

四川诺水河自然保护区铁溪河段水生生物资源现状及水质评价*

王 梦, 罗 杨, 程如丽, 刘智皓, 陈启亮, 李英文, 沈彦君
(重庆师范大学 重庆市动物生物学重点实验室, 重庆 401331)

摘要:【目的】考察四川诺水河自然保护区铁溪河段浮游植物群落特征、水质状况及鱼类资源的现状。【方法】于 2020 年 8 月在铁溪河段设置 5 个采样点,进行浮游植物采集、水体理化指标测定并对鱼类资源现状进行调查,运用 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)等对采样点水体的浮游植物群落结构特征进行分析,并结合综合水质标识指数法对采样点水体的水质进行综合评价。【结果】1) 共采集到浮游植物 4 门 46 属 85 种(含变种),其中硅藻门(Bacillariophyta)物种数最多。各采样点水体中浮游植物的平均密度为 $1.046\ 0\ \text{个} \cdot \text{L}^{-1}$,平均生物量为 $1.856 \times 10^{-1}\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。2) 各采样点水体中浮游植物的 H' 、 D 和 J 的平均值分别为 1.875 4、2.508 4 和 0.745 5。3) S1、S2、S3、S4 和 S5 采样点水体综合水质标识指数依次为:1.500、1.802、1.200、1.500 和 1.500。4) 共采集到鱼类 3 目 5 科 15 种,其中鲤科(Cyprinidae)鱼类种数最多,占鱼类总种数的 60%。【结论】四川诺水河自然保护区铁溪河段水质整体为 I 类水质标准,水体处于轻度污染至中度污染状态。

关键词:诺水河;浮游植物;综合水质标识指数;群落结构;鱼类资源

中图分类号:Q89

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2022)06-0129-10

浮游植物个体微小,种类繁多,广泛分布于各类水体中,是水生态系统中必不可少的一部分,并提供了约 50% 的初级生产力^[1]。浮游植物是食物链的首要环节和浮游动物存活的基础饵料,它们可通过光合作用制造有机物,对于物质循环和能量流动及维持水生态系统的平衡具有重要作用^[2-3]。浮游植物对生境十分敏感,当水质改变时,浮游植物群落结构会受到一定的影响;同时,浮游植物也能直接影响水生态系统里其他生物的生理代谢以及水环境理化性质^[4-5]。因此,浮游植物的种类组成和群落结构常被作为水质评价的重要指标^[6],对河流水环境质量评价有着重要的参考价值,也可为水污染和富营养化提供早期预警信号^[7]。浮游植物作为水生态系统中的初级生产者,与鱼类资源有着密切的关系^[8]。鱼类作为水生态系统中不可或缺的一部分,与其他水生生物构成了一个巨大的食物网、食物链,这对于维持水生态系统的稳定与平衡至关重要。

四川诺水河自然保护区(以下简称诺水河保护区)地处东经 $107^{\circ}8'14'' \sim 107^{\circ}40'7''$,北纬 $31^{\circ}56'54'' \sim 32^{\circ}28'50''$,位于四川省通江县境内,是由嘉陵江的支流渠江上游的大、小通江河组成。整个保护区河流全长 217 km,天然落差 1 219 m,是两栖类动物大鲵(*Andrias davidianus*)和长江上游特有鱼类岩原鲤(*Procypris rabaudi*)的重要分布区^[9]。自然保护区具有典型的北亚热带自然生态系统,有重口裂腹鱼(*Schizothorax (Racoma) davidi*)、乌龟(*Mauremys reevesii*)等保护野生动物和中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)、黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)等经济鱼类栖息于此^[9-10]。对于保护珍稀水生动物的多样性,该保护区的建立具有十分重要的意义。目前有关诺水河保护区生物多样性的研究报道较少,尤其关于保护区浮游植物的相关研究尚处于空白。

基于上述背景,本研究以诺水河保护区的铁溪河段为研究区域,对区域内的浮游植物群落结构特征、水体理化指标及鱼类资源现状进行了调查研究,并通过综合水质标识指数、多样性指数等指标对该河段的水质进行综合评价,从而为该河段乃至诺水河保护区的水生生物多样性以及水生态环境的保护工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样点设置

于 2020 年 8 月对该保护区铁溪河段展开调查,根据当地的地理环境共设置 5 个采样点,它们的位置和具体

* 收稿日期:2021-05-07 修回日期:2022-11-10 网络出版时间:2022-12-15 14:21

资助项目:国家自然科学基金(No. 32202939);重庆市教育委员会科学技术研究计划(No. KJQN202100503)

