

河道整治对水质及浮游生物群落特征的影响*

——以重庆市大足区窟窿河三驱镇段为例

谭亮, 刘智皓, 陈启亮, 李英文

(重庆师范大学 生命科学学院 重庆市高校动物生物学重点实验室 重庆市高校生物活性物质工程研究中心, 重庆 401331)

摘要:【目的】调查进行综合治理后的重庆市大足区窟窿河三驱镇河段水质状况。【方法】于2015年11月对该河段中浮游生物指示种、多样性、群落结构及水质理化参数进行了调查。【结果】窟窿河三驱镇段共有浮游植物8门84属174种(含变种)、浮游动物3门25属33种。河段上、下游生物群落结构差异较大。浮游植物密度在上游两个采样点分别为 1.35×10^7 , 1.58×10^7 个 $\cdot L^{-1}$, 在下游采样点仅为 4.3×10^6 个 $\cdot L^{-1}$; 浮游动物密度在上游两个采样点分别为 3.96×10^3 , 5.20×10^3 个 $\cdot L^{-1}$, 在下游采样点则降至 3.20×10^3 个 $\cdot L^{-1}$ 。指示型为多污、中污带的3种隐藻即尖尾蓝隐藻(*Chroomonas acuta*)、嗜蚀隐藻(*Cryptomonas erosa*)和卵形隐藻(*Cryptomonas ovata*)在河段上游为绝对优势种, 而在下游仅少量发现, 且优势种中的中污、寡污带指示种数量增多, 暗示窟窿河水质有所好转。【结论】综合Shannon-Weiner多样性指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数的结果可知, 经过治理后的河段浮游植物的丰富度与群落稳定性有所提高。综合营养状态指数的结果显示, 研究河段水质由上游的中度/重度富营养状态向下游轻度富营养级转变。研究结果表明河道整治工程对研究河段水质有明显的改善作用。

关键词:窟窿河; 河道整治; 水质状况; 浮游生物

中图分类号:Q145; X522

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2017)04-0099-08

窟窿河位于重庆市大足区境内, 全长约56 km, 是大(二)型水库——玉滩水库的主要入库河流之一^[1]。窟窿河流域人口密集, 附近耕作田地和家禽养殖场较多, 生活污水与农畜业废水的排放使该河流水体可见度较低, 富营养化严重, 极有可能对作为53.3万人饮用水源地的玉滩水库造成不利影响。为消除隐患, 大足区水务局启动了“窟窿河三驱镇河段综合治理工程”。该工程全长1.994 km, 治理河段护岸设计堤线总长3.766 km, 于2011年8月动工, 2012年5月竣工^[2]。整治工程内容包括新建护岸、改造堤口堰、疏浚河道等。相关整治措施提高了上游水位, 减少了两岸的水土流失及营养盐的渗入; 堤口堰建成后减缓了上游的水流速度, 对上游水体中的营养盐、悬浮物和杂质有沉淀、过滤作用。

考虑到窟窿河水质对玉滩水库的重要性, 在窟窿河三驱镇河段综合治理工程相关水域进行水质与浮游生物状况调查, 对判断该河流的生态功能改善作用具有重要意义。为此, 本研究于2015年11月调查、分析了窟窿河三驱镇综合治理工程所处河段的浮游生物群落结构及水体健康状况, 为评价该工程的生态改善效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

根据窟窿河三驱镇段自然环境状况与河道整治工程对该河段上下游的影响, 利用ArcGIS 10.2在该工程上下游分别设置2个采样点(S1和S2)和1个采样点(S3), 采样点的设置与特征分别见图1和表1。

1.2 样品的采集方法与处理

1.2.1 水质理化参数的测定 监测的理化指标包括温度、pH、透明度(SD)、溶解氧含量(DO)、悬浮物含量(SS)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮含量(NH₃-N)、总氮含量(TN)、总磷含量(TP)、叶绿素a含量(Chl a)等。温度和pH用Kedida CT-6021A pH计测定, SD用赛氏盘测定, DO用AZ8403溶解氧分析仪测定, 相关工作均在现场进行。SS、COD_{Cr}、NH₃-N、TN、TP和Chl a参照文献[3]的方法在现场用2 L有机玻璃采水器采集表层水样(水下50 cm)带回实验室测定。

* 收稿日期: 2016-04-28 修回日期: 2017-05-28 网络出版时间: 2017-5-16 11:26

资助项目: 重庆市研究生科研创新项目(No.CYS16148); 重庆交通科研设计研究院有限公司项目(No.20151109)

第一作者简介: 谭亮, 男, 研究方向为水域生态学, E-mail: tan0405@sina.com; 通信作者: 李英文, 教授, E-mail: liyingwen@live.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170516.1126.064.html>

1.2.2 浮游生物参数的测定 浮游生物定性与定量样品的采集方法参照文献[3]的方法。浮游植物与浮游动物定性水样分别用 25 号与 13 号浮游生物网采集,装瓶后用体积分数为 5% 的福尔马林加以固定,室内镜检,浮游生物物种鉴定主要依据文献[4]。定量水样用 2 L 有机玻璃采水器进行采集,取 1 L 装入广口瓶,加体积分数为 1% 的鲁格试剂固定,静止沉淀 24 h 后浓缩至 40 mL,充分摇匀后镜检。浮游植物与浮游动物的密度分别使用 0.1, 1 mL 计数框在显微镜下进行计数^[3],生物量使用万深藻类计数辅助鉴定仪(AlgaeC)选择对应的生物模型进行计算。浮游生物指示种的判定参照文献[4-6]。

