

重庆彭水棣棠河浮游生物群落结构及其与环境因子的关系*

夏子杨, 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】研究重庆彭水棣棠河浮游生物群落结构及其与环境因子的关系。【方法】在2018年1月对棣棠河3个采样点的浮游生物及水质的理化因子状况进行了调查和采样。【结果】浮游植物共计4门17属41种,其中以硅藻门(Bacillariophyta)种类最多,优势种为模糊直链藻(*Melosira ambigua*)和颗粒直链藻(*Melosira granulata*);平均密度为 3×10^5 个 $\cdot L^{-1}$,平均生物量为 $209.16 \text{ mg} \cdot L^{-1}$;Shannon-Wiener指数(H')、Pielou指数(J)与Margalef指数(D)分别为3.078, 0.975和4.677。浮游动物共计3门11属13种,优势种为前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*);平均密度为 10.67 个 $\cdot L^{-1}$,平均生物量为 $0.193 \text{ mg} \cdot L^{-1}$; H' , J 和 D 分别为2.038, 0.965和2.141。相关性分析表明,棣棠河浮游生物的多样性指数与溶解氧含量、温度、总磷含量和总氮含量呈统计学意义上的正相关关系($p < 0.05$),与pH、化学需氧量、悬浮物含量、电导率和溶解固体总量呈统计学意义上的负相关关系($p < 0.05$)。【结论】研究河段水质为清洁型,营养程度为贫营养型。

关键词:浮游植物;浮游动物;棣棠河;水质;相关分析

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2019)02-0112-07

棣棠河为郁江的一级支流,发源于重庆市石柱土家族自治县苏茅湾垭口,全流域面积 350 km^2 。棣棠河主河道长 30.5 km ,位于重庆市彭水苗族土家族自治县。棣棠河属断续性河流,各段之间由暗河连接。流域内植被较好,河流中含沙量较小,地貌以岩溶形态为主,侵蚀形态较少,流域内大部分地区是灰岩,多处出现暗河、地下水出露多。

浮游植物中大部分是在湖泊或者河流中的藻类,它们构成了水生态圈中必不可少的一环。如果水体中的浮游植物没有处于生态学上的稳态平衡状态,那么水体中藻类的生物多样性和物种丰富度就会急剧下降,只剩下一些能在极端恶劣的水环境下生长的先锋种类^[1]。浮游动物虽然在水体中由于体积太过微小无法进行自由的移动,但却能为水体的营养传递和物质能量的交流起到重要作用。例如,一些鞭毛虫(Flagellata)可以通过在污染环境中生存的绿藻(Chlorophyta)为食,然后在体内保留绿藻的色素体来进行光合作用,使被污染水体中仍能存在一定含量的溶解氧^[2]。

笔者于2018年1月调查了棣棠河区阳村段的浮游生物的种类数、密度、生物量和物种多样性指数,分析了棣棠河浮游生物群落结构及其与环境因子的关系,并从水质理化标准、综合营养状态指数、浮游生物指标等多个角度评价了棣棠河水质的营养状况,从而为棣棠河将来的维护治理和开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与样点设置

于2018年1月5—7日在重庆市彭水苗族土家族自治县棣棠乡区阳村河段进行采样。根据当地的地理环境,共设置了#1, #2和#3共3个采样点(图1),它们的经纬度依次分别为:北纬 $29^{\circ}39'54.23''$ 、东经 $108^{\circ}14'49.41''$,北纬 $29^{\circ}39'53.89''$ 、东经 $108^{\circ}12'52.61''$ 和北纬 $29^{\circ}37'1.56''$ 、东经 $108^{\circ}14'48.25''$ 。

1.2 实验方法

* 收稿日期:2018-09-12 修回日期:2018-11-28 网络出版时间:2019-03-15 07:00

资助项目:彭水县棣棠河棣棠太原段综合治理工程(TQ-2017-256)对彭水七跃山县级自然保护区生态环境影响

第一作者简介:夏子杨,男,研究方向为水生动物保护生物学, E-mail: 951285356@qq.com; 通信作者:李英文,男,教授,博士, E-mail: 377683289@qq.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190315.0057.032.html>

