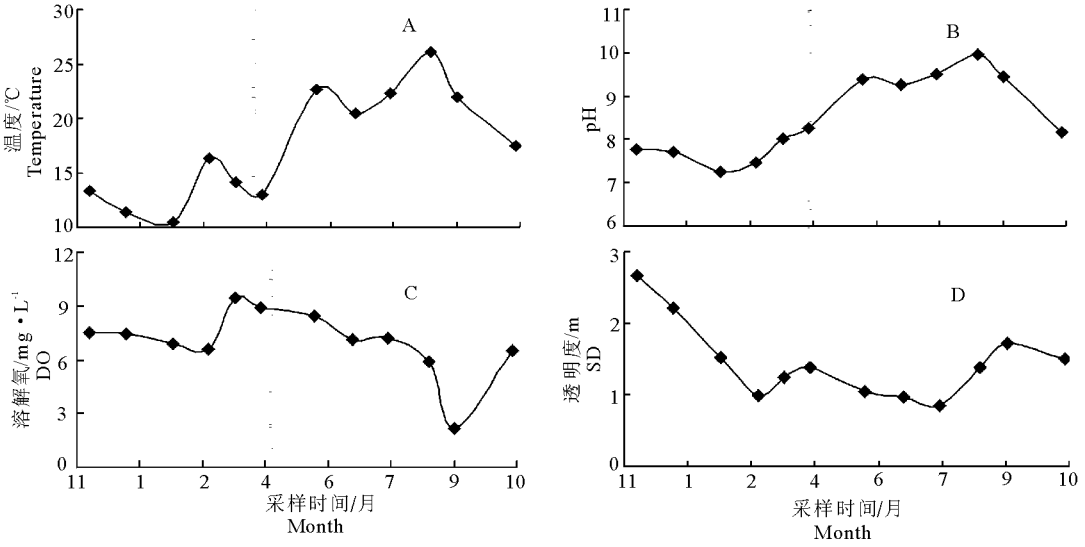


图 3　渔洞水库水体理化指标的季节变化

Fig. 3　Seasonal variation of water physico-chemical parameters in Yudong Reservoir

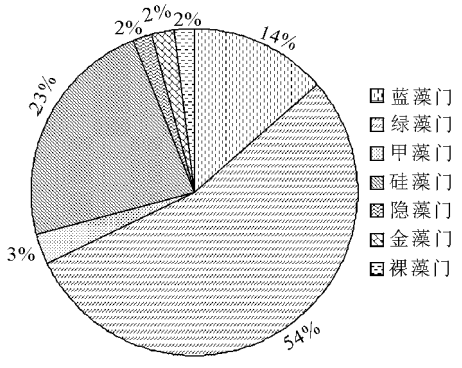


图 4　渔洞水库浮游植物的门类比例

Fig. 4　Composition of all phytoplankton species in Yudong Reservoir during the whole study

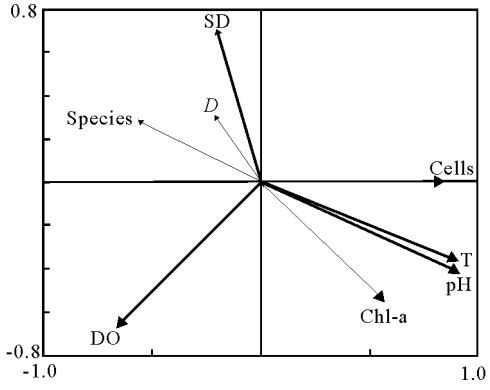


图 5　渔洞水库浮游植物与环境因子的 RDA 分析

Fig. 5　RDA of the relationships between the phytoplanktons and environmental variables

