

滦河水库系统浮游植物时空变化特征研究

周绪申, 林超, 罗阳

(水利部海河水利委员会, 天津 300170)

摘要 2009年对滦河水库系统潘家口-大黑汀水库的浮游植物时空变化特征进行研究,结果表明,潘家口-大黑汀水库共监测到浮游植物8门34科62属,其中本次研究共发现库区新记录藻类11属,种类最多的为绿藻门和硅藻门,分别有27属和14属,分别占32.4%和23.5%;其中优势种类为8属,常见种类为17属,次常见或稀有种类为37属。藻密度在春末和夏初较小,在秋季的8、9月生长量达到最大,在冬季又开始降低,以潘家口坝上样点为例,5月藻密度为160.9万个·L⁻¹,9月藻密度1721.27万个·L⁻¹,春季主要的优势类群为硅甲藻,夏季为隐硅藻,秋季为蓝绿藻,夏秋季节的优势属为假鱼腥藻(蓝藻门)。藻类分布存在空间性差异,种类最多的样点(下池)共发现43属,种类最少的样点(大黑汀库区)仅发现20属。与20世纪80年代的调查结果相比,47属为共有浮游植物,相似性系数为64.8%,浮游植物群落结构由硅藻型向蓝-绿藻型转变,其中变化最大的样点为潘家口坝上,相似性系数仅为29.4%,藻类密度增加了近20倍,总磷和总氮浓度分别增加1.41倍和3.63倍,潘家口-大黑汀水库富营养化程度呈加剧趋势。

关键词 滦河, 潘家口水库, 浮游植物, 群落组成, 多样性

中图分类号: X173 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)10-1884-08

Temporal and Spatial Variability Analysis of Phytoplankton at the Luanhe River Reservoir System in North China

ZHOU Xu-shen, LIN Chao, LUO Yang

(Haihe River Water Conservancy Committee, Ministry of Water Conservancy, Tianjin 300170, China)

Abstract The phytoplankton community and its temporal and spatial distribution were investigated at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system at Luanhe River of North China in 2009. The Luanhe River is the primary source of water to these reservoirs. The reservoirs have a primary use for storage of drinking water and partially supply Tianjin City with its annual needs. The results showed that the phytoplankton diversity of 62 genera belonging to 34 families in 8 phyla were identified, of which 11 genera are new record to Panjiakou-Daheiting Reservoirs. Bacillariophyta and Chlorophyta are major in phytoplanktonic flora, and have 7 genera (32.4%) and 14 genera (23.5%) respectively. Among phytoplanktonic flora, 8 genera are dominate, 17 genera are common and 37 genera are rare. In late spring and early summer, the algal density value is low and dominate component is Bacillariophyta and Pyrrophyta. In summer and autumn, the algal density value is high and dominate component is Cyanophyta and Chlorophyta. At Panjiakou Dam samples, algal density is 1.609×10^6 Cell·L⁻¹ in May and 1.721×10^7 Cell·L⁻¹ in September. *Pseudanabaena* is dominate genus in summer and autumn. The phytoplankton is abundant in Xiachi samples, in which 43 genera were identified. However, only 20 genera were identified in the center of Daheiting Reservoir. Comparing with the investigation of 1980s, there are 47 shared genera of phytoplankton, and the similarity coefficient is 64.8%. The phytoplankton community structure has changed from diatoms type to blue-green algae and green algae type. The phytoplankton community of Panjiakou Dam samples changed much than other samples and the similarity coefficient is 29.4%. The algae density increased by nearly 20 times, the concentration of total phosphorus and total nitrogen increased by 1.41 times and 3.63 times respectively. Eutrophication of Panjiakou-Daheiting reservoirs has become more aggravated.

Keywords Luanhe River; reservoir system; phytoplankton; community composition; diversity

收稿日期 2010-07-09

基金项目 水利部公益性行业科研专项经费项目(20081135), 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2006CB403408)

作者简介 周绪申(1982—)男, 山东莒县人, 助理工程师, 从事水生生物多样性调查、水质分析等工作。E-mail: jnsszbp@163.com

通讯作者 林超 E-mail: linchao@hwcc.gov.cn

近十多年来,由于水污染加重和富营养化程度的加剧,不仅我国南方湖泊水库经常受到水华爆发的影响^[1-2],北方水库也面临水华爆发的威胁^[3]。浮游植物的种类与数量及其变化情况是水体水质的一个重要表征指标^[4],直接关系到水华的危害程度。浮游植物时空变化特征研究成为一个重要的研究方向^[5],但是,许多研究集中在现状调查和评价方面^[5-6]。本文在调查潘家口-大黑汀水库的浮游植物状况的基础上,重点研究其时空分布特征及多年来水库浮游植物的变化趋势,为今后更好地保护引滦水源提供科学依据。