第一作者简介:王梦,女,研究方向为水域生态学,E-mail:995397546@qq.com;通信作者:沈彦君,男,讲师,博士,E-mail:shenyanjun@cqnu.edu.cn

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1165.N.20221214.1133.001.html

经纬度如图 1 所示。

1.2 采样方法和样品处理

1.2.1 浮游植物采样方法 定量样品的采集方法为：用采水器于水面以下 50 cm 左右水层直接取混合水样 1 L，将水样装入标本瓶后按水样体积的 1%~1.5% 加入鲁哥氏液进行固定，将样品静置沉淀 24 h 后用浮游生物沉淀器将样品浓缩至 20~50 mL 作定量分析^[11]。定性样品的采集方法为：在水体表层至 0.5 m 深处用 25[#] 浮游生物网以 20~30 cm·s⁻¹ 的速率按“∞”形状缓慢拖动 3~5 min，将样品装入标本瓶后按水样体积的 1%~1.5% 加入鲁哥氏液进行固定保存^[12]。

1.2.2 水体理化指标测定 本研究检测的水体理化指标有 11 项，其中 5 个指标均在采样现场直接进行测定：电导率和总溶解性固体物质含量(TDS)使用 TDS 水质测试笔电导率仪测定；pH 使用 PHBJ-260 型便携式酸度计测定；温度和溶解氧含量(DO)使用 HANNA HI98193 型便携式溶氧仪测定。生物需氧量(BOD)、化学需氧量(COD)、悬浮物含量(SS)、总氮含量(TN)、总磷含量(TP)、氨氮含量(NH₃-N)等 6 个指标则在每个采样点取 1 L 水样后立即带回实验室参照《水和废水监测分析方法》^[11] 和《湖泊富营养调查规范》^[12] 进行测定。

1.2.3 鱼类资源现状调查 通过走访调查可知，当地居民主要以耕种为生，没有专门捕捞的渔民，但偶尔有钓鱼爱好者在水体较深的河段杆钓以及有部分村民通过刺网等方式进行捕捞。在本研究中，经渔业主管部门批准主要采取地笼网、杆钓等方式调查该流域鱼类种类组成状况。在现场对采集到的鱼类进行鉴定和测量，对于无法识别的鱼类标本则用体积分数为 95% 的乙醇溶液保存并带回实验室再进行详细鉴定。

1.3 分析方法和数据处理

1.3.1 种类鉴定 在奥特光学 BK6000 型显微镜下以 10×20、10×40 的放大倍率对浮游植物定性样品进行观察和拍照，并依据《中国淡水藻类：系统、分类及生态》^[13] 对样品中的浮游植物做种类鉴定。对浮游植物定量分析主要参照《淡水浮游生物研究方法》^[14] 并利用杭州万深检测科技有限公司出品的万深 AlgaeC 浮游生物智能鉴定计数仪来进行。渔获物样本依据文献^[15-18] 进行鉴定。

1.3.2 生物多样性指数评价 本研究运用多样性指数法中的 Margalef 丰富度指数(D)、Shannon-Wiener 物种多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)对本研究流域水质状况进行初步评价，它们的具体计算方式参见文献^[19]。各个多样性指数与水质污染类型的关系参照文献^[20-22] 来确定，详见表 1。

表 1 多样性指数与水质污染类型的关系

Tab. 1 The relationship between diversity index and types of water pollution

水质污染类型	D	H'	J	水质污染类型	D	H'	J
α 中污型-重污型	0~2	0~1	0~0.3	寡污型	>3~4	>3~4	>0.5~0.8
β 中污型	>2~3	>1~3	>0.3~0.5	清洁型	>4	>4	>0.8~1

1.3.3 水质评价方法 采用水质标识指数法对铁溪河段水质进行评价，分单因子水质标识指数评价及综合水质标识指数评价共 2 步来进行^[23]，具体评价方法参见文献^[24-26]。