1.2.3 水质评价方法 采用卡尔森营养状态指数(TSI)^[7]衍生出的综合营养状态指数(TLI),计算公式为^[8-9]:

$$F_{TLI} = \sum_{j=1}^m W_j F_j$$

其中, F_{TLI} 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重。 F_j 为第 j 种参数的营养状态指数, m 为评价参数的个数。各参数营养状态指数计算公式为:

$$F_{TLI(Chl a)} = 10 \times (2.5 + 1.086 \ln F_{Chl a}),$$

$$F_{TLI(TP)} = 10 \times (9.436 + 1.624 \ln F_{TP}),$$

$$F_{TLI(TN)} = 10 \times (5.453 + 1.694 \ln F_{TN}),$$

$$F_{TLI(SD)} = 10 \times (5.118 - 1.941 \ln F_{SD}).$$

式中 $F_{Chl a}$ 单位为 $mg \cdot m^{-3}$, F_{SD} 单位为 m , F_{TN} 和 F_{TP} 单位为 $mg \cdot L^{-1}$ 。营养状态分级标准参考文献[10], $F_{TLI} < 30$ 时为贫营养, $30 \leq F_{TLI} \leq 50$ 时为中营养, $F_{TLI} > 50$ 时为富营养, $50 < F_{TLI} \leq 60$ 时为轻度富营养, $60 < F_{TLI} \leq 70$ 时为中度富营养, $F_{TLI} > 70$ 时为重度富营养。

1.2.4 多样性及优势度分析方法 浮游生物的 Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')、Margalef 物种丰富度指数(d_{Ma})、Pielou 均匀度指数(J)和优势度指数(Y)的计算公式如下^[11-13]:

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i, d_{Ma} = (S - 1) / \log_2 N,$$

$$J = H' / H'_{max}, Y = n_{max} / N.$$

其中, P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值, H'_{max} 为 $\log_2 S$, S 为样品中总种类数, N 为样品中的生物总个体数, n_{max} 为优势种的个数。

表 1 窟窿河采样点分布特点

Tab. 1 The distribution characteristics of the sampling sites in Kulong river

采样点	地理坐标	特征
S1	北纬 29°39'26.44"、东经 105°37'04.64"	窟窿三驱镇段上游未受工程影响河段,水流速较快,河道较浅窄
S2	北纬 29°39'00.42"、东经 105°37'08.68"	窟窿三驱镇段上游受工程影响较大河段,水流速缓慢,河道较深
S3	北纬 29°38'30.53"、东经 105°37'39.37"	窟窿三驱镇段下游已治理河段,水流速快,河道较宽

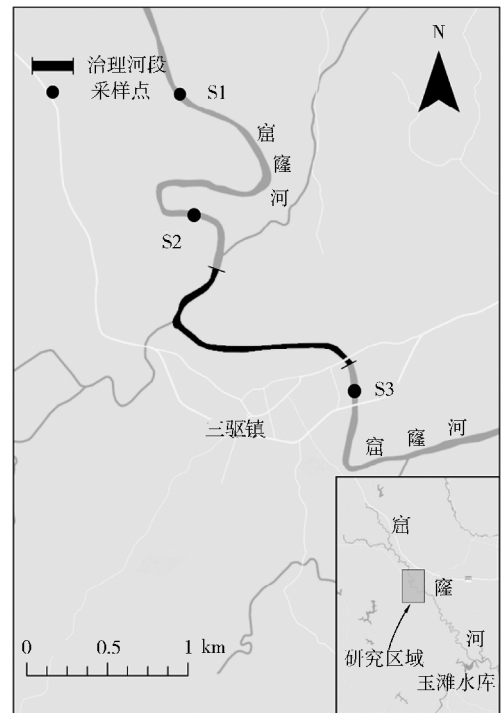


图 1 窟窿河采样点布置

Fig. 1 Sampling sites in Kulong river

2 结果与分析

2.1 水质评价

水质理化参数的监测结果表明窟窿河三驱镇段水质总体较差,多项指标未达到《地表水环境质量标准》(GB/T 3838—2002)中的Ⅲ类水质标准,但下游水质稍好于上游。由表 2 可知, COD_{Cr} 在 S1, S2 样点为 IV 水质标准,在 S3 样点达到Ⅲ类水质标准; TN 在 S1, S2 采样点为 V 类水质标准,在 S3 样点恢复到Ⅳ类水质标准; TP 在 S1, S2 采样点仅为劣 V 类水质标准,在 S3 采样点也恢复到 V 类水质标准。此外其他指标均处于较好水平, NH_3-N 在各采样点均在Ⅲ类水质标准以上, DO 均达到 I 类水质标准。对窟窿河各采样点的评价结果表明, S1 采样点为中度富营养, S2 采样点为重度富营养, S3 采样点为轻度富营养。

表 2 窟窿河各采样点水体理化指标值

Tab. 2 Some physico-chemical parameters of water in the sampling sites of Kulong river