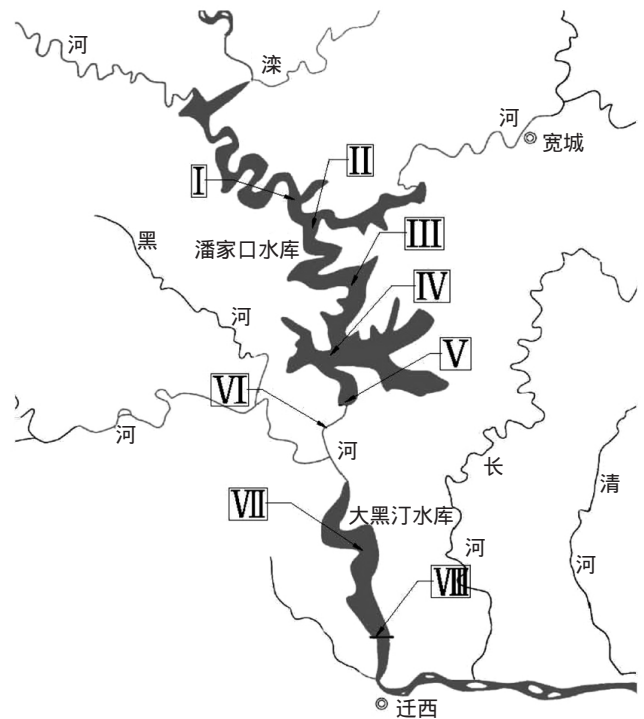
1 材料和方法

1.1 研究区概述

滦河水库系统包括潘家口-大黑汀水库,位于河北省唐山和承德地区滦河干流上,为上下游串联修建而成,控制流域面积达 33 700 km²,上游为内蒙古高原,中游为燕山山脉,下游为冀东平原,本区属冬季受蒙古高压控制,夏季受海洋暖风调节,系中纬度大陆性气候,多年平均降雨量在 400~700 mm,有清河、瀑河、柳河等多条支流注入该水库。它也是我国第一个跨流域供水的大型水库,总库容为 29.3 亿 m³,多年平均径流量 24.5 亿 m³,属多年调节型水库,承担着向天津、唐山供水的重任,兼顾防洪、发电和灌溉^[7]。近年来由于上游经济发展迅速,所产生的生活污水、工厂废水等严重影响水库的水质,另外潘家口水库周边农业非点源污染、水库内网箱养鱼以及水库周边选矿企业,也是影响水体质量的因素,潘家口水库水体由建库初期的贫营养,发展到目前的轻度富营养化到中度富营养化^[8]。潘家口-大黑汀水库 2009 年的总磷和总氮浓度分别为 0.026~0.079 mg·L⁻¹ 和 3.99~7.10 mg·L⁻¹,总氮浓度值已经超过富营养化指标,总磷尚处于中-中富标准,但按照其氮磷比来看,属于低磷、高氮的营养类型,磷或许为藻类生长的一个限制因子,先前的研究表明,需将水库的磷含量减少到现有量的十分之一至五分之一的水平,才能保证水库藻类不超过正常的密度水平^[9]。

1.2 采样点与采样时间

调查水域共设置 8 个采样点,如图 1 所示。其中潘家口水库 5 个,为清河口、瀑河口、燕子峪、潘家口、潘家口坝上;下池调水枢纽的 1 个采样点,为下池。大黑汀水库 2 个,为大黑汀库区和大黑汀坝上;采样时间为从 5 月到 11 月,每月采样 1 次,在每月的月初进行采样,共进行 7 次采样和测定。



清河口、瀑河口、燕子峪、潘家口、潘家口坝上、下池、大黑汀库区、大黑汀坝上

图 1 潘家口-大黑汀水库采样点的布设

Figure 1 Sampling sites in Panjiakou-Daheiting Reservoirs

1.3 研究方法

浮游植物定性则用 25 号浮游生物网,在水下 0.15 m 处作“∞”字型拖曳 3 min 加福尔马林固定,保存于 100 mL 标本瓶中带回分析;浮游植物定量样品则取 1 L 水样于样品瓶中,加鲁哥氏液固定,再静置 24 h,浓缩后采用蔡司 Scope A1 显微镜进行镜检,用浮游生物计数框进行全片计数,然后根据浓缩倍数计算其密度,按照胡鸿钧^[10-11]和国家环保局^[12]的方法进行浮游植物分类。叶绿素 a 采用 YSI 6600 型多参数水质监测仪现场测定。

相似性分析采用 Jrensen 指数的计算公式:

$$S = \frac{2a}{b+c} \times 100\%$$

式中: S 为相似性系数, a 为对比两地的共有属数, b 、 c 为分别出现于两地的物种的属数,对比两者的共有类群越多,其 S 值就越大,相似性就越大。

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落结构组成

通过 2009 年对潘家口-大黑汀水库的藻类监测,共鉴定出藻类 8 门,34 科,62 属,其中绿藻门和硅藻门种类较多,绿藻门为 11 科,27 属,分别占所鉴定科

类的 32.4%和属类的 43.6%,硅藻门为 8 科 14 属,分别占所鉴定科类的 32.4%和属类的 23.5%,其次为蓝藻门,共 6 科 9 属,占属类的 14.5%,隐藻门和黄藻门种类较少,各为 1 属,绿藻门的小球藻科种类最多,为 6 属,其次为栅藻科,为 4 属。如表 1 所示。

