

大泉沟水库浮游植物群落特征及其与环境因子的关系

马得草¹, 胡文革¹, 张映东², 高岩¹, 贾文平³, 尤洋²,
兰鸿珠¹, 杨扬¹, 何园¹, 张秀荣², 王小红¹

(1. 石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子 832000;

2. 新疆石河子玛纳斯河流域管理处, 新疆 石河子 832000;

3. 天津市水产研究所, 天津 300221)

摘要: 为了探究大泉沟水库浮游植物群落结构的动态变化特征及综合水质状况, 为库区水资源保护和渔业可持续发展提供参考依据, 于2015年10月(枯水期)、2016年4月(丰水期)和7月(平水期), 对库区内4个采样点进行了浮游植物群落与水质调查。结果表明, 本次调查共鉴定出浮游植物8门161种, 其中绿藻67种、硅藻48种、蓝藻26种、裸藻6种、隐藻6种、黄藻6种、金藻1种、甲藻1种, 浮游植物群落结构组成属于绿藻-硅藻型; 浮游植物主要优势种为小球藻(*Chlorella vulgaris*)、尖针杆藻(*Synedra acus*)、拟气球藻(*Botrydiopsis intercedens*)、四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)、细小平裂藻(*Merismopedia minima*)等; 浮游植物密度为 $0.86 \times 10^6 \sim 5.54 \times 10^6$ 个/L、平均值为 2.13×10^6 个/L; 浮游植物的Shannon-Wiener指数(H')、Margalef指数(D_m)及Pielou均匀度指数(J')变化范围分别为1.97~2.56、1.83~3.01和0.68~0.77。研究显示, 大泉沟水库目前处于中污染状态; 相关分析表明, 水温、总磷、透明度和溶解氧是大泉沟水库浮游植物群落结构变化的主要影响因子, 大泉沟水库属中营养至中度富营养水库。

关键词: 大泉沟水库; 浮游植物; 群落结构; 环境因子

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2018)05-0047-08

浮游植物是水生态系统的初级生产者, 也是食物链中最基础最重要的一环, 并且对水环境变化响应灵敏, 是判断水体富营养化的关键指标之一(张婷等, 2009), 其种类和数量的变化直接或间接地影响着其他水生生物的分布和密度, 甚至会影响整个生态系统的稳定(江源等, 2011)。目前, 针对湖泊、河流、水库的浮游植物调查研究比较多(李磊等, 2015; 王博涵等, 2015; 国超旋等, 2016)。水库水体受人为调节, 由于不同水库之间存在外在影响因子的差异, 从而造成其浮游植物群落结构变化存在明显不同(Kamenir & Zohary, 2004; Xu et al, 2007); 由于地域差异, 其浮游植物群落结构变化和水体营养状态也存在明显不同(王艳玲等, 2011; 陈春浩等, 2012; 卞少伟等, 2012)。近年来, 水库营养状态及生态学越来越受到重视(韩博平, 2010)。

大泉沟水库($44^{\circ}25' \sim 44^{\circ}27'N$, $85^{\circ}59' \sim 86^{\circ}1'E$, 海拔400 m)位于新疆石河子市区向北18 km处, 是集蓄洪、灌溉、养殖、旅游等多功能的综合性水库, 库区集水面积11 km², 总库容4 000万 m³, 水面面积10 km², 为玛纳斯河流域的第一个平原水库。流域属于温带大陆性干旱气候, 全年降水稀少, 气候干燥, 年平均气温7~8℃, 年降雨量180~270 mm, 年蒸发量1 000~1 500 mm。大泉沟水库也是全疆最早的人工鱼苗孵化基地, 为了适应渔业的发展, 在水库建成初期, 每年给水库补给5%左右的污水, 以提高水库的有机养分(王新花与潘响亮, 2014)。据报道, 大泉沟水库浮游藻类群落结构反映该湖为中-富营养水体, 5年来均以针杆藻、隐藻为优势种(陈春梅和谭洪恩, 1999)。近10多年来, 鲜有大泉沟水库水质状况的报道, 程同福(2015)对大泉沟水库的水质现状和营养水平进行评价, 水库水质为Ⅲ类, 处于中度富营养化水平, 关于大泉沟水库浮游植物的研究未见报道。本文通过探究大泉沟水库浮游植物群落结构的动态变化特征和综合水质状况, 以期对富营养化防治与渔业资源合理开发提供基础资料和科学依据, 对保护其水资源具有重要的现实意义。

收稿日期: 2016-11-17

基金项目: 新疆生产建设兵团科技攻关与成果转化计划项目(2015AC010)。

作者简介: 马得草, 1990年生, 男, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学。E-mail: 15001610086@163.com