1.2.1 浮游生物采集与处理 浮游植物和浮游动物样品的定性与定量采集参考《水和废水监测分析方法(第 4 版)》^[3], 分别用 25 号和 13 号浮游生物网进行采集; 参照《淡水微型生物图谱》^[4] 进行浮游生物的种类鉴定。

1.2.2 水体理化因子的测定 温度(X_T)用 YSI550 便携式溶解氧/温度测量仪(成都锐欣仪器有限公司)测定, pH(X_{pH})用 Mettler Toledo SG2 pH 计(梅特勒-托利多公司)测定, 透明度(X_{SD})用赛氏盘测定, 溶解氧含量(X_{DO})用 SG9-B 溶解氧分析仪(上海恒勤仪器设备公司)测定, 电导率(X_e)和溶解固体总量(X_{TDS})用 TDS 水质测试笔电导率仪(LICHEN 公司)测定。上述水体理化因子均在采样现场测定。其余水体理化因子如总磷含量(X_{TP})、总氮含量(X_{TN})、氨氮含量(X_{NH_3-N})、悬浮物含量(X_{SS})和化学需氧量(X_{COD})在将水样带回实验室后参照《湖泊富营养调查规范》^[5] 进行测定。

1.3 参数计算和数据分析

浮游生物的 Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')、Margalef 物种丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)和优势度指数(Y)^[6-7] 的计算公式如下:

$$H' = - \sum P_i \ln P_i, \quad (1)$$

$$D = \frac{(S-1)}{\ln N}, \quad (2)$$

$$J = \frac{H'}{H_{\max}}, \quad (3)$$

$$Y = \frac{n_{\max}}{N}. \quad (4)$$

(1)~(4)式中: P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值; S 为样品中物种的总种类数; H_{\max} 为 $\ln S$; N 为样品中的生物总个体数; n_{\max} 为优势种的个体数。

采用卡尔森营养状态指数(TSI)衍生出的综合营养状态指数(TLI)^[8], 计算公式为:

$$V_{TLI_{\text{总}}} = \sum W_j V_{TLI_j}. \quad (5)$$

(5)式中: $V_{TLI_{\text{总}}}$ 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; V_{TLI_j} 代表第 j 种参数的营养状态指数。

采用相关分析来考察椽棠河浮游生物与环境因子的关系。选取 H' , D 和 J 共 3 个浮游生物多样性指标与 10 个水体理化指标, 取它们的自然对数, 再对取自然对数后的数据做 Pearson 相关性分析。上述统计分析均通过 SPSS 18.0 软件来进行, 当 $p < 0.05$ 时, 统计结果具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 浮游植物的群落结构特征

2.1.1 浮游植物种类组成 从 3 个采样点的水样中共鉴定出浮游植物 41 种, 隶属 4 门 17 属, 其中绿藻门(Chlorophyta)4 种, 硅藻门(Bacillariophyta)30 种, 蓝藻门(Cyanophyta)6 种, 裸藻门(Euglenophyta)1 种。从表 1 可知, #1, #2 和 #3 采样点的浮游植物种数分别为 25, 25 和 33 种, 优势种均为模糊直链藻(*Melosira ambigua*)和颗粒直链藻(*Melosira granulata*)。

2.1.2 浮游植物密度与生物量 表 2 显示了 3 个采样点的浮游植物密度与生物量。从表 2 中可以看出, 蓝藻门和硅藻门藻类的密度和生物量均比其他藻类高, 它们的生物量一般都达到 $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上。

2.1.3 浮游植物多样性指数 表 3 显示, #1 采样点的 H' 和 D 分别明显低于和高于 #2 和 #3 采样点。依据浮游植物多样性与水质污染类型的对应关系^[9](表 4), 3 个采样点浮游植物的 H' 和 D 均对应于寡污型水质, 但它们的 J 值均在清洁型水质范围内。综合上述结果, 可以认为 3 个采样点的水质仍为清洁型。