取 9 月份浮游植物组成如图 2 所示,从中可以看出在每个样点中蓝藻门和绿藻门为浮游植物的主要类群,是构成浮游植物的主体;其次为硅藻门和隐藻门的类群,占各样点浮游植物组成的少部分;甲藻门、金藻门和裸藻门数量较少。蓝藻门、绿藻门和硅藻门在每个样点都有分布,隐藻门、甲藻门、金藻门和裸藻门只分布在一些样点。在所调查的各个样点中,浮游植物的群落结构组成比例均有差异,在燕子峪、清河口和潘家口 3 个采样点绿藻门数量最多,其余样点中蓝藻门数量最多。以藻类生物学指标评价湖泊营养类型^[13],潘家口-大黑汀水库系统属于“蓝藻、绿藻、硅

藻、鼓藻”的类型,属于中-中富营养型水库。

2.2 浮游植物年内变化

潘家口水库主要水域的平均藻密度、叶绿素 a 和年内变化情况如图 3 所示。总体来看,呈现春末和夏

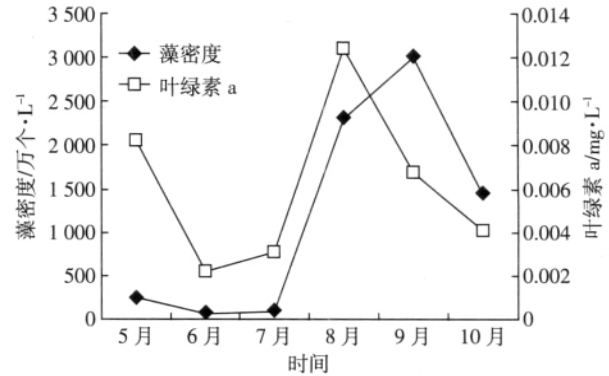


图 3 叶绿素和藻密度的年内变化
Figure 3 Chla and algal density monthly variation in Panjiakou Reservoir

表 1 潘家口-大黑汀水库浮游植物群落结构组成
Table 1 Phytoplankton community of Panjiakou-Daheiting Reservoirs

门类	科类	属数	门类	科类	属数
蓝藻门 Cyanophyta	伪鱼腥藻科 Pseudanabaenaceae	1	硅藻门 Bacillariophyta	脆杆藻科 Fragilariaceae	3
	念珠藻科 Nostocaceae	3		舟形藻科 Naviculaceae	3
	色球藻科 Chroococcaceae	1		平板藻科 Tabellariaceae	1
	颤藻科 Oscillatoriaceae	2		圆筛藻科 Coscinodiscaceae	1
	平裂藻科 Merismopediaceae	1		双菱藻科 Surirellaceae	2
	微囊藻科 Microcystaceae	1		桥弯藻科 Cymbellaceae	1
绿藻门 Chlorophyta	小桩藻科 Characiaceae	1	异极藻科 Gomphonemaceae	2	
	小球藻科 Chlorellaceae	6	直链藻科 Melosiraceae	1	
	衣藻科 Chlamydomonadaceae	2	金藻门 Chrysophyta	棕鞭藻科 Ochromonadaceae	1
	栅藻科 Scenedesmaceae	4	黄群藻科 Synuraceae	1	
	卵囊藻科 Oocystaceae	2	单鞭金藻科 Chromulinaceae	1	
	鼓藻科 Desmidiaceae	4	甲藻门 Pyrrophyta	角甲藻科 Ceratiaceae	1
	团藻科 Volvocaceae	3	薄甲藻科 Glenodiniaceae	1	
	网球藻科 Dictyosphaeraceae	1	多甲藻科 Peridiniaceae	2	
	双星藻科 Zygnemataceae	1	隐藻门 Cryptophyta	隐鞭藻科 Cryptomonadaceae	1
	微孢藻科 Microsporaceae	1	裸藻门 Euglenophyta	裸藻科 Euglenaceae	3
绿球藻科 Chlorococcaceae	2	黄藻门 Xanthophyta	黄丝藻科 Tribonemataceae	1	

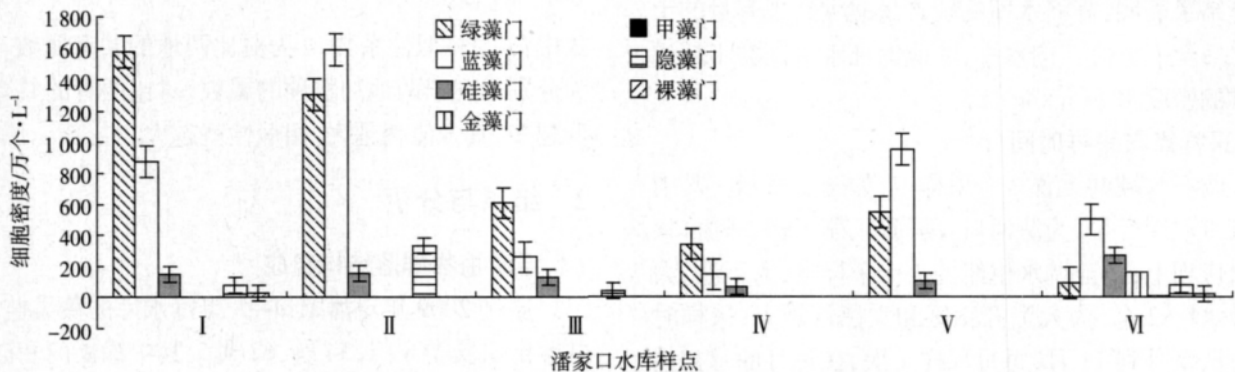


图 2 9 月份潘家口水库浮游植物结构组成
Figure 2 Phytoplankton composition of Panjiakou Reservoir in September