2 结果与分析

2.1 浮游植物群落结构特征

2.1.1 浮游植物种类组成及分布 从各个采样点水体中共鉴定出浮游植物 4 门 46 属 85 种(含变种)，其中：硅藻

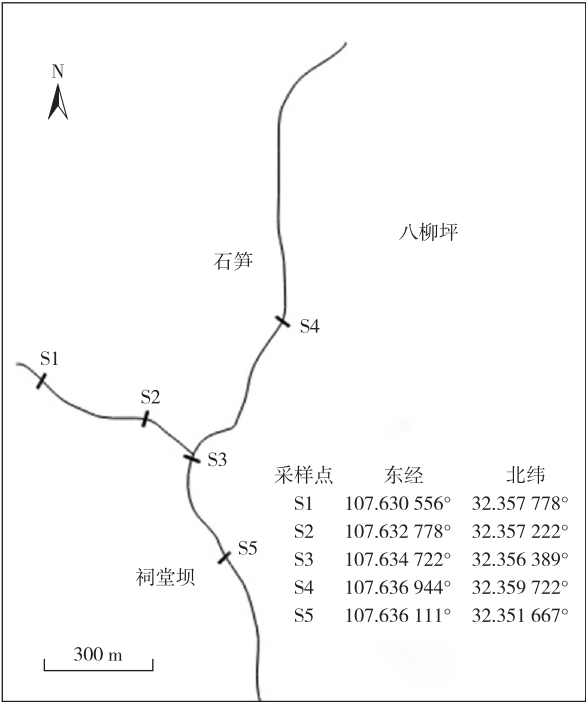


图 1 铁溪河段各采样点设置示意图

Fig. 1 The sketch map of sampling points in Tiexi river

门(Bacillariophyta)物种数最多达 53 种,绿藻门(Chlorophyta)物种数次之为 24 种,蓝藻门(Cyanophyta)和裸藻门(Euglenophyta)物种数最少分别均为 4 种;在 S5 采样点水体中鉴定到的浮游植物种类最少,而在 S3 采样点水体中鉴定到的浮游植物种类最多(表 2)。

表 2 各采样点水体中浮游植物种类组成
Tab.2 The phytoplankton species composition of water body in each sampling point

门	属	种	采样点				
			S1	S2	S3	S4	S5
绿藻门 (Chlorophyta)	集星藻属(<i>Actinastrum</i>)	河生集星藻(<i>Actinastrum fluviatile</i>)			+		
	胶毛藻属(<i>Chaetophora</i>)	优美胶毛藻(<i>Chaetophora elegans</i>)			+		+
	小球藻属(<i>Chlorella</i>)	椭圆小球藻(<i>Chlorella ellipsoidea</i>)		+			
		普通小球藻(<i>Chlorella vulgaris</i>)		+		+	
	新月藻属(<i>Closterium</i>)	锐新月藻(<i>Closterium acerosum</i>)		+			
		披针新月藻(<i>Closterium lanceolatum</i>)	+	+			
		微小新月藻(<i>Closterium parvulum</i>)		+		+	
	鼓藻属(<i>Cosmarium</i>)	具角鼓藻(<i>Cosmarium angulosum</i>)				+	
	角丝鼓藻属(<i>Desmidium</i>)	矩形角丝鼓藻(<i>Desmidium baileyi</i>)			+		
	双胞藻属(<i>G</i>)	椭圆双胞藻(<i>Gesmidium ellipsoidea</i>)			+	+	
	拟胶丝藻属(<i>Gloeotilopsis</i>)	拟胶丝藻(<i>Gloeotilopsis planctonica</i>)				+	
	棒形鼓藻属(<i>Gonatozygon</i>)	布雷棒形鼓藻(<i>Gonatozygon brebissonii</i>)			+		
	中带鼓藻属(<i>Mesotaenium</i>)	大中带鼓藻(<i>Mesotaenium macrococcum</i>)	+				
	小丛藻属(<i>Microthamnion</i>)	小丛藻(<i>Microthamnion kuetzingianum</i>)	+	+	+		
	转板藻属(<i>Mougeotia</i>)	微细转板藻(<i>Mougeotia parvula</i>)	+				
		梯接转板藻(<i>Mougeotia scalaris</i>)				+	
	圆丝鼓藻属(<i>Hyalotheca</i>)	裂开圆丝鼓藻(<i>Hyalotheca dissiliens</i>)			+		
	盘星藻属(<i>Pediastrum</i>)	单角盘星藻原变种 (<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>simplex</i>)					+
	宽带鼓藻属(<i>Pleurotaenium</i>)	埃伦宽带鼓藻(<i>Pleurotaenium ehrenbergii</i>)				+	
	水绵属(<i>Spirogyra</i>)	菊尔水绵(<i>Spirogyra juergensii</i>)		+			
	毛枝藻属(<i>Stigeoclonium</i>)	小毛枝藻(<i>Stigeoclonium tenue</i>)		+		+	
	丝藻属(<i>Ulothrix</i>)	单形丝藻(<i>Ulothrix aequalis</i>)			+		
		环丝藻(<i>Ulothrix zonata</i>)			+	+	
	尾丝藻属(<i>Uronema</i>)	长尾丝藻(<i>Uronema elongatum</i>)		+		+	
硅藻门 (Bacillariophyta)	双眉藻属(<i>Amphora</i>)	卵圆双眉藻(<i>Amphora ovalis</i>)				+	
	小环藻属(<i>Cyclotella</i>)	广缘小环藻(<i>Cyclotella bodanica</i>)				+	
	波缘藻属(<i>Cymatopleura</i>)	草鞋形波缘藻(<i>Cymatopleura solea</i>)				+	
	桥弯藻属(<i>Cymbella</i>)	偏肿桥弯藻(<i>Cymbella ventricosa</i>)	+				
		两头桥弯藻(<i>Cymbella am phicephala</i>)			+		
		近缘桥弯藻(<i>Cymbella affinis</i>)			++	++	++
		粗糙桥弯藻(<i>Cymbella aspera</i>)			+		
		优美桥弯藻(<i>Cymbella delicatula</i>)				++	++
		纤细桥弯藻(<i>Cymbella gracillis</i>)					+
		胡斯特桥弯藻(<i>Cymbella hustedtii</i>)				+	
		披针桥弯藻(<i>Cymbella lanceolata</i>)			+		+
		舟形桥弯藻(<i>Cymbella naviculiformis</i>)			+		
		膨胀桥弯藻(<i>Cymbella tumida</i>)					+
		膨大桥弯藻(<i>Cymbella turgida</i>)			+		
	卵形藻属(<i>Cocconeis</i>)	扁圆卵形藻(<i>Cocconeis placentula</i>)	+		+	++	
	等片藻属(<i>Diatoma</i>)	普通等片藻(<i>Diatoma vulgare</i>)			+	+	