通信作者: 胡文革, 1966年生, 女, 副教授, 研究方向为鱼类资源与遗传多样性。E-mail: hwg-t@163.com

1 材料与方法

1.1 样本采集与处理

依照《水库渔业资源调查规范》(中华人民共和国水利部, 2014)与常规浮游生物调查方法(金相灿等, 1990)进行样品采集与处理。新疆石河子地区每年12月至次年3月是湖泊冰封期, 冰层厚度约1 m, 不利于采样调查; 鉴于此, 本次研究于2015年10月(枯水期)、2016年4月(丰水期)和2016年7月(平水期)进行3次采样调查。分别于水库入水口(A)、库湾(B)、库中(C)和出水口(D)设置4个采样点(图1)。浮游植物定性样品用25号浮游生物网在水体表层呈“∞”字形来回拖动3~5 min 捞取; 定量样品在水表层、中层、底层处各取1 L 水样后混合成测定用水样。定量、定性样品现场加鲁哥氏固定液至浓度为1.5%, 于实验室进行藻细胞密度计数及藻种鉴定; 藻种鉴定与分类方法参考文献(胡鸿钧和魏印心, 2006; 周凤霞和陈剑虹, 2011; 杨苏文等, 2015)。

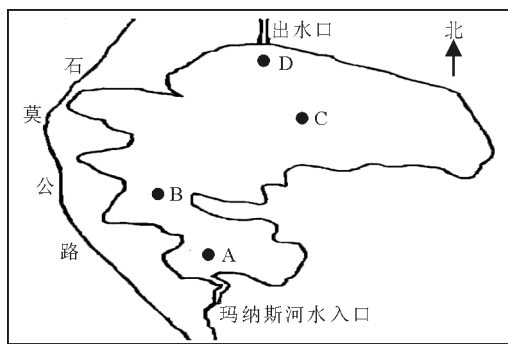


图1 大泉沟水库采样点示意图

Fig.1 Sampling sites in Daquangou Reservoir

1.2 环境因子测定

现场同步测定水温、水深、透明度、pH 和色度, 并采取4个样点水样带回实验室进行其余理化指标的测定, 每个指标测定分别做3次重复。总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法; 总磷采用钼锑抗分光光度法; 溶解氧采用碘量法; 氨氮以水杨酸分光光度法; 亚硝酸盐氮以分光光度法; 硝酸盐氮以酚二磺酸分光光度法; COD_{Mn} 用标准酸性高锰酸钾法, 上述测定方法均参照《水和废水监测分析方法(第4版)》(国家环保总局, 2002)。

1.3 浮游植物多样性指数

浮游植物多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数(H)、Margalef 指数(D_m)、Pielou 均匀度指数(J)(Shanon & Weaver, 1949)和优势度(Y)分析

(Sun & Liu, 2004)。

Shannon-Wiener 指数:

$$H = -\sum_{i=1}^S (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

式中: n_i 为第 i 种的种类密度, N 为所有种类的密度, S 为所有种类的种类数。

H 与水质的关系为: $H > 3.0$, 清洁; $H = 1.0 - 3.0$, 中度污染; $H < 1.0$, 重度污染。

Margalef 指数:

$$D_m = (S - 1) \log_2 N$$

式中: S 为所有种类数目, N 为所有种类的种类数目。通过 D_m 测定某生态区域内生物多样性程度, 以此来判断该区域污染程度。 D_m 越大, 生物多样性程度越高, 污染状况越低 ($D_m > 3.0$, 清洁; $D_m = 1.0 \sim 3.0$, 轻度污染; $D_m = 0 \sim 1.0$, 较重污染)。

Pielou 均匀度指数:

$$J = H / \log_2 S$$

式中: H 为 Shannon-Wiener 多样性指数; S 为所有种类的种类数目。 $J = 0 \sim 0.3$, 重污染; $J = 0.3 \sim 0.4$, β -中污型; $J = 0.4 \sim 0.5$, α -中污型; $J > 0.5$, 寡污型)。

浮游植物优势种依据其优势度值(Y)确定:

$$Y = (n_i/N) \times f_i$$

式中: n_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类总个体数; f_i 为第 i 种出现的频率。 $Y > 0.02$ 的种类为优势种。

1.4 数据分析

运用 Excel 软件和 SPSS19.0 软件进行数据统计分析; 采用 Tukey 法分析浮游植物种类和细胞密度的季节性变化差异; 采用 Pearson 相关分析法分析水质指标与浮游植物密度的相关性。