初较小,盛夏和初秋较大,浮游植物的生长高峰出现在 8、9 月份。生长曲线呈双峰现象与其他湖泊的变化情况相类似^[14]。在藻类生长的高峰时期,藻密度达到 3×10^3 万个 $\cdot L^{-1}$,叶绿素达到 1.2×10^{-2} $mg \cdot L^{-1}$,达到中营养到中度富营养化水平^[14-15],局部水域出现藻类聚集现象。叶绿素 a 和藻密度峰值出现时间略有不同,可能是浮游植物群落结构不同以及叶绿素 a 在浮游植物个体的含量不同所致。

浮游植物优势类群的结构如表 2 所示,初春季节主要的浮游植物构成有星杆藻、针杆藻、角甲藻、拟多甲藻等种类,随着天气逐渐转暖,硅藻门和甲藻门的类浮游植物出现一个生长高峰,随着限制性营养盐消耗,藻类密度又开始下降,春末夏初,藻类出现一个生长低谷,主要构成类群为隐藻、星杆藻、小球藻等类属;到夏秋季节随着水温光照达到全年的最高时期,藻类密度也达到峰值,优势类群为蓝藻门的假鱼腥藻和绿藻门的栅藻、盘星藻、衣藻等类属;秋冬交际时节,随着气温逐渐下降,假鱼腥藻密度也逐渐降低,在水体边缘,则出现大量微孢藻、水绵、黄丝藻等藻类,并聚集形成团状;冬季潘家口水库水温较低,不适宜浮游生物生长,其密度降至一年最低,转到翌年春季时分,随着温度开始上升,浮游植物又开始繁殖。

2.3 浮游植物空间分布状况

2009 年潘家口-大黑汀水库的常见浮游植物组成类属及分布如表 3 所示,假鱼腥藻、针杆藻等 8 属在各采样点均有发现,出现几率为 100%,为潘家口-大黑汀水库的优势种类,另外有空星藻、四鞭藻等 17 属的藻类出现几率在 50%以上,为潘家口-大黑汀水库的常见种类,微囊藻、双眉藻等 37 属出现几率小于 50%,仅在部分采样点或者某些月份出现,为潘家口-大黑汀水库的稀有种类。在所调查的 8 个采样点中,发现种类最多的样点为下池,为 43 属,最少的样点是大黑汀库区,为 20 属,其余样点的种类数量介于二者之间。

从图 4 看出,9 月份叶绿素 a 较大值出现在下池、清河口和瀑河口样点,下池为调水枢纽,附近的生活污水注入下池,其富营养化程度较高,叶绿素 a 值最高,变幅较大,清河口、瀑河口样点水较浅且有大量网箱养鱼,每年 4—6 月引滦入津调水使上游水位变得很浅,水体富营养化程度较大,叶绿素 a 峰值较高。而燕子峪、潘家口则和潘家口坝上 3 个样点在这 4 个月中的值均较低。燕子峪、潘家口和潘家口坝上样点处于库区较宽阔的地带,水面较阔且较深,叶绿素 a 较低,变幅也较小。

表 2 浮游植物优势类群的年内变化
Table 2 Monthly variations of dominant genera

月份	1—4 月	5—6 月	7—10 月	11—12 月
主要组成属类	星杆藻、针杆藻、角甲藻、拟多甲藻	隐藻、星杆藻、小环藻、鼓藻、小球藻、栅藻	假鱼腥藻、栅藻、芒锥藻、盘星藻、衣藻	假鱼腥藻、微孢藻、水绵、黄丝藻

表 3 潘家口-大黑汀水库常见浮游植物组成分布
Table 3 Phytoplankton distribution of Panjiakou-Daheiting Reservoirs

属类	样点								所占比例/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	
假鱼腥藻 <i>Pseudanabaena</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
鱼腥藻 <i>Anabaena</i>			+			+		+	37.5
色球藻 <i>Chroococcus</i>			+						25
颤藻 <i>Oscillatoria</i>			+	+	+	+		+	62.5
柱胞藻 <i>Cylindrospermum</i>			+					+	25
平裂藻 <i>Merismopedia</i>	+		+			+		+	50
螺旋藻 <i>Spirulina</i>	+	+	+	+		+			62.5
微囊藻 <i>Microcystis</i>						+			12.5
尖头藻 <i>Raphidiopsis</i>				+		+	+		37.5
弓形藻 <i>Schroederia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
顶棘藻 <i>Chodatella</i>			+		+			+	37.5
四角藻 <i>Tetraedron</i>	+		+	+	+	+		+	75
衣藻 <i>Chlamydomonas</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
栅藻 <i>Scenedesmus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100