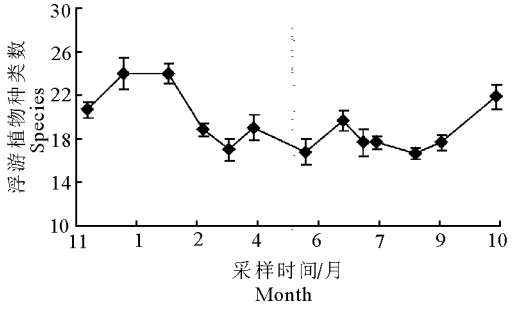


图 6　渔洞水库月均浮游植物种类数

Fig. 6　Average numbers of phytoplankton species by month in the Yudong Reservoir

2.3　浮游植物优势种的周年变化

硅藻门的尖针杆藻和钝脆杆藻全年均为渔洞水库浮游植物中的主要优势种, 3 – 5 月,甲藻门的角甲藻和金藻门的分歧锥囊藻大量出现,成为较为明显的亚优势种(表 1);另外,颗粒直链藻、实球藻及网状空星藻是渔洞水库常见的次优势种。渔洞水库地处云贵高原,是云贵川三省的交界处,正常蓄水水位为海拔 1 985 m,水库水体年均温度为 17.5℃,年均 pH 值为 8.53(图 3),这种低温和弱碱性条件正是大部分硅藻、甲藻和金藻生长的有利时机。

2.4　浮游植物生物量的周年变化

渔洞水库浮游植物生物量及水体叶绿素 a 含量随季节变化而变化。浮游植物生物量在 4.53×10^5 ~ 1.19×10^7 个/L 之间,年均生物量为 $3.02\times$

表1 渔洞水库浮植植物优势种的周年变化

Tab.1 Seasonal variation of dominant species of phytoplankton in Yudong Reservoir

月份	优势种
11	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz,网状空星藻 *Coelastrum reticulatum* (Dang) Senn
12	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz, 盘星藻 *Pediastrum* sp.
1	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz, 钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,直链藻 *Melosira* sp.
2	钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,直链藻 *Melosira* sp.
3	钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,角甲藻 *Ceratium hirundinella* (müll) Schr,分歧锥囊藻 *Dinobryon divergens* Imh
4	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz,钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,角甲藻 *Ceratium hirundinella* (müll) Schr
5	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz,分歧锥囊藻 *Dinobryon divergens* Imh
6	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz
7	钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,实球藻 *Pandorina morum* (Muell) Bory
8	钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,实球藻 *Pandorina morum* (Muell) Bory
9	尖针杆藻 *Synedra acus* Kütz,钝脆杆藻 *Fragilaria capucina* Desm,角甲藻 *Ceratium hirundinella* (müll) Schr
10	粘杆藻 *Gloeothece* sp.,网状空星藻 *Coelastrum reticulatum* (Dang) Senn

10^6 个/L,水体叶绿素 a 含量在 3.56 ~ 28.6 μg/L,年均值为 12.3 μg/L。春末夏初,随着水温的回升,浮游植物生长速度加快,生物量逐渐升高,水体叶绿素 a 含量也逐渐上升。浮游植物生物量及水体叶绿素 a 含量在水温最高的季节达到峰值,分别为 1.19×10^7 个/L 及 28.6 μg/L;至秋末冬初,由于水温下降,浮游植物生长速度减慢,密度开始降低(图 7),相应地,水体叶绿素含量也逐渐降低(图 8),水温下降到最低点时,浮游植物生物量及水体叶绿素含量也降至最小值,分别为 4.53×10^5 个/L 和 3.56 μg/L。统计分析结果也表明,水体温度极显著正相关于浮游植物生物量($r=0.762$, $P<0.01$)和水体叶绿素 a 含量($r=0.725$, $P<0.01$)。