2 结果与分析

2.1 浮游植物种类组成

本次调查共鉴定出浮游植物 8 门 161 种(仅鉴定到属的按 1 种计算); 其中, 硅藻(Bacillariophyta) 48 种、蓝藻(Cyanophyta) 26 种、绿藻(Chlorophyta) 67 种、裸藻(Euglenophyta) 6 种、黄藻(Xanthophyta) 6 种、隐藻(Cryptophyta) 6 种、金藻(Chrysophyta)和甲藻(Pyrrophyta)各 1 种。各门浮游植物种类数所占比见表 1。绿藻种类比例最高, 达 41.61%, 其次是硅藻 29.81%、蓝藻 16.15%、裸藻 3.73%、隐藻 3.73%、黄藻 3.73%、甲藻 0.62% 和金藻 0.62%。大泉沟水库浮游植物群落种类组成

上绿藻与硅藻占总种数的 71.42%,呈现典型的绿藻-硅藻型特征。

表 1 新疆大泉沟水库浮游植物种类组成
Tab.1 Phytoplankton composition in Daquangou Reservoir of Xinjiang

浮游植物	绿藻门	硅藻门	蓝藻门	裸藻门	黄藻门	甲藻门	金藻门
种类数	67	48	26	6	6	1	1
占比/%	41.61	29.81	16.15	3.73	3.73	0.62	0.62

同一时期不同采样点的浮游植物群落结构组成具有较大相似性,不同采样点浮游植物的门类组成也基本一致,只有个别极少数种类在不同采样点间有差异(表 2)。如在丰水期湖生卵囊藻(*Oocystis lacustris*)仅出现在出水口采样点。

表 2 新疆大泉沟水库各采样点的浮游植物种类组成
Tab.2 Phytoplankton composition for each sampling point in Daquangou Reservoir of Xinjiang

采样点	丰水期	平水期	枯水期
入水口	6 门 92 种	8 门 81 种	6 门 92 种
库湾	6 门 93 种	8 门 82 种	6 门 91 种
库中心	6 门 95 种	8 门 85 种	6 门 91 种
出水口	6 门 96 种	8 门 84 种	6 门 93 种

统计分析结果表明,不同时期浮游植物的种类组成呈现显著差异($P<0.05$),枯水期为 6 门 93 种,丰水期为 6 门 96 种,平水期则为 8 门 85 种。枯水期和丰水期均未采集到金藻和甲藻。相对而言,平水期藻类门类组成最为丰富,但种数最少(图 2)。

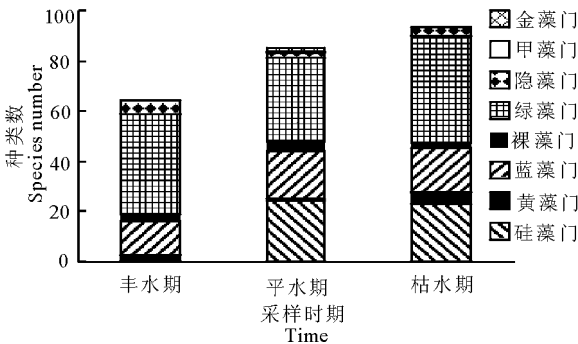
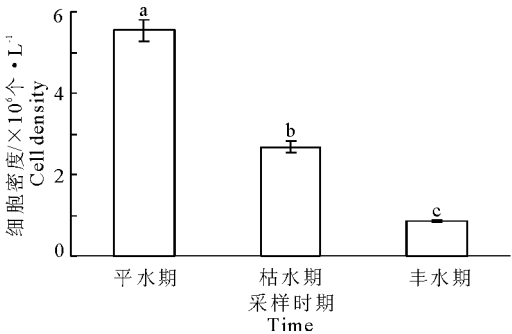


图 2 大泉沟水库浮游植物种类组成
Fig.2 Species composition of phytoplankton in Daquangou Reservoir

2.2 浮游植物密度

调查期间,大泉沟水库浮游植物密度均值为 2.13×10^6 个/L。参考相关密度划分标准(舒金华, 1993),大泉沟水库处于中营养型水平。从图 3 可以看出,平水期、枯水期和丰水期浮游植物密度变化趋势为:平水期 $[(5.54\pm0.28)\times10^6$ 个/L] $>$ 枯水期 $[(2.68\pm0.88)\times10^6$ 个/L] $>$ 丰水期 $[(8.56\pm0.11)$

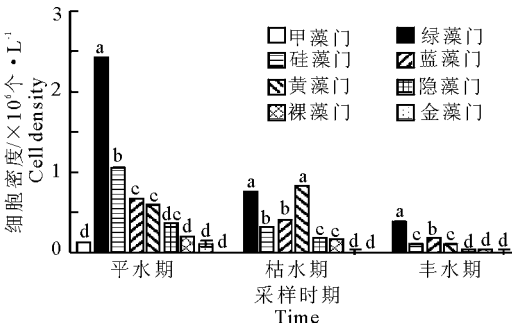
$\times10^5$ 个/L],并且在 3 个不同时期浮游植物密度均有显著差异($P<0.05$)。丰水期大量外来水源进入大泉沟水库,很大程度地稀释了丰水期的密度,这可能是导致丰水期密度为最低值的重要原因之一。



相同字母表示差异不显著,不同表示差异显著。
图 3 大泉沟水库浮游植物密度变化
Significant differences are indicated by different lower case letters above the columns.