采样点	温度/°C	pH	SD/m	DO/ (mg · L ⁻¹)	SS/ (mg · L ⁻¹)	COD _{Cr} / (mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg · L ⁻¹)	TN/ (mg · L ⁻¹)	TP/ (mg · L ⁻¹)	Chl a/ (μg · L ⁻¹)	TLI
S1	18.6	8.2	0.55	10.23	30.75	23.365	0.456	1.614	0.530 9	40.109	68.40
S2	18.9	8.6	0.45	14.33	72	22.334	0.407	1.764	0.497 4	85.375	72.04
S3	19.3	7.8	0.95	8.69	30	18.554	0.504	1.243	0.346 8	12.564	59.35

2.2 浮游植物群落结构特征

2.2.1 浮游植物种类组成 本研究共鉴定出浮游植物 8 门 84 属 174 种(包括变种)。其中:绿藻门(Chlorophyta)最多,为 84 种,占总数的 48.28%;其次为硅藻门(Bacillariophyta),共 33 种,占总数的 18.97%;再次为蓝藻门(Cyanophyta),共 24 种,占总数的 13.79%;裸藻门(Euglenophyta) 14 种,占总数的 8.05%;黄藻门(Xanthophyta) 6 种,占总数的 3.45%;甲藻门(Pyrrhophyta) 6 种,占总数的 3.45%;隐藻门(Cryptophyta) 5 种,占总数的 2.87%;金藻门(Chrysophyta) 2 种,占总数的 1.15%。研究发现各采样点浮游植物物种数量差异不大,S1,S2,S3 采样点浮游植物物种数量分别为 127,125,135 种。

2.2.2 浮游植物密度与生物量 浮游植物定量结果表明,浮游植物的密度在 3 个采样点间变化较大。其中:在流速缓慢的 S2 采样点浮游植物密度最高,为

1.58×10^7 个 · L⁻¹;在水流速度较快的 S1 采样点浮游植物密度为 1.35×10^7 个 · L⁻¹;而在工程下游的 S3 采样点浮游植物密度剧减至 4.3×10^6 个 · L⁻¹。在 S1 采样点中,隐藻所占比例最高,为 50.88%,其次分别为绿藻门(27.48%)和硅藻门(13.67%),其余藻类仅有少量分布。S2 采样点中隐藻的比例同样为最大(57.71%)。在 S1,S2 采样点中所占比例最高的隐藻在 S3 采样点仅为 3.72%,远低于绿藻门(58.19%)、硅藻门(23.74%) (图 2a)。另外,S1,S2,S3 采样点浮游植物的生物量分别为 27.51,31.99,3.83 mg · L⁻¹ (图 2b)。

2.3 浮游动物群落结构特征

2.3.1 浮游动物种类组成 本研究共发现浮游动物 3 门 25 属 33 种。其中轮虫门最多,为 18 种,占总数的 54.55%;原生动物门 6 种,占总数的 18.18%;节肢动物门 9 种,占总数的 27.27%。调查发现各采样点浮游动物种类数量差异不大,S1,S2,S3 采样点浮游动物种类分别为 26,28,29 种。

2.3.2 浮游动物密度与生物量 本研究发现在流速较慢的 S2 采样点浮游动物密度最大,为 5.20×10^3 个 · L⁻¹;其次为 S1 采样点, 3.96×10^3 个 · L⁻¹;在下游的 S3 采样点浮游动物密度降至 3.20×10^3 个 · L⁻¹。

S1,S2,S3 采样点各门类浮游动物的密度比例相差不大,节肢动物在各采样点所占比例都很低,分别为 1.01%,1.54%,2.50%。原生动物的密度在 S1 采样点和 S2 采样点都超过了浮游动物总密度的一半(分别占总量的 55.56%和 51.54%),而在 S3 采样点有所减少,仅占总量的 37.50%。轮虫的密度在 S1 和 S2 采样点仅分