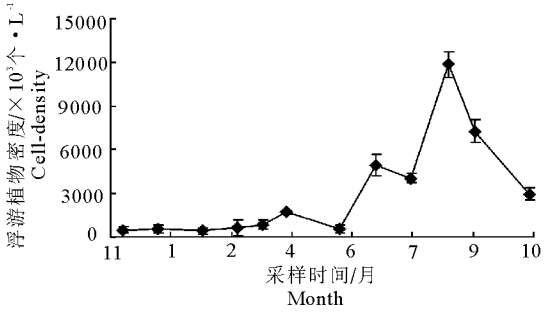


图7 渔洞水库月均浮游植物密度

Fig.7 Average phytoplankton cell-density in the Yudong Reservoir every month

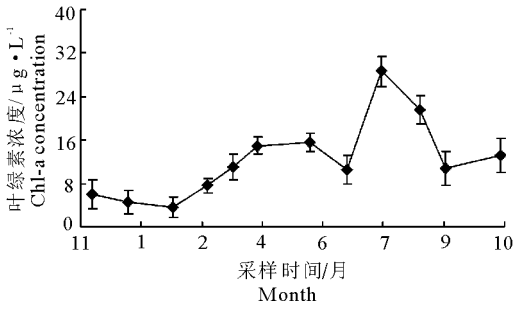


图8 渔洞水库月均叶绿素 a 含量

Fig.8 Average Chl-a concentration in the Yudong Reservoir every month

2.5 生物多样性指数的周年变化

生物多样性指数是水质评价的重要指标。本文采用 Simpson 指数对生物多样性进行计算。RDA 分析表明(图 5),渔洞水库浮游植物多样性与水体温度呈显著负相关关系($r=-0.638$, $P<0.05$)。冬春季节水温较低时,水库浮游植物优势种不明显,生物多样性较高,生物多样性指数最高值出现在 4 月,为 0.83;而夏秋季节水温较高时,水库浮游植物生物多样性稍低,生物多样性指数均值为 0.69(图 9)。目前,渔洞水库水体属于中营养状态,综合水质基本维持在Ⅲ类,水体浮游植物种类较为丰富,生物多样性较高。

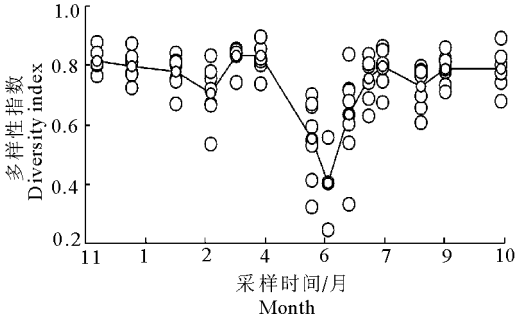


图9 渔洞水库月均生物多样性指数

Fig.9 Average diversity index in the Yudong Reservoir every month

3 讨论

3.1 理化因子对浮游植物的影响

渔洞水库水体理化指标呈现明显的季节变化。冬春季节水温较低时,水体 pH 值较低,溶解氧含量及水体透明度较高;夏秋季节水温较高时,水体 pH 值较高,而溶解氧含量及透明度则较低;这是因为温度对藻类生长活动有至关重要的影响(金相灿等,2008)。温度通过控制光合作用的酶促反应及呼吸作用强度,直接影响藻类的繁殖,并且温度可以通过控制水体中各类营养物的溶解度、离解度或分解率

等理化过程间接影响藻类的生长(王志红等,2005)。夏秋季节温度较高时,藻类生长繁殖较快,而冬春季节水温较低时,其生长也相对减慢;而藻类生物量的变化又会对水体理化指标造成影响,随着水温的升高,藻类生长繁殖的速度加快,吸收水中游离的及化合的 CO_2,导致水中 OH^- 增多,水体 pH 值增大。随着季节变化,气候变冷,水温开始下降,藻类生长减缓,pH 值也缓慢回落;这与代堂刚(2008)用二氧化碳 - 重碳酸盐 - 碳酸盐间的平衡来解释渔洞水库水温和 pH 变化结果是一致的。由于藻类生物量直接影响到水体透明度的高低,而浮游植物生物量与水温变化呈显著正相关关系,因而渔洞水库水体透明度也呈现明显的季节变化。虽然溶解氧含量受到水温和藻类生物量的双重影响,但渔洞水库最大溶解氧含量出现在水温最低的 2 月,而最低溶解氧含量出现在水温最高的 8 月,说明水温是影响渔洞水库水体溶氧含量的主要因素。冬季,水体中藻类生物量较少,光合作用效率也较低,但由于水温越低溶解于水体的空气越多,所以水中溶解氧的含量愈高。夏季,虽然藻类大量繁殖,光合作用效率也较高,但由于夏季水温的迅速上升,水体溶解氧含量还是明显下降。