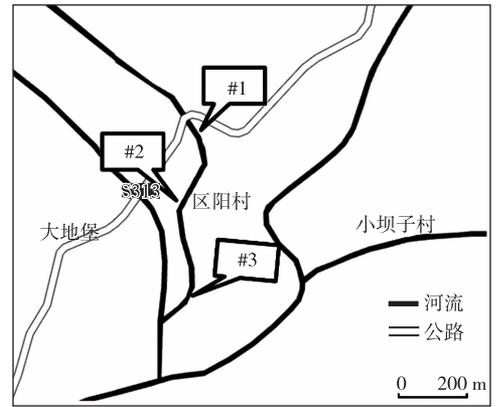


图 1 各采样点的分布位置

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the study

表 1 各采样点的浮游植物种类组成

Tab. 1 The composition of phytoplankton species in the sample sites

门	属	种	#1 采样点	#2 采样点	#3 采样点
绿藻门(Chlorophyta)	虚幻球藻属(<i>Apatococcus</i>)	虚幻球藻(<i>Apatococcus lobatus</i>)	+	+	+
	刚毛藻属(<i>Cladophora</i>)	湖球刚毛藻(<i>Cladophora aegagropila</i>)	+	+	+
	新月藻属(<i>Closterium</i>)	项圈新月藻(<i>Closterium moniliferum</i>)			+
	丝藻属(<i>Ulothrix</i>)	环丝藻(<i>Ulothrix zonata</i>)	+	+	+
硅藻门 (Bacillariophyta)	沟(浮生直)链藻属 (<i>Aulacoseira</i>)	膜糊沟链藻(<i>Aulacoseira ambigua</i>)	++	+	++
		颗粒沟链藻(<i>Aulacoseira granulata</i>)	+	+	++
		湖北小环藻(<i>Cyclotella hubeiana</i>)	+	+	+
		广缘小环藻(<i>Cyclotella bodanica</i>)		+	
	小环藻属(<i>Cyclotella</i>)	梅尼小环藻(<i>Cyclotella meneghiniana</i>)	+		
		链形小环藻(<i>Cyclotella catenata</i>)			+
		古老小环藻(<i>Cyclotella antiqua</i>)			+
		极微小环藻(<i>Cyclotella atomus</i>)	+		+
		近缘桥弯藻(<i>Cymbella affinis</i>)	+	+	+
	桥弯藻属(<i>Cymbella</i>)	舟形桥弯藻(<i>Cymbella naviculiformis</i>)	+	+	+
		新月桥弯藻(<i>Cymbella cymbiformis</i>)	+	+	+
	直链藻属(<i>Melosira</i>)	颗粒直链藻(<i>M. granulata</i>)	++	+	+
		模糊直链藻(<i>M. ambigua</i>)	++	+	+
		隐头舟形藻(<i>Navicula cryptocephala</i>)			+
		尖头舟形藻(<i>Navicula cuspidata</i>)			+
		适中舟形藻(<i>Navicula accomoda</i>)		+	
	舟形藻属(<i>Navicula</i>)	短小舟形藻(<i>Navicula exigua</i>)	+		
		燕麦舟形藻(<i>Navicula avenacea</i>)		+	
		小头舟形藻(<i>Navicula capitata</i>)	+	+	+
		群生舟形藻(<i>Navicula gregaria</i>)	+	+	
		双球舟形藻(<i>Navicula amphibola</i>)	+	+	+
		细菱形藻(<i>Nitzschia acicularis</i>)			+
	菱形藻属(<i>Nitzschia</i>)	双头菱形藻(<i>Nitzschia amphibia</i>)	+		+
	舟形菱形藻(<i>Nitzschia navicularis</i>)		+	+	
	线形菱形藻(<i>Nitzschia linearis</i>)			+	
冠盘藻属(<i>Stephanodiscus</i>)	星形冠盘藻(<i>Stephanodiscus astraea</i>)	+			
卵形藻属(<i>Cocconeis</i>)	扁圆卵形藻(<i>Cocconeis placentula</i>)	+	+	+	
	中肋卵形藻(<i>Cocconeis costata</i>)			+	
针杆藻属(<i>Synedra</i>)	偏突针杆藻(<i>Synedra vaucheriae</i>)		+		
	尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)			+	
蓝藻门(Cyanophyta)	鱼腥藻属(<i>Anabaena</i>)	近亲鱼腥藻(<i>Anabaena affinis</i>)		+	+
		卷曲鱼腥藻(<i>Anabaena circinalis</i>)		+	+
		巨颤藻(<i>Oscillatoria princeps</i>)	+		+
	颤藻属(<i>Oscillatoria</i>)	泥生颤藻(<i>Oscillatoria limosa</i>)	+	+	+
	美丽颤藻(<i>Oscillatoria formoso</i>)	+			
	细鞘丝藻属(<i>Leptolyngbya</i>)	粗壮细鞘丝藻(<i>Leptolyngbya valderiana</i>)	+	+	+
裸藻门(<i>Euglenophyta</i>)	柄裸藻属(<i>Colacium</i>)	树状柄裸藻(<i>Colacium arbuscula</i>)	+	+	+