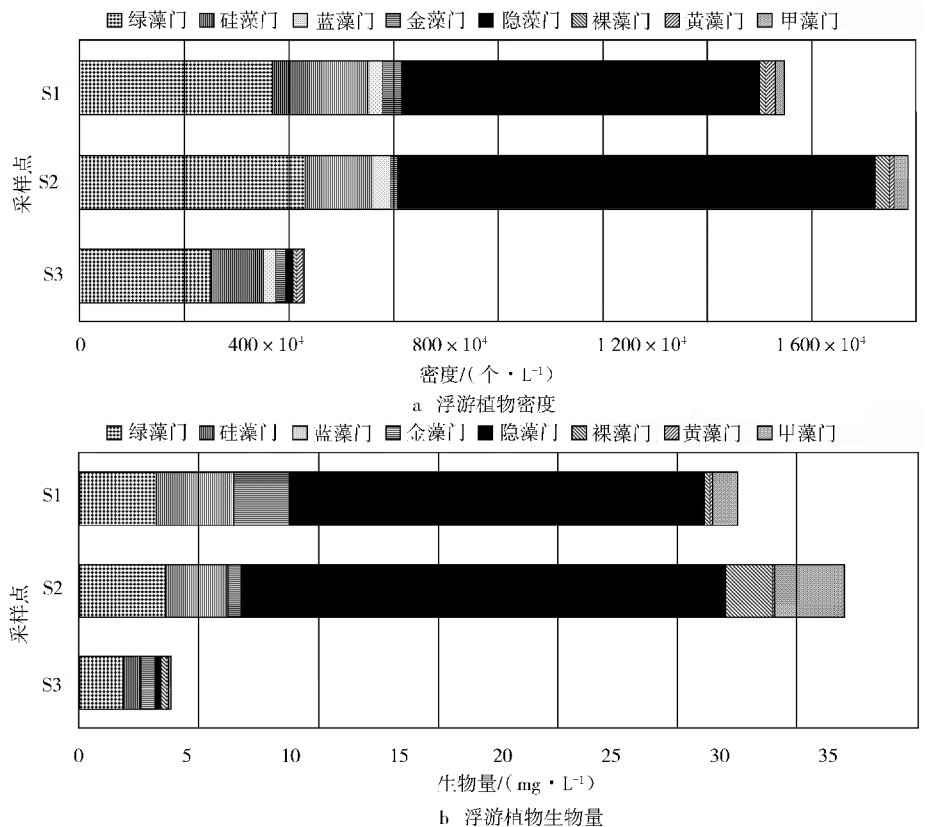


图 2 窟窿河各采样点的浮游植物密度及生物量

Fig. 2 Sampling sites in Kulong river

别占总量的 43.43% 和 46.92%，而在 S3 采样点占总量的 60.00% (图 3a)。另外，浮游动物生物量在 S1 采样点为 $1.29 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，远高于 S2 和 S3 采样点，后两处的浮游动物生物量仅分别为 $0.89, 0.67 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 3b)。

2.4 浮游生物污染指示种状况

研究中共发现 102 种浮游植物和 23 种浮游动物为环境污染指示种。各采样点中，浮游植物和浮游动物均为 β -中污带指示种的种类数最多。在 S1, S2, S3 采样点中： β -中污带的浮游植物分别为 63, 56, 66 种，分别占总数的 66.32%，63.64%，62.26%； β -中污带的浮游动物分别为 18, 19, 18 种，分别占总数的 56.25%，54.29%，54.55%。其次是寡污带的指示种，在 S1, S2, S3 采样点中：寡污带的浮游植物分别为 19, 17, 22 种，分别占总数的 20.00%，19.32%，20.75%；而寡污带的浮游动物分别为 7, 9, 10 种，分别占总数的 21.88%，25.71%，30.30%。此外，在 S1, S2, S3 采样点中 α -中污带的浮游植物指示种分别为 11, 13, 16 种，分别占总数的 11.58%，14.77%，15.09%；而 α -中污带的浮游动物指示种在以上 3 个采样点中分别有 7, 7, 5 种，分别占总数的 21.88%，20.00%，15.15%。浮游植物多污带指示种在各采样点均有 2 种，而各采样点中都未发现浮游动物多污带指示种。

2.5 浮游生物优势种的组成特征

以优势度指数大于 0.02 为标准确定优势种^[14]，S1, S2, S3 采样点中浮游植物优势种分别为 8, 8, 13 种。在 S1, S2 采样点中，4 种隐藻的优势度总和分别为 0.507 与 0.570；S3 样点的优势种无隐藻出现(表 3)。

表 3 窟窿河各采样点浮游植物优势种组成

Tab. 3 Composition of dominant species phytoplankton in the sampling sites of Kulong river

门	浮游植物优势种	优势度			指示型
		S1样点	S2样点	S3样点	
绿藻门(Chlorophyta)	普通小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)	0.068	0.071	0.138	$\alpha\text{m}, \beta\text{m}$
	狭形纤维藻(<i>Ankistrodesmus angustus</i>)		0.025	0.069	
	旋转单针藻(<i>Monoraphidium contortum</i>)			0.030	
	胶四胞藻(<i>Tetraspora gelatinosa</i>)			0.021	os
	格里佛单针藻(<i>Monoraphidium griffithii</i>)			0.021	
	厚顶栅藻(<i>Scenedesmus incrassatulus</i>)			0.021	βm
	单胞衣藻(<i>Chlamydomonas monadina</i>)		0.020		$\alpha\text{m}, \beta\text{m}$
硅藻门(Bacillariophyta)	变异直链藻(<i>Melosira varians</i>)			0.060	βm
	颗粒直链藻(<i>Melosira granulate</i>)	0.038	0.022	0.048	βm
	膜糊沟链藻(<i>Aulacoseira ambigua</i>)	0.021		0.032	
	远距沟链藻(<i>Aulacoseira distans</i>)			0.026	
	梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)			0.021	βm
隐藻门(Cryptophyta)	尖尾蓝隐藻(<i>Chroomonas acuta</i>)	0.212	0.290		βm
	啮蚀隐藻(<i>Cryptomonas erosa</i>)	0.172	0.158		ps, αm
	卵形隐藻(<i>Cryptomonas ovata</i>)	0.079	0.096		$\beta\text{m}, \alpha\text{m}$
	吻状隐藻(<i>Cryptomonas rostrata</i>)	0.044	0.026		
金藻门(Chrysophyta)	分歧锥囊藻(<i>Dinobryon divergens</i>)	0.024		0.034	os
黄藻门(Xanthophyta)	无根拟气球藻(<i>Botrydiopsis arhiza</i>)			0.021	