以水温、pH 值、溶解氧含量和水体透明度为环境变量,以浮游植物种类数、浮游植物细胞数、水体叶绿素 a 含量及生物多样性指数为物种变量进行 RDA 分析,结果表明浮游植物物种数、浮游植物生物多样性、水体透明度及溶氧含量与温度呈显著负相关性,而浮游植物细胞数、水体叶绿素 a 含量及 pH 值与水温呈正相关关系。冬春季节(10 - 3 月)水温较低,浮游植物生长缓慢,生物量较低,优势种与其他种之间的生物量差别不大,故优势种不明显,但种类较多,生物多样性较高;反之,夏秋季节(4 - 9 月)水温较高,浮游植物生长繁殖速度加快,生物量迅速增加,优势种较为显著,尖针杆藻和钝脆杆藻成为整个浮游植物种群中的优势种,而浮游植物种类数相对减少(图 6),生物多样性也显著降低。

3.2　水文因子对浮游植物的影响

水库中浮游植物生长不仅与水体环境中的光(方涛等,2006)、温度、无机盐(林秋奇等,2003)、溶解氧、浮游动物、鱼类(Sterner, 1989;韦桂峰等,2003)等生态因子密切相关,而且还与水流速、滞留时间以及水域形态特征也有很大的关联(苏玉萍等,2006)。渔洞水库中浮游植物生长状态虽然与水体温度、DO 含量、pH 值及水体透明度有着紧密联系(图 5);浮游植物生物量、种类数及叶绿素 a 含量呈现明显的季节变化,但从浮游植物种类及多样性的空间分布来看,水库中各采样位点的浮游植物丰度及优势种相近,季节性变化趋势也相似,这说明水库水文因子对浮游植物群落空间分布的影响并不显著。

渔洞水库多年平均流量为 11.6 m^3/s,水流速在每年夏季(7 - 9 月)最大,平均流速为28.52 m^3/s,冬季枯水期降到最低,仅有 1.99 m^3/s(王金文等,1999);水流速的季节性差异会影响渔洞水库浮游植物多样性。夏季,由于水体流速较大,只能适宜抗机械损伤能力强及耐磨损的藻类生长,而其他的藻类生长则会受到影响和抑制(Reynolds et al,1994);这在一定程度上会导致浮游植物多样性的降低,并且对浮游植物优势种的形成造成选择。冬季,随着枯水季节的到来,水流速度减缓,利于各种不耐磨损藻类的生长,从而对浮游植物多样性的增加起到了促进作用。因此,水文因子对渔洞水库浮游植物多样性及优势种形成的时间分布有一定影响。

渔洞水库浮游植物的主要优势种为硅藻门的尖针杆藻和钝脆杆藻;另外,3 - 5 月,甲藻门的角甲藻和金藻门的分歧锥囊藻大量出现,这 3 个门类的藻有共同的特点,一般生长在透明度较高、有机质含量较低、温度较低的环境中;另一方面,温度虽是浮游植物季节性变化的主要非生物因素之一(Reynolds,1984;Wu et al,2010);但在渔洞水库中,硅藻丰度与水温的相关性并不明显。渔洞水库全年的水温变幅相差 16℃以上,但硅藻在全年均为优势种,这点与广东流溪河水库(林秋奇等,2003)、山峡水库(张远等,2006)的情况非常相似;这是因为水库受人为调控以及流域频繁降雨径流的扰动,水体透明度、营养盐和水流速频繁波动(Han et al,2000;林秋奇和韩博平,2001);比较适合硅藻这一类具有硅质壁能抗机械损伤、耐磨损、对光的快速变化适应能力比较强的种类生长(Reynolds et al,1994);故硅藻在水库中全年均占明显优势。Cardoso & Motta(2004)认为硅藻的生长与风力及水流速度显著相关;Smayda(1980)的研究也认为硅藻是水体水动力学上很好的指示种,它们是经常出现在水体急流区的典型浮游植物种类(Costa et al,2011)。