注: + 和 ++ 分别表示亚优势种和优势种, 下同

表 2 各采样点浮游植物群落密度和生物量

Tab.2 Density and biomass of phytoplankton in the sampling sites

采样点	绿藻门		硅藻门		蓝藻门		裸藻门		总计	
	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)								
#1	3×10 ⁴	35.800	3.4×10 ⁵	84.780	4×10 ⁴	72.500	0	0.000	4.1×10 ⁵	193.080
#2	3×10 ⁴	50.200	1.8×10 ⁵	90.160	3×10 ⁴	80.320	0	0.000	2.4×10 ⁵	220.680
#3	3×10 ⁴	10.500	1.7×10 ⁵	84.200	5×10 ⁴	117.880	1×10 ⁴	1.228	2.6×10 ⁵	213.728

表 3 各采样点的浮游植物多样性指数

Tab.3 The phytoplankton diversity indices in the sampling sites

采样点	H'	J	D
#1	3.473 6	0.985 0	6.119 8
#2	3.773 7	0.959 6	3.707 8
#3	3.987 8	0.981 4	4.202 6

表 4 浮游植物多样性指数与水质污染类型的关系

Tab.4 The relationship between phytoplankton diversity indices and water pollution type

多样性指数	清洁型	寡污型	β中污型	α中污-重污型
H'	>4	3~4	1~3	0~1
J	0.8~1.0	0.5~0.8	0.3~0.5	0~0.3
D	>4	3~4	2~3	0~1

2.2 浮游动物的群落结构特征

2.2.1 浮游动物种类组成 从 3 个采样点鉴定出浮游动物共计 3 门 11 属 13 种(表 5),其中原生动物(Protozoa) 2 种,轮虫(Rotifera)4 种,枝角类(Cladocera)4 种,桡足类(Copepoda)3 种,其中桡足类和枝角类均属于节肢动物门(Arthropoda)甲壳纲(Crustacea)。3 个采样点的共同优势种为前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)。