注:os 为贫营养型; βm 为 β -中营养型; αm 为 α -中营养型; ps 为富营养型。下同。

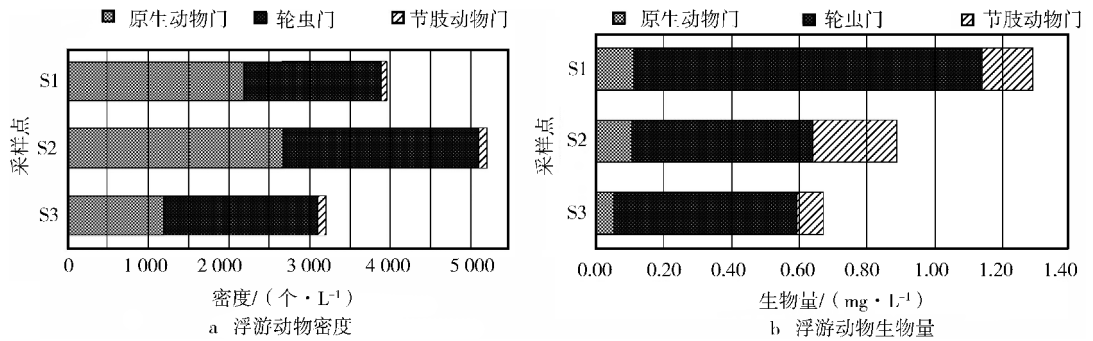


图 3 窟窿河各采样点浮游动物密度及生物量

Fig. 3 Density and biomass of zooplankton in the sampling sites of Kulong river

S1, S2, S3 采样点中的浮游动物优势种分别为 12, 8, 11 种, 且均来自轮虫门(Rotifer)和原生动物门(Protozoa)。在 S1 采样点各优势种的优势度不高, 优势度最高的物种为大弹跳虫(*Halteria grandinella*)和淡水筒壳虫(*Tintinnidium fluviatile*), 两者优势度均为 0.182。在 S2 采样点大弹跳虫与广布多肢轮虫(*Polyarthra vulgaris*)的优势度分别急剧上升至 0.300, 0.285; 在 S3 采样点最高优势度物种也为广布多肢轮虫与大弹跳虫, 但两者优势度有降低的趋势, 分别为 0.275, 0.188(表 4)。

2.6 浮游生物多样性指数

分析同时发现, 在 S3 采样点浮游植物的 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数与 Pielou 指数最高。而浮游动物各多样性指数均在 S1 采样点中最高(表 5)。

表 4 窟窿河各采样点浮游动物优势种组成

Tab. 4 Composition of dominant species zooplankton in the sampling sites of Kulong river

门	浮游动物优势种	优势度			指示型
		S1	S2	S3	
轮虫门 (Rotifer)	广布多肢轮虫(<i>Polyarthra vulgaris</i>)	0.121	0.285	0.275	$\alpha m, \beta m, os$
	红多肢轮虫(<i>Polyarthra remata</i>)	0.020	0.077	0.150	$\alpha m, \beta m, os$
	螺形龟甲轮虫(<i>Keratella cochlearis</i>)	0.061	0.039	0.050	$\beta m, os$
	前节晶囊轮虫(<i>Asplanchna priodonta</i>)	0.061	0.039	0.025	βm
	长肢多肢轮虫(<i>Polyarthra dolichoptera</i>)			0.025	βm
	脾状三肢轮虫(<i>Filinia opoliensis</i>)			0.025	
	长三肢轮虫(<i>Filinia longiseta</i>)	0.030			$\alpha m, \beta m$
	曲腿龟甲轮虫(<i>Keratella valga</i>)	0.061			$\beta m, os$
	尖尾鞍甲轮虫(<i>Lepadella acuminata</i>)	0.020			βm
	萼花臂尾轮虫(<i>Brachionus calyciflorus</i>)	0.020			$\alpha m, \beta m$
原生动物门 (Protozoa)	大弹跳虫(<i>Halteria grandinella</i>)	0.182	0.300	0.188	$\beta m, os$
	淡水筒壳虫(<i>Tintinnidium fluviatile</i>)	0.182	0.054	0.088	βm
	盘钟虫(<i>Vorticella patellina</i>)	0.051	0.062	0.050	βm
	普通表壳虫(<i>Arcella vulgaris</i>)			0.025	$\alpha m, \beta m$
	修饰蓝口虫(<i>Nassula ornate</i>)			0.025	βm
	泥炭刺胞虫(<i>Acanthocystis turfacea</i>)	0.131	0.085		os

3 讨论

理化数据能直观地显示采样时水体的状况, 但是它的瞬时变化量较大, 降雨、温差、人类活动等都对它有极强的影响。长期生活在水中的浮游生物对环境变化很敏感, 水质的任何变化都可能影响它们的种群密度、群落结构与功能。对浮游生物进行研究能够知晓它们整个生活时期中环境因素的改变情况, 而浮游生物的群落结构、密度、优势种等与水体的营养状态密不可分, 都能揭示水体的健康状况^[14]。然而, 由于各种浮游生物的特性不同, 且生物与环境之间的相互关系复杂, 仅用浮游生物对水体进行评价很难得到确切直观的结果^[15]。对理化数据和浮游生物数据进行综合分析, 能够更全面而具体地评价河流的健康状况。