3.3　渔洞水库水质研究展望

综上所述,水温是影响渔洞水库浮游植物结构季节性变化的主要因素,而水文动力学对水库浮游植物多样性及优势种的形成有较大影响。渔洞水库

自1997年进行水质监测以来,水质由初期的Ⅴ类逐渐转变为目前的Ⅲ类,保持为中营养状态;其中,氮、磷含量随水库蓄水量、气温的变化而变化,有时达到Ⅳ类;2008年5月还曾发生了蓝藻水华,严重影响了水库水质及当地的正常供水。渔洞水库径流区面积宽广、地形地貌复杂、自然条件差、森林植被覆盖率低、水土流失严重、生态环境较为脆弱,若不及时对水库水质进行预防和治理,将会对库区水质安全形成安全隐患,加大供水风险。加强渔洞水库水资源保护,确保水资源循环利用,长期发挥其生态效益,是当地经济可持续发展的重要保证。

目前,国内对渔洞水库这种深水型水温分层水库,尤其是高海拔地区水库浮游生物的研究尚处于起步阶段(何国全等,2006;李秋华等,2007;Becker et al,2008;Nakane et al,2008);对亚热带水库的研究也主要集中在探索浮游植物的时空变化,而对水库水体动力学、水化学、光照、营养盐、浮游动物、水温变化及水库沉积物对浮游植物尤其是优势种变化的影响却研究较少(Becker et al,2009;Tian et al,2009),这也是今后渔洞水库水质防治及监测研究工作中值得深入探讨的问题。

志谢:感谢中国科学院水生生物研究所肖邦定老师提供的水库水体理化指标现场测定;感谢昭通市渔洞水库管理局熊永英、殷国竹等给予现场采样帮助。

参考文献

代堂刚. 2008. 季节变化对渔洞水库水温、水质的影响分析[J]. 水资源研究,29(4):15-17.

代堂刚. 2009. 季节变化对渔洞水库水质的影响[J]. 水资源研究,30(4):38-41.

方涛,李道季,余立华,等. 2006. 光照和营养盐磷对微型及微微型浮游植物生长的影响[J]. 生态学报,26(9):2783-2789.

国家环境保护总局. 2002. 地表水环境质量标准[M]. 北京:中国环境科学出版社.

何国全,雷腊梅,韩博平. 2006. 南亚热带河流型水库浮游植物群落的季节变化-以广东飞来峡水库为例[J]. 热带亚热带植物学报,14(3):183-189.

胡鸿钧,李尧英,魏印心,等. 1980. 中国淡水藻类[M]. 上海:上海科学技术出版社.

金相灿,储昭升,杨波,等. 2008. 温度对水华微囊藻及孟氏浮游蓝丝藻生长、光合作用及浮力变化的影响[J]. 环境科学学报,28(1):50-55.

李秋华,胡韧,韩博平. 2007. 南亚热带贫营养水库春节浮游植物群落结构与动态[J]. 植物生态学报,31(2):313-319.

林秋奇,胡韧,韩博平. 2003. 流溪河水库水动力学对营养盐和浮游植物分布的影响[J]. 生态学报,23(11):2278-2284.

林秋奇,韩博平. 2001. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用[J]. 生态学报,21(6):1034-1040.

刘晓红,李校,彭志杰. 2008. 生物多样性计算方法的探讨[J]. 河北林果研究,23(2):166-168.

苏玉萍,陈娜蓉,林婉珍,等. 2006. 福建省山仔水库浮游植物特征与水体富营养状况分析[J]. 亚热带资源与环境学报,1(2):48-54.

王金文,陈思,张友权. 1999. 渔洞水库入库月径流量过程的随机模拟[J]. 云南水力发电,15(1):8-13.

韦桂峰,王肇鼎,练健生. 2003. 大亚湾大鹏澳水域春季浮游植物优势种的演替[J]. 生态学报,23(11):2285-2292.

岳天祥. 2001. 生物多样性研究及其问题[J]. 生态学报,21(3):462-467.

张远,郑丙辉,刘鸿亮. 2006. 三峡水库蓄水后的浮游植物特征变化及影响因素[J]. 长江流域资源与环境,15(2):254-258.

赵启荣,李清报. 2006. 渔洞水库水质污染与防治研究[J]. 云南环境科学,25(增刊):79-81.

American Public Health Association. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th edn[M]. Washington D C:American Public Health Association.

Becker V, Huszar V L, Naselli-Flores L, et al. 2008. Phytoplankton equilibrium phases during thermal stratification in a deep subtropical reservoir[J]. Freshwater Biology,53(5):952-963.