续表 2

门	属	种	采样点					
			S1	S2	S3	S4	S5	
硅藻门 (Bacillariophyta)	布纹藻属(<i>Gyrosigma</i>)	尖布纹藻(<i>Gyrosigma acuminatum</i>)		+				
		斯潘塞布纹藻(<i>Gyrosigma spencerii</i>)	+	+				
	异极藻属(<i>Gomphonema</i>)	短纹异极藻(<i>Gomphonema abbreviatum</i>)					+	
		尖异极藻(<i>Gomphonema acuminatum</i>)	++	++			+	
		窄异极藻(<i>Gomphonema angustatum</i>)		+				
	直链藻属(<i>Melosira</i>)	颗粒直链藻极狭变种 (<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>)				+		
		颗粒直链藻(<i>Melosira granulata</i>)	+	+	+	++	+	
		意大利直链藻(<i>Melosira italica</i>)	+					
		变异直链藻(<i>Melosira varians</i>)	+	+	+	+	+	
	舟形藻属(<i>Navicula</i>)	隐头舟形藻(<i>Navicula cryptocephala</i>)	++	+	++	++	+	
		奥尔韦舟形藻(<i>Navicula arvensis</i>)	+					
		系带舟形藻(<i>Navicula cincta</i>)					++	
		尖头舟形藻(<i>Navicula cuspidata</i>)			+		+	
		尖头舟形藻含糊变种 (<i>Navicula cuspidata</i> var. <i>ambigua</i>)					+	
		双头舟形藻(<i>Navicula dicephala</i>)	++		++	++	+	
		短小舟形藻(<i>Navicula exigua</i>)			+	+		
		放射舟形藻(<i>Navicula radiosa</i>)		+				
		放射舟形藻柔弱变种 (<i>Navicula radiosa</i> var. <i>tenella</i>)			+		+	
		微绿舟形藻线形变种 (<i>Navicula viridula</i> var. <i>linearis</i>)			+			
		长箴藻属(<i>Neidium</i>)	不定长箴藻(<i>Neidium dubium</i>)					+
		菱形藻属(<i>Nitzschia</i>)	双头菱形藻(<i>Nitzschia amphibia</i>)					+
	线形菱形藻(<i>Nitzschia linearis</i>)						+	
	谷皮菱形藻(<i>Nitzschia palea</i>)		++		++		++	
	羽纹藻属(<i>Pinnularia</i>)	大羽纹藻(<i>Pinnularia major</i>)			+			
	脆杆藻属(<i>Fragilaria</i>)	钝脆杆藻(<i>Fragilaria capucina</i>)	+	+	+	+	+	
	肋缝藻属(<i>Frustulia</i>)	菱形肋缝藻(<i>Frustulia rhomboides</i>)			+	+		
	异极藻属(<i>Gomphonema</i>)	尖顶异极藻(<i>Gomphonema augur</i>)			++			
		缢缩异极藻头状变种 (<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitatum</i>)			+			
	棒杆藻属(<i>Rhopalodia</i>)	弯棒杆藻(<i>Rhopalodia gibba</i>)		+				
	针杆藻属(<i>Synedra</i>)	肘状针杆藻(<i>Synedra ulna</i>)	+	+	+	+	+	
		尖针杆藻(<i>Synedra acus</i>)		+	+	+		
	辐节藻属(<i>Stauroneis</i>)	双头辐节藻(<i>Stauroneis anceps</i>)					+	
		克里格辐节藻(<i>Stauroneis kriegeri</i>)					+	
		紫心辐节藻(<i>Stauroneis phoenicenteron</i>)			+		+	
	双菱藻属(<i>Surirella</i>)	窄双菱藻(<i>Surirella angustata</i>)			+			
蓝藻门 (Cyanophyta)	水鞘藻属(<i>Hydrocoleum</i>)	同毛水鞘藻(<i>Hydrocoleum homoeotrichus</i>)			+			
	颤藻属(<i>Oscillatoria</i>)	绿色颤藻(<i>Oscillatoria chlorina</i>)		+		+		
		巨颤藻(<i>Oscillatoria princeps</i>)					+	
螺旋藻属(<i>Spirulina</i>)	大螺旋藻(<i>S. major</i>)	+	+		+			
裸藻门 (Euglenophyta)	裸藻属(<i>Euglena</i>)	梭形裸藻(<i>Euglena acus</i>)	+	+				
	柄裸藻属(<i>Colacium</i>)	囊形柄裸藻(<i>Colacium vesiculosum</i>)		+				
	囊裸藻属(<i>Trachelomonas</i>)	细粒囊裸藻(<i>Trachelomonas granulosa</i>)	+					
		旋转囊裸藻(<i>Trachelomonas volvocina</i>)	+	+				
总计/种			21	26	38	37	20	