续表 3

属类	样点								所占比例/%
纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
卵囊藻 <i>Oocystis</i>		+	+	+	+	+	+		75
十字藻 <i>Crucigenia</i>	+	+	+						37.5
鼓藻 <i>Cosmarium</i>	+		+	+	+	+		+	75
角星鼓藻 <i>Staurastrum</i>	+						+		25
新月鼓藻 <i>Closterium</i>	+	+				+			37.5
棘接鼓藻 <i>Sphaeroszma</i>				+					12.5
空星藻 <i>Coelastrum</i>	+	+	+	+	+	+	+		87.5
四鞭藻 <i>Carteria</i>	+	+			+		+	+	62.5
浮球藻 <i>Planktosphaeria</i>					+			+	25
盘星藻 <i>Pediastrum</i>					+			+	25
胶网藻 <i>Dictyosphaerium</i>			+	+					25
实球藻 <i>Pandorina</i>						+	+		25
空球藻 <i>Eudorina</i>						+			12.5
小球藻 <i>Chlorella</i>					+	+	+	+	50
水绵 <i>Spirogyra</i>				+		+		+	37.5
微孢藻 <i>Microspora</i>				+		+			25
集星藻 <i>Actinastrum</i>		+		+		+			37.5
芒锥藻 <i>Errerella</i>		+		+		+	+		50
蹄形藻 <i>Kirchneriella</i>	+	+	+		+			+	62.5
多突藻 <i>Polyedriopsis</i>				+		+			25
多芒藻 <i>Golenkinia</i>				+			+		25
针杆藻 <i>Synedra</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
舟形藻 <i>Navicula</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
星杆藻 <i>Asterionella</i>		+		+		+		+	50
平板藻 <i>Tabellaria</i>				+		+			25
小环藻 <i>Cyclotella</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	100
脆杆藻 <i>Fragilaria</i>				+		+			25
布纹藻 <i>Gyrosigma</i>						+			12.5
双菱藻 <i>Surirella</i>				+		+			25
桥弯藻 <i>Cymbella</i>	+	+							25
羽纹藻 <i>Pinnularia</i>					+			+	25
波缘藻 <i>Cymatopleura</i>					+				12.5
异极藻 <i>Gomphonema</i>						+			12.5
双眉藻 <i>Amphora</i>						+			12.5
直链藻 <i>Melosira</i>			+						12.5
锥囊藻 <i>Dinobryon</i>	+	+	+	+	+	+		+	87.5
黄群藻 <i>Synura</i>		+	+			+			37.5
单鞭金藻 <i>Chromulina</i>	+	+				+	+	+	62.5
角甲藻 <i>Ceratium</i>				+		+			25
薄甲藻 <i>Glenodinium</i>			+	+	+	+		+	62.5
多甲藻 <i>Peridinium</i>		+	+	+	+	+	+	+	87.5
拟多甲藻 <i>Peridiniopsis</i>				+	+				25
隐藻 <i>Cryptomonas</i>	+	+	+	+		+	+	+	87.5
裸藻属 <i>Euglena</i>		+							12.5
囊裸藻 <i>Trachelomonas</i>		+				+			25
扁裸藻 <i>Phacus</i>	+	+							25
黄丝藻 <i>Tribonema</i>				+		+			25
属类数目	23	29	27	34	25	43	20	28	

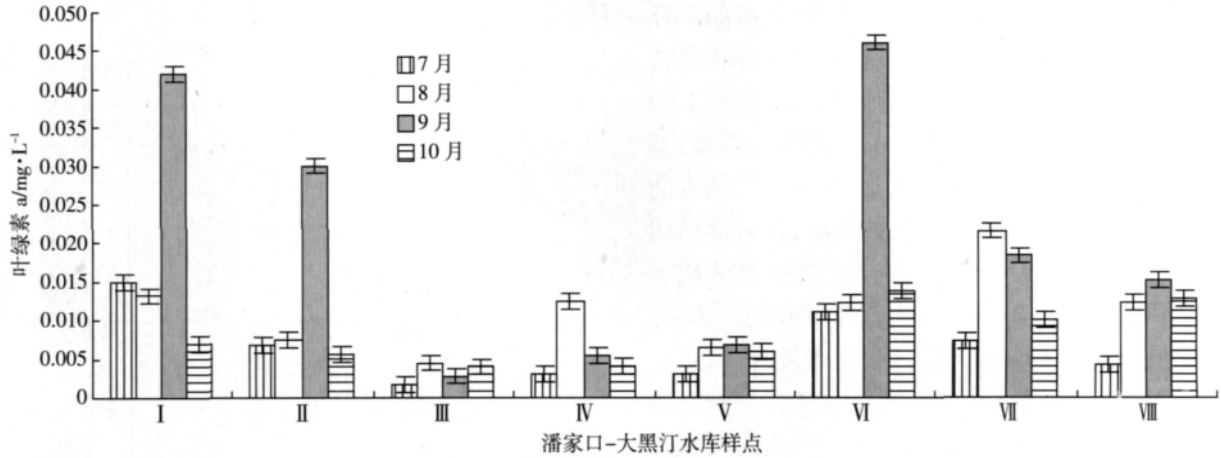


图 4 不同采样点的叶绿素 a 月变化

Figure 4 Chl a variation in different samples

2.4 浮游植物群落结构的多年演变

2.4.1 群落结构组成变化情况

潘家口水库自建成后,曾于 1987—1989 年^[16]、2001—2002 年^[17]进行过 2 次浮游植物调查(以下分别作为第 1 次调查和第 2 次调查,本研究作为第 3 次调查)。第 1 次调查鉴定出 8 门 83 属浮游植物,第 2 次调查鉴定了 8 门 51 属。第 2 次调查结果与第 1 次调查相比,增加了 26 属,减少了 12 属;第 3 次调查与第 2 次调查结果相比,增加了 14 属,减少了 41 属,如表 4 所示。