Fig.3 Temporal variation of phytoplankton density in Daquangou Reservoir

从图 4 可以看出,在整个调查期间,不同时期浮游植物各门类密度变化也各不相同。平水期:绿藻密度最高,金藻密度最低,并且绿藻与其他藻类的密度均差异显著($P<0.05$);枯水期:黄藻密度最高,裸藻细胞密度最低,金藻门和甲藻门未采集到,黄藻门和绿藻门的细胞密度差异不显著($P>0.05$),但与其他各门类间均达到差异显著($P<0.05$);丰水期:绿藻门密度最高,与其他各门类差异显著($P<0.05$)。裸藻门密度最低,金藻门和甲藻门未采集到。



相同字母表示差异不显著,不同表示差异显著。
图 4 大泉沟水库浮游植物各门类密度的变化
Significant differences are indicated by different lower case letters above the columns.

Fig.4 Temporal variation in density of each phytoplankton phylum in Daquangou Reservoir

2.3 优势种

统计分析表明,新疆大泉沟水库浮游植物优势种为小球藻(*Chlorella vulgaris*)、尖针杆藻(*Syne-*

dra acus)、拟气球藻(*Botrydiopsis intercedens*)、四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)、细小平裂藻(*Merismopedia minima*)、双对栅藻(*Scenedesmus bijuga*)、广源小环藻(*Cylothella bodanica*)和针形纤维藻(*Ankistrode acicularis*);其中绿藻门的小球藻优势度 Y 值最大,且在个体中占比高达 15.3% (表 3)。

对每个时期各门类浮游植物统计分析发现,小球藻、四尾栅藻、拟气球藻、细小平裂藻为 3 个时期的共有优势种;而优势种尖针杆藻、广源小环藻则主要出现在平水期,针形纤维藻仅出现在丰水期;此外,有些种类优势度值虽然小于 0.02,但全年的出现率较高,如梅尼小环藻(*Cyclotella meneghiniana*)、卷曲纤维藻(*Ankistrodesmus convolutus*)。

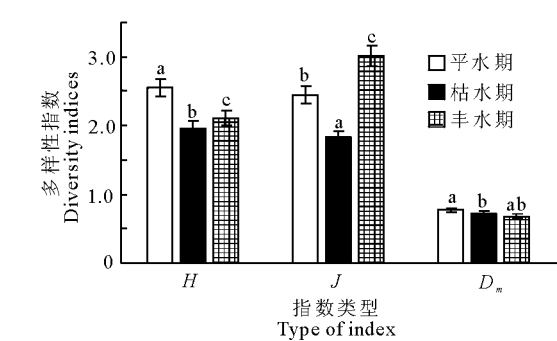
表 3 新疆大泉沟水库浮游植物优势种

Tab.3 Dominant species of phytoplankton in Daquangou Reservoir in Xinjiang			
藻类门	优势种	优势度(Y)	占比/%
硅藻门	尖针杆藻(<i>S. acus</i>)	0.022	5.0
	广源小环藻(<i>C. bodanica</i>)	0.037	6.0
黄藻门	拟气球藻(<i>B. intercedens</i>)	0.086	13.30
绿藻门	针形纤维藻(<i>A. acicularis</i>)	0.022	4.4
	小球藻(<i>C. vulgaris</i>)	0.093	15.3
	双对栅藻(<i>S. bijuga</i>)	0.037	7.0
	四尾栅藻(<i>S. quadricauda</i>)	0.082	12.60
蓝藻门	细小平裂藻(<i>M. minima</i>)	0.046	4.0

2.4 浮游植物多样性指数

多样性指数计算结果见图 5。不同时期大泉沟水库 Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 为 1.97~2.56,平均值为 2.21,平水期>丰水期>枯水期,并且 3 个时期 Shannon-Wiener 多样性指数 (H) 均达到差异显著 ($P<0.05$)。Margalef 指数 (D_m) 为 1.83~3.01,平均值为 2.43,丰水期>平水期>枯水期,3 个时期 Margalef 指数 (D_m) 均达到差异显著 ($P<0.05$)。Pielou 均匀度指数 (J) 为 0.68~0.77,平均值为 0.72,丰水期>平水期>枯水期,平水期与丰水期差异显著 ($P<0.05$),但与枯水期差异不显著 ($P>0.05$);枯水期与其它 2 个时期的差异均不显著 ($P>0.05$)。

从结果可以发现,Shannon-Wiener 多样性指数介于 1.0~3.0,大泉沟水库为中营养型水库;Margalef 指数基本上在 1.0~3.0 之间,大泉沟水库为中营养型水库;所有时期的 Pielou 均匀度指数 (J) 均大于 0.5,说明大泉沟水库为中营养型水库。



相同字母表示差异不显著,不同表示差异显著。

图 5 新疆大泉沟水库多样性指数

Significant differences are indicated by different lower case letters above the columns.