3.1 水质总体评价

窟窿河三驱镇段 TN, TP 超标, SD 较低, COD_{Cr} 也偏高, 很可能与当地家禽养殖场废水、生活污水的排放以及农田中肥料流失有关。下游的 S3 采样点各指标均有明显好转, 但 TN, TP 仍未达到 III 类水质标准。DO 在各采样点均达到 I 类水质标准, 其中在 S1、S2 采样点皆处于过饱和状态, 这可能与水中藻类数量较多且白天光照较强以致藻类光合作用较强有关。S2 采样点的 SS 极高, 是因为该样点处于整治工程流速减缓区, 大量富含悬浮物质的河水由于河口堰阻挡、流速减缓等原因致使该采样点悬浮物累积。在治理河段采用过滤、沉淀等方式净化后, S3 采样点处的 SS 降至 30 mg · L⁻¹。由 TLI 可知窟窿河多处河段富营养化程度严重: 在 S1 采样点为中

表 5 窟窿河各采样点浮游生物多样性指标

Tab. 5 Diversity index of plankton in the sampling sites of Kulong river

采样点	浮游植物指标			浮游动物指标		
	H'	d _{Ma}	J	H'	d _{Ma}	J
S1	3.130 4	7.719 3	0.722 8	2.423 7	2.564 4	0.838 5
S2	2.938 6	8.642 1	0.658 0	2.004 2	2.136 0	0.722 9
S3	3.789 6	8.711 2	0.864 8	2.256 0	2.530 9	0.796 3

注: H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, d_{Ma} 为 Margalef 丰富度指数, J 为 Pielou 均匀度指数。

度富营养型;在 S2 采样点藻类数量增多,营养物质由于水流减缓在该处淤积达到了重度富营养化水平。经过治理河段净化后的 S3 样点水质则明显好转,评价结果为轻度富营养型。

3.2 浮游植物群落结构特征对水质状况的指示

本研究发现,隐藻的密度和生物量在下游明显下降。隐藻是一种适应于低光照、高有机物含量水体环境的藻类,且很多种类的隐藻都能适应大范围的辐射照度,对富营养化的水体也有极强的耐受性^[16]。这些特点使隐藻能在低光照条件下充分利用外界有机物质。窟窿河三驱镇段上游 SS 较高,SD 低,且 TN,TP 偏高,这为隐藻成为优势种提供了有利的条件。S2 采样点较 S1 采样点的 SD 更低,富营养化程度更高,隐藻在该采样点的密度继续增加^[17]。受污染的河水经过治理河段后 SS 减少,SD 升高,TN,TP 也相应地降低,在上游作为绝对优势种的各种隐藻的数量也随之急剧减少,不再是下游河段的优势种,浮游植物总密度也明显降低。上述结果表明,河道整治工程对窟窿河浮游植物的群落结构改变有明显效果^[18]。

3.3 浮游动物群落结构特征对水质状况的指示

浮游动物主要以比自己小的浮游生物为食,但由于自身的移动捕食能力较弱,湍急的水流会增大它们的捕食难度。窟窿河浮游动物的食物来源较多,但因水流速较快,并不适合浮游动物的生长。S2 采样点由于堤口堰对河水的阻拦导致水流减缓,浮游动物数量有所增加;在 S3 采样点河水流速再次变快,浮游动物数量也随之减少,因此较低密度的浮游动物无法有效控制浮游植物的数量。不仅如此,窟窿河三驱镇段浮游动物还有小型化的特点。该河段浮游动物主要由个体较小的原生动物和轮虫组成,相对个体较大的节肢动物在 3 个采样点的数量都非常少。有研究表明小型浮游动物无法捕食大型浮游植物,因此浮游动物小型化会使得水体中大型浮游植物的数量增多^[19-20]。本研究发现,治理河段上游 S1 和 S2 采样点中体积稍大的轮虫密度明显低于下游的 S3 采样点,而个体较小的原生动物的数量都超过了浮游动物总数的 50%。由此本研究推测,上游个体较大的浮游植物出现爆发性生长的原因之一可能与浮游动物小型化有关。这使得上游大型浮游植物的数量增多,且增加了水体发生水华的风险^[21]。而治理工程则有效地控制了浮游植物的数量,减小了水华爆发的可能性。由此可见,本研究中浮游生物的评价结果与理化参数的评价结果基本一致^[22-23]。