本研究结果与前两次相比,共发现新记录浮游植物 11 属,其中蓝藻门 2 属,为尖头藻、柱孢藻;绿藻门 4 属,为棘接鼓藻、芒锥藻、蹄形藻、多突藻;硅藻门 3 属,为平板藻、脆杆藻、羽纹藻;金藻门 1 属,为单鞭金藻;甲藻门 1 属,为薄甲藻。

对 3 次调查结果进行相似性分析,结果表明,与前两次调查结果的相似性系数仅为 58.4%~64.8%。各样点第 1 次调查与第 2 次调查的相似性系数在 29.4%~45% 之间,说明其群落结构变化程度较大。变化最大的是潘家口坝上样点,相似性系数仅为

29.4%。详见表 5、表 6。

2.4.2 优势类群变化情况

由表 7 可以看出,潘家口—大黑汀水库系统在 20

表 5 3 次调查结果相似性分析

Table 5 Similarity coefficient of the 3 survey

项目	第 1 次与第 2 次	第 2 次与第 3 次	第 1 次与第 3 次
共有的属	34	47	33
相似性系数/%	50.7	64.8	58.4

表 6 各样点相似性分析

Table 6 Similarity coefficient in samples of the 1st and 2nd survey

项目	样点				
	1	2	3	4	5
相似性系数/%	41.90	44.4	45	44.4	29.4

表 7 多年浮游植物组成表

Table 7 Dominant genera change in recent years

年份	5 月优势类群	9 月优势类群
1987—1989 年	小环藻	小环藻
2001—2002 年	锥囊藻、星杆藻、舟形藻	菱形藻、角甲藻
2009 年	针杆藻、小环藻、假鱼腥藻	假鱼腥藻、栅藻

表 4 潘家口—大黑汀水库浮游植物组成变化情况

Table 4 Phytoplankton composition changes of Panjiakou—Daheiting Reservoirs

年份	增加类群	减少类群
第 1 次至第 2 次的变化状况	星球藻、胶须藻、席藻、鞘丝藻、四集藻、月牙藻、韦丝藻、纺锤藻、微茫藻、四星藻、转板藻、角星鼓藻、双壁藻、辅节藻	腔球藻、捻球藻、须藻、胶鞘藻、棒多藻、螺旋藻、空球藻、鞘藻、毛枝藻、转板藻、多芒藻、绿星状藻、集星藻、纤维藻、葡萄藻、绿球藻、新月藻、小球藻、小桩藻、网球藻、球脆藻、韦囊藻、拟新月藻、四鞭藻、弓形藻、衣藻、粗棘藻、并联藻、曲壳藻、四棘藻、等片藻、双臂藻、异极藻、巨管藻、弯契藻、平鞭金藻、棕鞭金藻、蓝隐藻、裸甲藻、囊裸藻、扁裸藻
第 2 次至第 3 次的变化状况	柱孢藻、螺旋藻、尖头藻、弓形藻、衣藻、新月鼓藻、棘接鼓藻、小球藻、四鞭藻、胶网藻、空球藻、微泡藻、集星藻、芒锥藻、蹄形藻、多突藻、多芒藻、平板藻、双菱藻、羽纹藻、双眉藻、薄甲藻、拟多甲藻、单鞭金藻、扁裸藻、囊裸藻	星球藻、胶须藻、鞘丝藻、转板藻、月牙藻、韦丝藻、纺锤藻、微茫藻、四星藻、辅节藻、卵形藻、菱形藻

世纪 80 年代末期 5 月和 9 月优势种群是扭曲小环藻,群落结构为硅藻型^[16];在 2001 年 9 月调查优势种群为菱形藻、角甲藻,群落结构为硅藻-甲藻型,2002 年 5 月调查优势种群为锥囊藻、星杆藻和舟形藻,其群落结构为金藻-硅藻型^[17],而在 2009 年 5 月调查的优势种群为针杆藻、小环藻和假鱼腥藻,其群落结构为硅藻-蓝藻型,2009 年 9 月调查的优势种群为假鱼腥藻、栅藻和衣藻,其群落结构为蓝藻-绿藻型。80 年代末常见的扭曲小环藻如今在库区很难发现其踪迹。另据当地居民反映,在八九十年代库区还存在野生的武昌鱼,如今也已绝迹。总之,20 多年来潘家口水库的浮游植物呈现由硅藻逐渐向硅甲藻,再向蓝绿藻演变趋势。

2.4.3 藻密度、总磷及总氮浓度变化情况

潘家口坝上样点 1988 年 5 月和 9 月的藻密度分别为 87.61 万个·L⁻¹和 86.67 万个·L⁻¹,2001 年 5 月和 9 月的藻密度分别为 69.1 万个·L⁻¹和 226.03 万个·L⁻¹,2009 年 5 月和 9 月的藻密度分别为 160.9 万个·L⁻¹和 1 721.27 万个·L⁻¹。2009 年与 1988 年相比,5 月和 9 月的藻密度分别为原来的 1.84 倍和 19.86 倍(如图 5 所示)。