Fig.5 Diversity indices of phytoplankton community in Daquangou Reservoir of Xinjiang

不同时期的环境因子变化见表 4。最高温度 (25.68℃) 出现在 7 月 (平水期);最低温度 (8.97℃) 出现在 10 月 (枯水期)。其他水质因子在不同时期的变化波幅相对较小。TN、TP、NO₃-N 以及 COD_{Mn} 的最大值均出现在 7 月 (平水期),而最小值除 COD_{Mn} 之外均出现在 4 月 (丰水期)。SD、DO 的最大值均出现在 4 月 (丰水期),最小值出现在 7 月 (平水期)。pH、NH₄⁺-N 的最大值均出现在 10 月 (枯水期),最小值均出现在 4 月 (丰水期)。

表 4 新疆大泉沟水库环境因子

Tab.4 Environmental factors in Daquangou Reservoir of Xinjiang			
理化因子	10 月 (枯水期)	4 月 (丰水期)	7 月 (平水期)
WT /℃	8.97	14.73	25.68
SD/cm	44	45	35
pH	8.32	7.78	8.15
TN/mg · L ⁻¹	1.83	1.41	1.87
TP/mg · L ⁻¹	0.07	0.04	0.08
DO/mg · L ⁻¹	10.62	13.24	8.53
NO ₂ -N/mg · L ⁻¹	0.013	0.011	0.011
NH ₄ ⁺ -N/mg · L ⁻¹	0.34	0.21	0.27
Depth/m	3.10	5.18	4.11
NO ₃ -N/mg · L ⁻¹	0.28	0.25	0.32
COD _{Mn} /mg · L ⁻¹	2.34	3.01	3.22
水色 (标准色级)	16	15	16

运用 SPSS 软件对大泉沟水库的浮游植物密度及种数与水体环境因子进行了 Pearson 相关性分析 (表 5),结果显示,浮游植物密度与总磷 (TP)、硝酸盐 (NO₃⁻-N) 和水温 (WT) 呈显著正相关,与溶解氧 (DO)、透明度 (SD) 呈显著负相关,浮游植物种数与水温、总磷、溶解氧呈显著负相关,与透明度呈显著正相关,表明水温、总磷、透明度和溶解氧是大泉沟水库浮游植物群落结构变化的主要影响因子。

表 5 水质指标与藻类密度的 Pearson 相关性分析

Fig.5 Pearson correlation analysis of phytoplankton density with water quality parameters

水质 指标	藻密度		绿藻门		硅藻门		蓝藻门		黄藻门	
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
总氮	0.619	0.076	0.576	0.507	0.507	0.163	0.717 *	0.030	0.700 *	0.036
总磷	0.895 **	0.001	0.769 *	0.015	0.785 *	0.012	0.893 **	0.001	0.803 **	0.009
硝酸盐	0.692 **	0.039	0.646	0.060	0.833 **	0.005	0.653	0.057	0.821 **	0.007
亚硝酸盐	-0.168	0.667	-0.157	0.686	-0.145	0.710	-0.248	0.520	0.220	0.569
氨氮	0.272	0.479	0.141	0.718	0.109	0.779	0.326	0.392	0.818 **	0.007
COD _{Mn}	0.341	0.369	0.518	0.153	0.739 *	0.023	0.207	0.592	-0.572	0.108
水温	0.691 *	0.039	0.849 **	0.004	0.812 **	0.008	0.638	0.064	-0.195	0.616
水深	-0.338	0.374	-0.191	0.623	-0.24	0.533	-0.464	0.208	-0.918 **	0
水色	0.652	0.057	0.652	0.057	0.639	0.064	0.573	0.107	0.543	0.131
透明度	-0.859 **	0.003	-0.925 **	0	-0.960 **	0	-0.822 **	0.007	-0.199	0.608
溶解氧	-0.908 **	0.001	-0.889 **	0.001	-0.931 **	0	-0.894 **	0.001	-0.650	0.058
pH	0.493	0.178	0.345	0.364	0.317	0.407	0.498	0.172	0.841 **	0.004

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。
Note: ** is significantly correlated at the 0.01 level (both sides) and * is significantly correlated at the 0.05 level (both sides).