3.4 浮游生物多样性指数评价

一般认为浮游生物多样性指数越高代表群落结构越稳定,水质越好。水体中的环境敏感种易受污染物质的影响,不易在恶劣条件下存活。当环境被污染后环境敏感种会被更耐污的种类替代,导致耐污型生物大量繁殖,成为优势种,群落结构趋于简单,稳定性减弱。本研究结果显示浮游生物的 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数与 Pielou 指数均处于较高水平,这与仅由浮游生物的优势种指示型和水质理化指标评价结果所得出的结论即窟窿河三驱镇段属于中度污染的富营养化水体明显存在差异。在以往研究中,有不少学者发现所监测的水体中浮游生物具有较高的物种多样性,而理化指标却显示水体受到了一定程度的破坏^[24]。造成这种差异的原因是由于不同的浮游生物对各类营养物的需求也不同。当这些具有不同营养需求的生物组成群落时,就避免了物种间的直接竞争,同时水体的富营养化也为浮游生物提供了丰富的营养物质,从而减轻了营养因子对生长的限制,这使许多种类共存于同一水体成为可能^[25]。窟窿河 N,P 等营养物质丰富,受环境干扰的影响,Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数与 Pielou 指数均处于较高水平,因此不能直接用多样性指标来评定窟窿河水质的好坏。浮游植物由于密度较大、数量较多,各指数的变化规律较浮游动物的指数来看与其他指标更吻合。由本研究结果可知,在经过治理的 S3 采样点浮游植物的各生物多样性指数均达到最高值,在该采样点的浮游植物群落结构也最稳定。

4 结论

本研究发现,窟窿河三驱镇段浮游动物有小型化的特点,且整体密度偏低,因此无法有效控制窟窿河较高的浮游植物密度。作为多污、中污型指示种的隐藻在经过窟窿河河道整治工程对水体的净化后数量明显减少,优势种的种类组成也更多样化。窟窿河河道整治工程对水体中 TN,TP,COD_{Cr} 等指标的修复作用明显,TLI 显示的营养状态等级也由 S1,S2 采样点的中度、重度富营养状态恢复到轻度富营养级。但水质指标中仍有 TN,TP 等指标处于较高水平。因此,对窟窿河水质继续监测和持续治理是必要的。

参考文献:

- [1] 陈正鱼,张立春.“防洪工程”应让百姓放心[J].民主与法制,2013(10):55-56.
CHEN Z Y,ZHANG L C.“Flood control project” should let the people rest assured[J].Democracy and Legal System,2013(10):55-56.
- [2] 王义.重庆开建第二座大型水库解决53.3万人饮水困难[J].岩土工程界,2007(6):16.
WANG Y.Chongqing construction of second large reservoirs to solve 533 thousand people drinking[J].Geotechnical Engineering World,2007(6):16.
- [3] 国家环保总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
The Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China.The monitoring and analysis methods of the water and waste water[M].4th version,Beijing:China Environmental Science Press,2002.
- [4] B 福迪.藻类学[M].上海:上海科学技术出版社,1980.
FOTT B.Algenkunde[M].Shanghai:Shanghai science and Technology Press,1980.
- [5] 卢全章.环境和指示生物:水域分册[M].北京:中国环境科学出版社,1987:60-148.
LU Q Z.The environmental and biological indicator:water volume[M].Beijing:China Environmental Press,1987:60-148.
- [6] 黄玉瑶.内陆水域污染生态学:原理与应用[M].北京:科学出版社,2001:136-142.
HUANG Y Y.Inland water pollution ecology:principles and applications[M].Beijing:Science Press,2001:136-142.
- [7] CARLSON R E.A trophic state index for lakes[J].Limnology and Oceanography,1977,22(2):361-369.
- [8] 张佳磊,郑丙辉,刘录三,等.三峡水库试验性蓄水前后大宁河富营养化状态比较[J].环境科学,2012,33(10):3382-3389.
ZHANG J L,ZHENG B H,LIU L S,et al.Comparison of trophic status analysis of the Daning river within the Three Gorges reservoir before and after experimental impoundment[J].Environmental Science,2012,33(10):3382-3389.
- [9] 许秋瑾,郑丙辉,朱延忠,等.三峡水库支流营养状态评价方法[J].中国环境科学,2010,30(4):453-457.
XU Q J,ZHENG B H,ZHU Y Z,et al.Nutrient status evaluation for tributary of Three Gorges reservoir[J].China Environmental Science,2010,30(4):453-457.
- [10] 张蕊,高良敏,席北斗,等.改进的 TLI 指数法及其在巢湖营养状态评价中的应用[J].环境工程学报,2013,7(6):2127-2133.
ZHANG R,GAO J L,XI B D,et al.Improved TLI index method and its application in nutritional states evaluation in Chaohu lake[J].Chinese Journal of Environmental Engineering,2013,7(6):2127-2133.
- [11] SPELLERBERG I F,FEDOR P J.A tribute to Claude Shannon (1916—2001) and a plea for more rigorous use of species richness,species diversity and the ‘Shannon-Wiener’ index[J].Global Ecology and Biogeography,2003,12(3):177-179.
- [12] MCNAUGHTON S J.Relationships among functional properties of Californian grassland[J].Nature,1967,216(5111):168-169.
- [13] LAMPITT R S,WISHNER K F,TURLEY C M,et al.Marine snow studies in the Northeast Atlantic ocean:distribution,composition and role as a food source for migrating plankton[J].Marine Biology,1993,116(4):689-702.
- [14] 代龚圆,李杰,李林,等.滇池北部湖区浮游植物时空格局及相关环境因子[J].水生生物学报,2012,36(5):946-956.
DAI G Y,LI J,LI L,et al.The spatio-temporal pattern of phytoplankton in the north basin of lake Dianchi and related environmental factors.[J].Acta Hydrobiologica Sinica,2012,36(5):946-956.
- [15] 王晓清,曾亚英,吴含含,等.湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析[J].水生生物学报,2013,37(3):488-494.
WANG X Q,ZENG Y Y,WU H H,et al.Investigation on plankton community composition and water quality state in the mainstream of Xiangjiang river[J].Acta Hydrobiologica Sinica,2013,37(3):488-494.
- [16] 刘霞,陆晓华,陈宇炜.太湖北部隐藻生物量时空动态[J].湖泊科学,2012,24(1):142-148.
LIU X,LU X H,CHEN Y W,et al.Temporal and spatial dynamics of cryptophytes biomass in the north of lake Taihu[J].Journal of Lake Sciences,2012,24(1):142-148.
- [17] MATSUMURA-TUNDISI T,TUNDISI J G.Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita reservoir, SP,Brazil)[J].Hydrobiologia,2005,542(1):367-378.
- [18] 周绪申,林超,罗阳,等.滦河水库系统浮游植物时空变化特征研究[J].农业环境科学学报,2010,29(10):1884-1891.
ZHOU X S,LIN C,LUO Y,et al.Temporal and spatial variability analysis of phytoplankton at the Luanhe river reservoir system in North China[J].Journal of Agro-Environment Science,2010,29(10):1884-1891.
- [19] 陈济丁,任久长.利用大型浮游动物控制浮游植物过量生长的研究[J].北京大学学报:自然科学版,1995,31(3):373-382.
CHEN J D,REN C J.Studies on control of excessive phytoplankton growth by macrozooplankton[J].Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis,1995,31(3):373-382.
- [20] BACHMANN R W,HORSBURGH C A,HOYER M V,