表 5 各采样点的浮游动物种类组成

Tab.5 Species composition of zooplankton in each sampling site

门(纲、目)	属	种	#1 采样点	#2 采样点	#3 采样点
原生动物 (Protozoa)	刺胞虫属(<i>Acanthocystis</i>)	泥炭刺胞虫(<i>Acanthocystis turfacea</i>)		++	
	拟伸颈虫属 (<i>Aportrachelotractus</i>)	变形拟伸颈虫 (<i>Aportrachelotractus variabialis</i>)	+		
轮虫 (Rotifera)	晶囊轮虫属(<i>Asplanchna</i>)	前节晶囊轮虫(<i>Asplanchna priodonta</i>)	++	++	++
	臂尾轮虫属(<i>Brachionus</i>)	萼花臂尾轮虫(<i>Brachionus calyciflorus</i>)		+	++
		壶状臂尾轮虫(<i>Brachionus surceus</i>)		+	+
	帆叶轮虫属(<i>Argonotholca</i>)	叶状帆叶轮虫(<i>Argonotholca foliacea</i>)	+		
枝角类 (Cladocera)	尖额溞属(<i>Alona</i>)	近亲尖额溞(<i>Alona affinis</i>)	+	+	+
	象鼻溞属(<i>Bosmina</i>)	长额象鼻溞(<i>Bosmina longirostris</i>)	+	+	+
		筒弧象鼻溞(<i>Bosmina coregoni</i>)			+
		顶冠溞属(<i>Acroperus</i>)	镰形尖额溞(<i>Acroperus harpae</i>)	+	+
桡足类 (Copepoda)	刺剑水蚤属(<i>Acanthocyclops</i>)	草绿刺剑水蚤(<i>Acanthocyclops viridid</i>)			+
	隆哲水蚤属(<i>Acrocalanus</i>)	驼背隆哲水蚤(<i>Acrocalanus gibber</i>)	+		+
	剑水蚤属(<i>Cyclops</i>)	近邻剑水蚤(<i>Cyclops vicinus</i>)		+	+

2.2.2 浮游动物密度与生物量 椽棠河的浮游动物密度以及生物量较低。#1 采样点的浮游动物生物量最大, #2 和 #3 采样点的生物量相当;3 个采样点的浮游动物密度相差不大,说明它们在水体中的分布比较均匀(表 6)。

表 6 各采样点的浮游动物密度及生物量

Tab.6 Density and biomass of zooplankton in the sampling sites

采样点	原生动物		轮虫		甲壳动物		总计	
	密度/ (个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)						
#1	1.00	1.10×10 ⁻⁶	3.00	1.68×10 ⁻⁴	8.00	3.68×10 ⁻¹	12.00	3.68×10 ⁻¹
#2	1.00	4.08×10 ⁻⁶	3.00	1.63×10 ⁻³	6.00	1.06×10 ⁻¹	10.00	1.07×10 ⁻¹
#3	2.00	4.32×10 ⁻⁴	4.00	5.96×10 ⁻²	4.00	4.48×10 ⁻²	11.00	1.05×10 ⁻¹

2.2.3 浮游动物多样性指数 表 7 显示了各个采样点浮游动物的 H' , D 和 J 。从中可以看出, #1 采样点的 H' 和 D 明显高于 #2 和 #3 样点。

2.3 环境因子分析

3 个采样点水样的各项理化指标结果如表 8 所示。结合《地表水环境质量标准 GB3838—2002》^[9], 结果表明 3 个采样点所处河段水质总体较好, 多项指标达到 III 类水质标准以上。 X_{COD} , X_{TN} 和 X_{TP} 在 #1, #2 和 #3 样点均为 I 类水质标准; $X_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 在 #1 和 #2 采样点为 II 类水质标准, 但在 #3 采样点达到了 IV 类水质。此外其他理化指标均处于较好水平, 在各采样点均在 III 类水质标准以上, 其中 X_{DO} 均达到 I 类水质标准。 X_{σ} 和 X_{TDS} 与水体中的离子浓度、矿物质含量等因素有关^[10], 两个指标越高, 表明水样的纯度越低。因此, 这 3 个采样点水样的 X_{σ} 和 X_{TDS} 偏低, 表明水体纯度较高。综合上述, 3 个采样点所处河段水质为贫营养型。

表 8 各采样点的水体理化指标

Tab. 8 Physical and chemical indices of water body in the sampling sites

采样点	X_{pH}	$X_{\text{DO}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{COD}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{TN}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{TP}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{NH}_3\text{-N}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{SS}}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$X_{\text{T}}/^\circ\text{C}$	$X_{\sigma}/$ ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	$X_{\text{TDS}}/$ 10^{-6}	V_{TLD}
#1	7.5	9.08	0.40	0.165	0.194	0.094	0.003	13.7	242	121	15
#2	7.8	8.32	1.92	0.102	0.081	0.078	0.031	13.1	254	127	24
#3	7.9	9.20	0.60	0.138	0.041	0.302	0.006	13.5	248	125	20