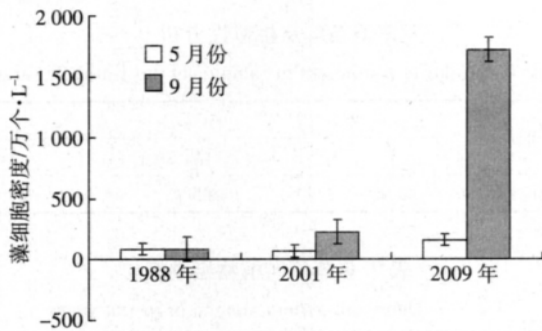


图 5 潘家口坝上样点藻密度的多年变化

Figure 5 Phytoplankton density variation in Panjiakou Dam samples

造成藻密度增加的原因之一是潘家口水库营养盐浓度的持续升高。如图 6 所示,总氮浓度在 20 余年中呈现明显上升的趋势,5 月和 9 月的总氮浓度分别增长 2.58 倍和 3.63 倍,9 月总磷浓度也增长 1.41 倍。营养盐污染主要来自水库上游及周边地区,库区的网箱养鱼也是一个重要来源^[8,18]。

3 结论

(1)2009 年潘家口-大黑汀水库共监测到藻类 8 门,34 科,62 属。绿藻门种类最多,为 11 科 27 属,分别占所鉴定科类的 32.4%和属类的 43.6%;其次为硅

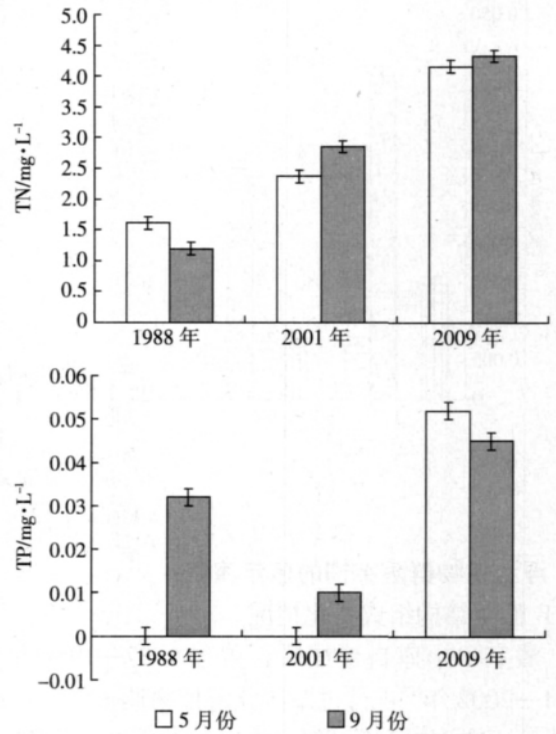


图 6 潘家口坝上样点总磷和总氮的多年变化

Figure 6 Total phosphorus and total nitrogen variation in Panjiakou Dam samples

藻门,为 8 科 14 属,分别占所鉴定科类的 32.4%和属类的 23.5%。蓝藻门和绿藻门是构成浮游植物的主要类群,其次为硅藻门和隐藻门的类群。假鱼腥藻、针杆藻等 8 属为库区的广布种类,空星藻、四鞭藻等 17 属为水库的常见种类,种类最多的采样点为下池,具有浮游植物 43 属,最少的样点是大黑汀库区,为 20 属。

(2)浮游植物生长状况呈双峰现象,第一次峰值在春季的 4、5 月份,最高值出现在 8、9 月份,浮游植物优势类群初春主要为硅甲藻,夏季为隐硅藻,秋季和初冬为蓝绿藻。9 月下池、清河口和瀑河口样点叶绿素 a 值较高,燕子峪、潘家口和潘家口坝上样点较低。

(3)通过前后 3 次调查结果来看,本研究发现新记录藻类 11 属,前后 3 次调查的群落结构组成变化较大,其中第 1 次与第 3 次的调查共有浮游植物的属类为 47 属,相似性系数为 64.8%,各样点的浮游植物的群落结构变化程度均较大,其中潘家口坝上变化程度最大,相似性系数仅为 29.4%,群落结构已由 80 年代末的硅藻型变为蓝-绿藻型,近 20 余年潘家口-大黑汀水库系统的浮游植物的群落结构发生了较大的改变。

(4)潘家口坝上样点在 2009 年的 5 月和 9 月的藻

密度分别为 $160.9 \text{ 万个} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1721.27 \text{ 万个} \cdot \text{L}^{-1}$ 。2009 年的藻密度同 1988 年 5 月和 9 月相比分别为原来的 1.84 倍和 19.86 倍, 增长幅度较大。潘家口坝上样点的总磷和总氮浓度 2009 年 9 月相对于 1988 年分别为原来的 1.41 倍和 3.63 倍, 水库的富营养化状况应引起高度重视。

参考文献:

- [1] 陶益, 孔繁翔, 曹焕生, 等. 太湖底泥水华蓝藻复苏的模拟[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 231-236.
TAO Yi, KONG Fan-xiang, CAO Huan-sheng, et al. Simulative recruitment of microcystis from the surface sediment in Taihu Lake [J]. *Journal of Lake Science*, 2005, 17(3): 231-236.
- [2] 李原, 张梅, 王若南. 滇池的水华蓝藻的时空变化[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2005, 27(3): 272-276.
LI Yuan, ZHANG Mei, WANG Ruo-nan. The temporal and spation variation of the cyanobacteria which caused the water bloom in the Dianchi Lake, Kunming, China[J]. *Journal of Yunnan University(Natural Science)*, 2005, 27(3): 272-276.
- [3] 蔡金榜, 李文奇, 逢勇, 等. 洋河水库水质主成分分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(2): 62-65.
CAI Jin-bang, LI Wen-qi, FENG Yong, et al. Factor analysis of water quality in Yanghe Reservoir[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2007, 23(2): 62-65.
- [4] Willén E. Phytoplankton and water quality characterization: experiences from the swedish large lakes Malaren, Hjalmarén, Vattern and Vanern [J]. *Ambio*, 2001, 30(8): 529-537.
- [5] 盛海燕, 虞左明, 韩轶才, 等. 亚热带大型河流型水库——富春江水库浮游植物群落及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 235-243.
SHENG Hai-yan, YU Zuo-ming, HAN Yi-cai, et al. Phytoplankton community and its relationship with environmental factors of a large riverine reservoir, Fuchunjiang Reservoir in subtropical China[J]. *Journal of Lake Science*, 2010, 22(2): 235-243.
- [6] 武发思, 鄢金灼, 蔡泽平, 等. 大、小苏干湖浮游藻类的群落组成特点研究[J]. 水生生物学报, 2009, 33(2): 264-270.
WU Fa-si, YAN Jin-zhuo, CAI Ze-ping, et al. The characteristics of phytoplankton community in lake Suganhu[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 264-270.
- [7] 徐宏宇. 潘家口水库的作用[J]. 中国水利, 1989(1): 19.
XU Hong-yu. The role of Panjiakou Reservoir[J]. *China Water Resource*, 1989(1): 19.
- [8] 王少明, 韩守亮, 郭勇, 等. 引滦水资源可持续利用与保护[J]. 天津大学学报, 2008, 41(Suppl): 99-103.
WANG Shao-ming, HAN Shou-liang, GUO Yong, et al. Waters resource protection and sustainable utilization of Luanhe River Diversion Project [J]. *Journal of Tianjin University*, 2008, 41(Suppl): 99-103.
- [9] Joseph D, LIN Chao, LUO Yang, et al. Eutrophication study at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system, northern Hebei Province, People's Republic of China: Chlorophyll-a model and sources of phosphorus and nitrogen[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 94: 43-53.
- [10] 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 等. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
HU Hong-jun, LI Yao-ying, WEI Yin-xin, et al. *Freshwater algae in China*[M]. Shanghai: Science Technology Press, 1979.
- [11] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
HU Hong-jun, WEI Yin-xin. *The freshwater algae of China: Systematics, taxonomy and ecology*[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [12] 国家环保局. 水生生物监测手册[M]. 南京: 东南大学出版社, 1993.
Ministry of environmental protection. *Aquatic monitoring manual*[M]. Nanjing: Southeast University Press, 1993.
- [13] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展[J]. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87-91.
KUANG Qi-jun, MA Pei-ming, HU Zheng-yu, et al. Study on the evaluation and treatment of lake eutrophication by means of algae biology[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2005, 5(2): 87-91.
- [14] 张克峰, 李琪, 贾瑞宝, 等. 济南玉清湖水藻污染现状分析[J]. 中国农村水利水电, 2005(1): 23-24.
ZHANG Ke-feng, LI Qi, JIA Rui-bao, et al. Analysis of algae pollution in Yuqing reservoir, Jinan[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2005(1): 23-24.
- [15] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838—2002. 地表水环境质量标准[S]. 北京: 标准化管理委员会, 2002.
Ministry of Environmental Protection, General Administration of Quality Supervision. GB3838—2002. Inspection and quarantine. Surface water quality standards[S]. Beijing: Standardization Administration of the People's Republic of China, 2002.
- [16] 水利部海委引滦工程管理局. 潘家口、大黑汀水库水质管理规划报告[R]. 天津: 水利部海河水利委员会, 1989.
Ministry of Water Resources Engineering HWCC Luanhe Authority. *Water Quality Management Planning Report for Panjiakou-Daheiting Reservoirs* [R]. Tianjin: Haihe River Water Conservancy Committee, 1989.
- [17] 王新华, 纪炳纯, 李明德, 等. 引滦工程上游浮游植物及其水质评价[J]. 环境科学研究, 2004, 17(4): 18-24.
WANG Xin-hua, JI Bing-chun, LI Ming-de, et al. Phytoplankton and bio-assessment of water quality in upper waters of Yinluan Project[J]. *Research of Environmental Science*, 2004, 17(4): 18-24.
- [18] 朱龙基, 范兰池, 林超. 引滦入津工程水质时空演化规律分析[J]. 水资源保护, 2009, 25(2): 15-17, 54.
ZHU Long-ji, FAN Lan-chi, LIN Chao. Temporal and spatial variation of water quality for water diversion project from Luanhe River to Tianjin City[J]. *Water Resources Protection*, 2009, 25(2): 15-17, 54.

致谢: 感谢郭勇、李文君、张辉、马若燕等人在项目的试验中给予无私的帮助, 也感谢引滦工程管理局的王少明、刘宝艳、高峰、暴柱、翟卫东、杜伟、高满庭、刑海燕、吕艳、佟玲等人在浮游植物调查中的支持和帮助。