- et al. Relations between trophic state indicators and plant biomass in Florida lakes[J]. *Hydrobiologia*, 2002, 470(1/2/3): 219-234.
- [21] 黄丹, 沈建忠, 胡少迪, 等. 长江天鹅洲故道浮游动物群落结构及水质评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(3): 328-334.
- HUANG D, SHEN J Z, HU S D, et al. Zooplankton community structure and water quality assessment in Tian-ezhou oxbow of the Yangtze river[J]. *Resources & Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(3): 328-334.
- [22] MARTINRT J, DESCLOUX S, GUEDANT P, et al. Phytoplankton functional groups for ecological assessment in young sub-tropical reservoirs: case study of the Nam-Theun 2 reservoir, Laos, South-East Asia[J]. *Journal of Limnology*, 2014, 73(3): 536-550.
- [23] SALMASO N, MORABITO G, BUZZI F, et al. Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps[J]. *Hydrobiologia*, 2006, 563(1): 167-187.
- [24] 俞秋佳, 徐凤洁, 蒋跃, 等. 夏秋季苏州河浮游植物群落特征及其影响因子[J]. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(4): 450-457.
- YU Q J, XU F J, JIANG Y, et al. Characteristics of phytoplankton community in Suzhou river in summer and autumn and their affecting factors[J]. *Journal of Ecology & Rural Environment*, 2014, 30(4): 450-457.
- [25] 刘冬燕, 林文鹏, 赵敏. 苏州河浮游植物群落结构特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(10): 914-918.
- LIU D Y, LIN W P, ZHAO M. Community structural characteristics of phytoplankton in Suzhou creek[J]. *Resources & Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(10): 914-918.

Influence of River Regulation on Plankton Community Characteristics and Water Quality: a Case Study of Sanqu Town Section of Kulong River in Dazu, Chongqing

TAN Liang, LIU Zhihao, CHEN Qiliang, LI Yingwen

(Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Engineering Research Center of Bioactive Substances, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] In order to investigate the water quality after the comprehensive treatment project of Sanqu town section of Kulong river was completed. [Methods] The water samples were collected in November 2015 and the indicator species, diversity and community structure of plankton and the physical and chemical parameters of water quality were analyzed. [Findings] The results showed that a total of 174 species (including varieties) of phytoplankton (belonging to 8 phyla and 84 genera), and 33 species of zooplankton (belonging to 3 phyla and 25 genera) were identified. The biological community structure showed a significant difference between the upper and lower reaches of the project. The phytoplankton density of two sample points from upper reaches was 1.35×10^7 , 1.58×10^7 ind. \cdot L⁻¹ respectively, while only 4.3×10^6 ind. \cdot L⁻¹ in lower reaches; the Zooplankton density of two sample points from upper reaches was 3.96×10^3 , 5.20×10^3 ind. \cdot L⁻¹ respectively, but only 3.20×10^3 ind. \cdot L⁻¹ in downstream samples. Meanwhile, three kinds of Cryptophyta (*Chroomonas acuta*, *Cryptomonas erosa*, and *Cryptomonas ovata*), the indicator species of polysaprobic and mesosaprobic type, were the absolute dominant species in the upper reaches, whereas only in small quantities was found in the lower reaches. [Conclusions] Based on analysis of the Shannon-Weiner index, Margalef index and Pielou index, the abundance of Phytoplankton and the stability of community increased after synthesizing harnessing. In addition, trophic level index (TLI) also indicated that the water quality of Kulong river changed from moderate and severe eutrophication in the upper reaches to light eutrophication level in the lower reaches. Therefore, it showed that the comprehensive treatment project obviously improved the water quality of the Kulong river.

Keywords: Kulong river; river regulation; water quality; plankton

(责任编辑 方 兴)