2.4 浮游生物与环境因子的关系

对各采样点的理化指标与浮游植物、浮游动物的多样性指数取自然对数后的数据进行相关分析, 结果如表 9 所示。从表 9 可知各采样点所处河段浮游植物和浮游动物的 $\ln H'$, $\ln D$ 和 $\ln J$ 与 $\ln X_{\text{DO}}$, $\ln X_{\text{TN}}$, $\ln X_{\text{TP}}$ 和 $\ln X_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 呈统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$), 与 $\ln X_{\text{pH}}$, $\ln X_{\text{COD}}$, $\ln X_{\text{SS}}$, $\ln X_{\sigma}$ 和 $\ln X_{\text{TDS}}$ 呈统计学意义上的负相关关系 ($p < 0.05$)。此外, 浮游植物的 $\ln H'$ 和 $\ln D$ 与 $\ln X_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 呈统计学意义上的负相关关系 ($p < 0.05$), 而浮游植物的 $\ln J$ 却与 $\ln X_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 呈统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$)。同时, 浮游动物的 $\ln H'$, $\ln D$ 和 $\ln J$ 均与 $\ln X_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 呈统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$)。

表 9 浮游生物与环境因子的相关性

Tab. 9 The correlation between plankton and environmental factors

类型	参数	$\ln X_{\text{pH}}$	$\ln X_{\text{DO}}$	$\ln X_{\text{COD}}$	$\ln X_{\text{TN}}$	$\ln X_{\text{TP}}$	$\ln X_{\text{NH}_3\text{-N}}$	$\ln X_{\text{SS}}$	$\ln X_{\text{T}}$	$\ln X_{\sigma}$	$\ln X_{\text{TDS}}$
浮游植物	$\ln H'$	-0.788**	0.691	-0.895**	0.943**	0.709**	-0.066*	-0.915**	0.925**	-0.983**	-1.000**
	$\ln J$	-0.314	0.976**	-0.992**	0.970**	0.200*	0.498	-0.985**	0.980**	-0.921**	-0.831**
	$\ln D$	-0.839**	0.625	-0.852**	0.910**	0.768**	-0.153*	-0.877**	0.889**	-0.963**	-0.996**
浮游动物	$\ln H'$	-0.671**	0.804**	-0.958**	0.986**	0.579	0.105*	-0.971**	0.976**	-1.000**	-0.985**
	$\ln J$	-0.306	0.978**	-0.991**	0.967**	0.191*	0.506*	-0.984**	0.979**	-0.917**	-0.826**
	$\ln D$	-0.682**	0.795	-0.954**	0.983**	0.590	0.910**	-0.967**	0.973**	-1.000**	-0.987**

注: *, ** 分别表示结果在 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 水平(双侧)上具有统计学意义

3 讨论

本研究结果显示, 棣棠河 3 个采样点的浮游植物较为丰富, 尤其是硅藻门。目前研究认为, 硅藻为贫营养型水体的优势种, 绿藻为中营养型水体的优势种, 而蓝藻为富营养型水体的优势种。该结果反映出采样点所在河段水体环境质量较好, 也与 Heneash 等人^[11]的研究结果一致, 即在中贫营养型湖泊中, 浮游硅藻在生长季节通常占有浮游植物生物量的最高比例。本研究中, 各采样点浮游植物多样性指数 H' 和 J 的数值偏高, D 也处于较高水平。3 个采样点的优势种为硅藻门的颗粒直链藻和模糊直链藻, 还有较多绿藻门的环丝藻。因此, 采样点所在河段浮游植物的种类组成以硅藻和绿藻为主, 群落结构属于绿藻-硅藻型。研究结果提示采样点所处河段出现