3 讨论

3.1 浮游植物群落结构特点

大泉沟水库浮游植物不论在种类组成还是优势种上,绿藻和硅藻都呈现显著优势,因此该水库为典型的绿藻-硅藻型,这与新疆其他部分淡水小型水库也属于绿藻-硅藻型的特点类似(薛俊增等,2010;吴惠仙等,2010)。呈现此特征主要与水温特点密切相关,水温变化影响藻类的生长繁殖,且可通过控制水体中的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(Blinn,1993)。大泉沟水库所处地域为典型的温带大陆性干旱气候,全年降水稀少,周年中气温变化幅度较大,且水源主要是玛纳斯河水、泉水和地下水,因而库区年均水温只有12.35℃。研究发现,20℃左右时水体中以硅藻为主,30℃绿藻为主,40℃蓝藻为主(王志红等,2005)。较低的水温直接影响了大泉沟水库浮游植物种类组成。

一般认为,绿藻为中营养型水体优势种,蓝藻为富营养型水体优势种(刘建康,2000)。大泉沟水库在不同时期的优势种均包含绿藻和蓝藻,并且绿藻优势种类数偏多,这些种类也指示了该水库中营养、中-富营养的水质特点,但比较陈春梅和谭洪恩(1999)对大泉沟水库的调查结果发现,库区藻类种群结构转变较大,绿藻占比由 52.1% 减少为 41.61%、蓝藻由 19.8%减少为 16.15%,而硅藻由 18.8%增加为 29.81%,这表明了大泉沟水库的总体水质情况也发生了较大变化。

3.2 浮游植物密度变化特点

大泉沟水库浮游植物密度变化趋势为:平水期>枯水期>丰水期。该趋势主要受库区水温影响。平水期水温骤升,同时光照充足,为藻类生长创造了有利的条件,加之库区水面蒸发量大、降水量小以及灌溉的需求,水位下降,所以在平水期浮游植物密度出现最大值,以绿藻的密度最高,硅藻的密度次之。枯水期和丰水期较低的水温不适宜藻类大量生长。虽然丰水期的水温高于枯水期水温,但丰水期的密度却小于枯水期,这很可能是由于春末夏初的丰水期,气温回升,水体表面冰层开始融化,水温回暖缓慢,其主要水源玛纳斯河水属于雪融水,低温雪融水大量流入水库,使得水体中藻类密度稀释,这是藻细胞密度出现全年最低值的主导因素之一。

3.3 浮游植物与环境因子之间关系

水体中营养盐特别是 N、P 是藻类生长最主要的元素,约以 16 : 1 的原子数比被吸收(章宗涉和黄祥飞,1991),N/P 比变化会影响浮游植物生长增殖,N/P 比失衡对硅藻的影响特别明显,当水库总氮和总磷浓度的比值在 10~15 时,最适宜于浮游植物增殖(Qu et al,2000)。大泉沟水库平均 N/P 值约为 28,尤其是丰水期的 N/P 值约为 35,这也可能是导致丰水期细胞密度出现全年最低值的另一因素,说明总磷已成为水库浮游植物生长速率的限制因子,这与 Pearson 相关性分析得出的总磷与绿藻、硅藻、蓝藻、黄藻均具有正相关系数的结论一致。

大泉沟水库透明度在 0.35~0.45 m,与浮游植物的种数呈正相关关系,与绿藻、硅藻和蓝藻的密度

均具有较大的负相关系数,可见水体洁净度(影响光照强弱)对于藻类的生长和种类组成有明显的影响;这与李磊等(2015)在阿哈水库的研究以及裴国霞等(2014)的研究结果一致。

大泉沟水库的溶解氧为 8.53~13.24 mg/L,年均值为10.8 mg/L。4月丰水期溶解氧含量达到最大值,而藻类密度是3个时期的最小值,这是因为溶解氧一方面来自植物的光合作用,另一方面来源于空气中的氧,丰水期水体持续流动增加空气中氧的溶解效率,该时期藻类数量少对溶解氧的消耗也相对较少,水温较低也是溶解氧含量增多的原因之一。大泉沟水库溶解氧含量与浮游植物群落结构的变化呈负相关,与游亮等(2007)的研究结果一致。

3.4 大泉沟水库的水质生态特征

浮游植物多样性指数是常用的水质评价指标。对于一般分析而言,较为稳定的浮游植物生物群落都具有较高的生物多样性指数与均匀度指数(姜作发等,2007)。水体受污染后,浮游植物群落往往出现种类减少,而某些抗性强的种类大量增加,导致多样性指数下降,因此多样性指数可反映水体的污染情况(管越强等,2007)。大泉沟水库的 Shannon-Weaver 多样性指数(H')为 1.97~2.56,判定大泉沟水库平水期和丰水期属于中营养水库,枯水期为中富营养水库。比较同一时期4个样点的 H' 值发现,虽然略有差异,但并不显著,说明大泉沟水库库区在同一时期各样点水质营养状况基本一致。