Becker V, de Souza Cardoso L, Huszar V L. 2009. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period[J]. Aquatic Ecology,43(2):285-293.

Cardoso L S, Motta Marques D M L. 2004. Seasonal composition of the phytoplankton community in Itapeva Lake (north coast of Rio Grande do Sul-Brazil) in function of hydrodynamic aspects[J]. Acta Limnol Brasil,16(4):401-416.

Costa V B, Sousa E B, Pinheiro S C C, et al. 2011. Effects of a high energy coastal environment on the structure and dynamics of phytoplankton communities (Brazilian Amazon littoral)[J]. Journal of Coastal Research,64:354-358.

Han B P, Armengol J, Garcia J C, et al. 2000. The thermal structure of Sau Reservoir (NE:Spain):a simulation approach[J]. Ecological Modelling,125(2-3):109-122.

Jongman R H G, ter Braak C J F, Van Tongeren O F R. 1995. Data analysis in community and landscape ecology[M]. Cambridge:Cambridge University Press.

Nakane T, Nakaka K, Bouman H, et al. 2008. Environmental control of short-term variation in the plankton community of inner Tokyo Bay, Japan[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 78(4): 796 – 810.

Reynolds C S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton [M]. Cambridge: Cambridge University Press.

Reynolds C S, Descy J P, Padisak J. 1994. Are phytoplankton dynamics in rivers so different from those in shallow lakes [J]. Hydrobiologia, 289(1 – 3): 1 – 7.

Sartory D P, Grobbelaar J U. 1984. Extraction of chlorophylla from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis[J]. Hydrobiologia, 114(3): 177 – 187.

Smayda T J. 1980. Phytoplankton species succession[M]//Morris I. The Physiological Ecology of Phytoplankton. Berkeley: University of California Press: 493 – 570.

Sterner R W. 1989. The role of grazers in phytoplankton succession [M]//Sommer U. Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities. Berlin: Springer-Verlag: 107 – 170.

Tian T, Merico A, Su J, et al. 2009. Importance of resuspended sediment dynamics for the phytoplankton spring bloom in a coastal marine ecosystem[J]. Journal of Sea Research, 62(4): 214 – 228.

Wu W J, Li G B, Li D H, et al. 2010. Temperature may be the dominating factor on the alternant succession of *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa* in Dianchi Lake [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 19(5): 846 – 853.

(责任编辑　万月华)

Community Structure and Seasonal Succession of Phytoplankton in Yudong Reservoir of Yungui-plateau

WU Wei-ju[1,2], YANG Kai[1,2], WANG Zhi-cong[1,2], LI Gen-bao[1], LIU Yong-ding[1]

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, P. R. China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China)

Abstract: The community structure and seasonal succession of phytoplankton were investigated every month from November 2009 to October 2010 in the Yudong Reservoir, Zhaotong City, Yunnan Province. A total of 96 phytoplanktonic algal species belonging to 7 phyla were identified, including 52 species of Chlorophyta, 22 species of Bacillariophyta, 13 species of Cyanophyta, 3 species of Pyrrophyta, and 2 species each of Cryptophyta, Chrysophyta, and Euglenophyta. The biomass of phytoplankton in the reservoir was lower in winter and spring that in summer and autumn. The peak cell density of algae was 1.19×10^7 cells/L in August and the peak chlorophyll-a concentration was 28.6 μg/L. The dominant species in the reservoir were *Fragilaria capucina* Desm. and *Synedra acus* Kütz. of the Bacillariophyta at all times of the year, in addition, *Ceratium hirundinella* (müll.) Schr. of Pyrrophyta and *Dinobryon divergens* Imh. of Chrysophyta were subdominant species from March to May. The relationship between seasonal succession of phytoplankton and environmental factors was analyzed by using redundancy analysis (RDA). The result showed that the most important factor was water temperature. Water temperature presented a significant positive correlation with biomass of phytoplankton in the reservoir ($r = 0.762$, $P < 0.01$), but a significant negative correlation with phytoplankton species ($r = -0.721$, $P < 0.01$), and a negative correlation with diversity index ($r = -0.638$, $P < 0.05$).

Key words: Yudong Reservoir; phytoplankton; community structure; seasonal succession