少许的污染,这可能与当地的一个鱼类养殖基地有关:该基地所排放的养殖废水未经严格的污水处理被直接排放到河流中,会造成一定污染。同时,这也可能是由于本研究采样的时间为冬季河流的枯水期,此时河流水流较慢,水温较低,日照时间较短,因此某些生活在贫营养、洁净的藻类的光合作用受到抑制,能释放的氧气较少,藻类利用水体中的氮、磷等营养元素较少^[12]。

本研究结果还显示,棣棠河3个采样点浮游动物的密度以及生物量较低,并且3个采样点的浮游动物密度相差不大,在水体中的分布比较均匀。山区河流的浮游动物出现异质性分布部分取决于以下因素:水体的几何形态、湖泊的入流和出流特征、水流状况、浮游动物种类间的食物竞争、捕食者等。本研究中,采样点所在河段浮游动物优势种为轮虫,这可能与轮虫在合适的温度、食物和光周期条件下的生命周期非常短有关^[13],轮虫在1年内可以繁殖许多代,在合适的食物和温度条件下,由于世代时间较短,体型小的轮虫种类可以在流速很快的小溪和河流中达到比较高的丰度^[10]。采样点所在河段浮游桡足类种类最少,其中可能原因在于桡足类在1年内的繁殖的代数少于轮虫和枝角类。而且桡足类为两性生殖,雌体只占种群的一半,因此快速生殖潜力和成体种群大小快速变化能力均大为下降。另外,桡足类的幼体从卵孵化后,一般要经过11次蜕皮才能成为成体。

相关分析结果显示,各采样点所处河段浮游植物和浮游动物的 $\ln H'$, $\ln D$ 和 $\ln J$ 与 $\ln X_{DO}$, $\ln X_T$, $\ln X_{TP}$ 和 $\ln X_{TN}$ 呈统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$), 与 $\ln X_{pH}$, $\ln X_{COD}$, $\ln X_{SS}$, $\ln X_{\sigma}$ 和 $\ln X_{TDS}$ 呈统计学意义上的负相关关系 ($p < 0.05$)。这可能是由于溶解氧含量随着水体温度和盐度的上升而下降,意味着棣棠河下层生物的呼吸率只要达到中等水平,水体中即为低氧状态,甚至转化为厌氧状态。浮游动物也会因为食物来源的增加而增多,但水体 pH 过高或者悬浮物含量较高也会导致敏感的物种数量减少^[14]。大量研究表明水体的温度能直接或间接影响生物的生长发育、生活状态、繁殖和分布状况^[13]。王强等人^[15]的研究表明,山地河流的温度与水生生物有统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$)。有关上海滴水湖的研究也表明浮游动物的群落结构与温度、总氮含量等指标呈统计学意义上的正相关关系 ($p < 0.05$)^[16]。除了水温, pH 也对水生生物的有着重要的影响,不同营养水平湖泊浮游生物也对过高或过低的 pH 非常敏感^[17]。因此,山区河流特别是水生生物保护区内修建防洪堤或者养殖基地等工程时,必须严格控制污染源的排放,否则将很快对水体环境造成不利影响。

总之,本研究通过对重庆彭水棣棠乡区阳村河段3个采样点的浮游生物群落结构、水体理化因子、浮游生物的多样性指数、综合营养状态指数等进行了综合分析,最终结果表明,采样点所在河段水质属于清洁型,营养程度为贫营养型,该结果为棣棠河的治理维护和开发利用提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 汪官余. 宝圣湖浮游植物与若干生态因子相互关系的研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
WANG G Y. Study on the relationship between phytoplankton and several ecological factors in Baoshenglake [D]. Chongqing: Southwest University, 2006.
- [2] 章宗涉,黄翔飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,1991.
ZHANG Z S, HUANG X F. Methods for the study of freshwater plankton[M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [3] 国家环境保护总局. 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.
State Environmental Protection Administration, Methods for water and wastewater monitoring and analysis[M], 4th edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [4] 周凤霞,陈剑虹. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
ZHOU F X, CHEN J H. Map of freshwater micro-organisms and benthos [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [5] 金相灿,屠清英. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.
JIN X C, TU Q Y. Investigation specifications for lake eutrophication [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [6] 赵建刚,肖林,许总能. 水域生态学实验指导[M]. 广州:暨南大学出版社,2013.
ZHAO J G, XIAO L, XU Z N. Experimental guidance of water ecology [M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2013.
- [7] 国家环保局. 水生生物监测手册[M]. 南京:东南大学出版社,1993.
State Environmental Protection Administration. Handbook of aquatic biology monitoring [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1993.
- [8] CARLSON R E. A trophic state index for lake [J]. Limnology and Oceanography, 1977, 22(2): 361-369.
- [9] 国家环保总局,国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准 GB3838—2002[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Environmental quality standards for surface water GB3838-