由于多样性指数与水质的关系复杂,受水体类型、计数方法和鉴定种类等因素影响,为确保其评价结果的可信性,可至少选用2种或2种以上的指标来评价水质,Margalef 指数 D_m 为 1.83~3.01;通常, D_m 越大生物多样性程度越高,污染状况越低,据此判定大泉沟水库属于中营养型水库。

浮游植物细胞密度也是水质评价的重要参数之一(舒金华,1993)。大泉沟水库浮游植物细胞密度($1\sim9\times10^6$ 个/L,年均值为 2.13×10^6 个/L,判定为中营养型水库(况琪军等,2005)。

从水质指标来看,大泉沟水库总氮与总磷值很高,根据中国湖泊富营养化的评价标准(舒金华,1993): $TN > 0.3$ mg/L, 0.05 mg/L $> TP > 0.0025$ mg/L的水质属中富营养化。本研究发现总磷值在枯水期和平水期均超出中富营养化的标准范围,说明水质可能有继续恶化的趋势;同时部分主要优势种如绿藻门的小球藻、四尾栅藻、蓝藻的细小裂藻和硅藻的尖针杆藻均是中富营养化的指示种。

这更加说明了大泉沟水库水质有继续恶化的趋势。

综上所述,多个指标分析显示,大泉沟水库属于中营养-中度富营养型水库,并且库区水质继续恶化的可能性非常大,因此对该水库水质状况继续监测和进一步防治是非常必要的。

参考文献

- 卜少伟,于洪贤,马成学,等,2012. 桃山水库浮游植物群落结构及水质营养状态评价[J]. 水生态学杂志, 33(1): 53-57.
- 陈春浩,张俊芳,马沛明,等,2012. 茜坑水库浮游植物时空分布及水质风险评价[J]. 水生态学杂志, 33(2): 32-39.
- 陈春梅,谭洪恩,1999. 大泉沟水库富营养化现状及防治[J]. 干旱环境监测, (1): 29-31.
- 程同福,2015. 玛纳斯河中游四大水库水质现状及富营养化分析对策[J]. 水利科技与经济, (11): 73-74, 80.
- 管越强,郭云学,李博,等,2007. 拒马河浮游植物群落特征及水质评价[J]. 河北大学学报(自然科学版), 27(4): 401-406.
- 国超旋,王冬梅,胡晓东,等,2016. 石臼湖江苏段浮游植物群落结构特征及与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志, (4): 23-29.
- 国家环境保护总局编,2002. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社: 88-284.
- 韩博平,2010. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学, 22(2): 151-160.
- 胡鸿钧,魏印心,2006. 中国淡水藻类系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社.
- 江源,王博,杨浩春,等,2011. 东江干流浮游植物群落结构特征及与水质的关系[J]. 生态环境学报, 20(11): 1700-1705.
- 姜作发,唐富江,董崇智,等,2007. 黑龙江水系主要江河浮游植物种群结构特征[J]. 吉林农业大学学报, 29(1): 53-57.
- 金相灿,屠清瑛,章宗涉,1990. 湖泊富营养化调查规范(第2版)[M]. 北京:中国环境科学出版社: 21-111.
- 况琪军,马沛明,胡征宇,等,2005. 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, (2): 87-91.
- 李磊,李秋华,焦树林,2015. 阿哈水库浮游植物功能群时空分布特征及其影响因子分析[J]. 环境科学学报, 35(11): 3604-3611.
- 李磊,李秋华,焦树林,等,2015. 小关水库夏季浮游植物功能群对富营养化特征的响应[J]. 环境科学, (12): 4436-4443.
- 刘建康,2000. 高级水生生物学[M]. 北京:科学出版社: 176-198.
- 裴国霞,郭琦,魏乐,等,2014. 金海水库浮游植物调查及群落