- 2002[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [10] KALFF J. Limnology: inland water ecosystems[M]. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2002.
- [11] HENEASH A M M, TADROSE H R Z, HUSSEIN M M A, et al. Potential effects of abiotic factors on the abundance and distribution of the plankton in the Western Harbour, south-eastern Mediterranean Sea, Egypt [J]. *Oceanologia*, 2015, 57(1): 61-70.
- [12] COSTANZAR, d'ARGER, de GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(15): 253-260.
- [13] WANG H R, CHEN Y C, LIU Z W. Effects of the "run-of-river" hydro scheme on macroinvertebrate communities and habitat conditions in a mountain river of northeastern China[EB/OL]. (2016-01-21) [2018-09-12]. <https://www.mdpi.com/2073-4441/8/1/31>.
- [14] GABRIELS W I M, LOCK K, de PAUW N, et al. Multimetric macroinvertebrate index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium)[J]. *Limnologica*, 2010, 40(3): 199-207.
- [15] 王强. 山地河流生境对河流生物多样性的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- WANG Q. Effects of mountain river habitat on river biodiversity [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [16] 林青, 由文辉, 徐凤洁, 等. 滴水湖浮游动物群落结构及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2014, 34(23): 6918-6929.
- LIN Q, YOU W H, XU F J, et al. Dishui lake zooplankton community structure and its relationship with environmental factors[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(23): 6918-6929.
- [17] BRIGGS K B, CRAIG J K, SHIVARUDRAPP A S, et al. Macrobenthos and megabenthos responses to long-term, large-scale hypoxia on the Louisiana continental shelf[J]. *Marine Environmental Research*, 2017, 123: 38-52.

The Plankton Community Structure of Ditang River in Pengshui of Chongqing and Its Relationship with Environmental Factors

XIA Ziyang, LI Yingwen

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

Abstract: [Purposes] To study the plankton community structure of Ditang river in Pengshui of Chongqing and its relationship with environmental factors. [Methods] The phytoplankton and physical and chemical factors of water quality at three points in Ditang river were investigated and sampled in January 2018. [Findings] The results showed that there were 83 species of phytoplankton belonging to 4 phylum 17 genera, among which diatomophyta had the most species, accounting for 68.6% of the total species. The average density was $300000 \text{ individuals} \cdot \text{L}^{-1}$ and the average biomass was $209.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The Shannon Wiener index (H'), Pielou index (J), and Margalef index (D) were 3.078, 0.975, and 4.677, respectively. There were 26 species of 11 genera in 4 phytoplankton. The average density of zooplankton was $10.67 \text{ individuals} \cdot \text{L}^{-1}$ and the average biomass was $0.193 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The H' , J , and D were 2.038, 0.965, and 2.141, respectively. Correlation analysis showed that the diversity index of plankton in Ditang river showed a statistically significant positive correlation with dissolved oxygen content, temperature, total phosphorus content and total nitrogen content ($p < 0.05$), and a statistically significant negative correlation with pH, COD, suspended matter content, electrical conductivity and total dissolved solids ($p < 0.05$). [Conclusions] The water quality of the studied reach was clean and the nutrient level was poor.

Keywords: phytoplankton; zooplankton; Ditang river; water quality; correlation analysis

(责任编辑 方 兴)