- 结构研究[J]. 水生态学杂志, 35(2): 68-73.
- 舒金华, 1993. 我国主要湖泊富营养化程度的评价[J]. 海洋与湖沼, 24(6): 616-620.
- 王博涵, 李文香, 项珍龙, 等, 2015. 济南地区河流浮游植物功能群与环境因子的关系[J]. 大连海洋大学学报, (5): 524-530.
- 王新花, 潘响亮, 2014. 新疆天业工业园区周围环境汞污染分析[J]. 干旱区研究, (4): 779-784.
- 王艳玲, 曹正梅, 刘峰, 2011. 崂山水库浮游植物的季节变化及水体营养状态[J]. 水资源保护, 27(1): 42-45.
- 王志红, 崔福义, 安全, 2005. 水温与营养值对水库藻华态势的影响[J]. 生态环境, 14(1): 10-15.
- 吴惠仙, 王琼, 蔡桢, 等, 2010. 新疆吉木乃红山水库浮游植物研究[J]. 水生态学杂志, 3(4): 50-54.
- 薛俊增, 刘艳, 蔡桢, 等, 2010. 新疆阿苇滩水库浮游植物群落生态特征[J]. 科技导报, 28(7): 55-58.
- 杨苏文, 2015. 滇池、洱海浮游动植物环境图谱[M]. 北京: 科学出版社.
- 游亮, 崔莉凤, 刘载文, 2007. 藻类生长过程中 DO、pH 与叶绿素相关性分析[J]. 环境科学与技术, 30(9): 42-44.
- 张婷, 李林, 宋立荣, 2009. 熊河水库浮游植物群落结构的周年变化[J]. 生态学报, (6): 2971-2979.
- 章宗涉, 黄祥飞, 1991. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 中华人民共和国水利部编, 2014. 中华人民共和国水利行业标准(SL 167-2014 替代 SL 167-96): 水库渔业资源调查规范[M]. 北京: 中国水利水电出版社.
- 周凤霞, 陈剑虹, 2011. 淡水微型生物与底栖动物(第 2 版)[M]. 北京: 化学工业出版社.
- Blinn D W, 1993. Diatom community structure along physicochemical gradients in saline lakes[J]. Ecology, 74: 1246-1263.
- Kamenir D Z, Zohary T, 2004. Phytoplankton sizes structure stability in a mesoeutrophic subtropical lake[J]. Hydrobiologia, 520: 89-104.
- Qu K M, Chen B J, Yuan Y X, 2000. A preliminary study on influence of N and P on population constituent of planktonic diatoms in seawater[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 11(3): 445-448.
- Shannon C E, Weaver W, 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana II[M]. University of Illinois Press: 1-54.
- Sun J, Liu D Y, 2004. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. Acta Oceanologica Sinica, 26(1): 62-75.
- Xu J H, Pan W B, Zhang H Y, 2007. Studying on planktonic algae and characteristics of water quality of some small and littoral artificial lake in the city zone[J]. Ecology Science, 26(1): 36-40.

(责任编辑 万月华)

Community Structure of Phytoplankton and Relationship to
Environmental Factors in Daquangou Reservoir

MA De-cao¹, HU Wen-ge¹, ZHANG Ying-dong², GAO Yan¹, JIA Wen-ping³, YOU Yang²,
LAN Hong-zhu¹, YANG Yang¹, HE Yuan¹, ZHANG Xiu-rong², WANG Xiao-hong¹

(1.Shihezi University College of Life Science,Shihezi 832000,P.R.China;
2.Shihezi, Xinjiang Manas River Basin Management,Shihezi 832000,P.R.China;
3.Fisheries Research Institute of Tianjin,Tianjin 300221,P.R.China)

Abstract: In order to provide a reference for protection of water resources and sustainable development of fisheries, the dynamic characteristics of phytoplankton community structure and the water quality status of the Daquangou Reservoir of Xinjiang were investigated. Samples were collected in October (dry season) and April (wet season) of 2015 and July (normal water season) of 2016 at four sampling sites. A total of 161 species representing 8 phyla were identified: 67 Chlorophyta species, 48 Bacillariophyta species, 26 Cyanophyta species, 6 Euglenophyta species, 6 Xanthophyta species, 6 Cryptophyta species, 1 Chrysophyta species and 1 Pyrrophyta species. The phytoplankton community has a green algae-diatom type structure, dominated by *Chlorella vulgaris*, *Synedra acus*, *Botrydiopsis intercedens*, *Scenedesmus quadricauda* and *Merismopedia*. The phytoplankton density range was $8.56 \times 10^5 - 5.54 \times 10^6$ ind/L, with an average value of 2.13×10^6 ind/L. The Shannon-Wiener index(H), Margalef index(D_m) and Pielou evenness index(J) of phytoplankton were 1.97–2.56, 1.83–3.01 and 0.68–0.77, respectively. Results indicate that pollution in Daquangou Reservoir is at a medium level and correlation analysis showed that water temperature (T), total phosphorus (TP), transparency (SD), and dissolved oxygen (DO) were the primary environmental factors influencing the Daquangou Reservoir phytoplankton community. Daquangou Reservoir is a moderately eutrophic reservoir.

Key words: Daquangou Reservoir; phytoplankton; community structure; aquatic environment factors