注: + 和 ++ 分别表示亚优势种和优势种, 下同

2.1.2 浮游植物密度和生物量 由表 3 可知:5 个采样点水体中硅藻门浮游植物的密度及生物量均为最高;处于调查河段干流的 S4 采样点水体的浮游植物密度及生物量最大,处于支流的 S1 采样点水体的浮游植物密度及生物量最小。整体而言,调查区域水体中浮游植物群落密度和生物量均较低,平均密度和平均生物量分别为 $1.046\ 0\ \text{个}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.856\times10^{-1}\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2.1.3 多样性指数评价 由表 4 可知:S3 采样点水体的各个多样性指数均为最高;而在 S2 采样点水体中,各个多样性指数均最低。5 个采样点水体的 H' 、 D 、 J 的平均值分别为 1.875 4、2.508 4 和 0.745 5。结合表 1 可知,调查区域水体属于轻度污染至中度污染类型。

表 3 各采样点水体中浮游植物密度和生物量
Tab. 3 The phytoplankton density and biomass of water body in each sampling point

采样点	硅藻门		绿藻门		蓝藻门		其他藻类		总计	
	密度/	生物量/	密度/	生物量/	密度/	生物量/	密度/	生物量/	密度/	生物量/
	(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	(mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	(mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	(mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	(mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	(个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	(mg $\cdot\text{L}^{-1}$)
S1	0.400 0	0.021 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.013 3	0.000 1	0.413 3	0.021 9
S2	0.442 0	0.023 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.014 5	0.000 1	0.456 5	0.023 1
S3	1.093 3	0.181 1	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.093 3	0.181 1
S4	1.826 7	0.497 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.826 7	0.497 9
S5	1.400 0	0.199 7	0.040 0	0.004 3	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	1.440 0	0.204 0

表 4 各采样点水体中浮游植物多样性指数
Tab. 4 The phytoplankton diversity indices of water body in each sampling point

采样点	H'	D	J	采样点	H'	D	J
S1	1.398 0	1.747 2	0.718 4	S4	2.406 6	3.455 3	0.832 6
S2	1.053 5	1.145 9	0.503 8	S5	2.097 6	2.562 9	0.817 8
S3	2.421 5	3.630 8	0.854 7				

2.2 水质特征

2.2.1 水体理化指标分析 调查河段 5 个采样点水体的各项理化指标结果如表 5 所示。结合《地表水环境质量标准 GB 3838—2002》^[20]可知,5 个采样点水体的多项理化指标均达到Ⅱ类水质标准,水质状况总体上较好。其中:各个采样点水体中 COD、NH₃-N 和 BOD 均达到Ⅰ类水质标准;除 S2 采样点水体中 TP 和 TN 达到Ⅱ类水质标准外,其余 4 个采样点水体中 TP 和 TN 均达到Ⅰ类水质标准。综合来看,初步判断 S2 采样点水体水质为Ⅱ类,其余 4 个采样点水体水质均为Ⅰ类。电导率和 TDS 常与水体中离子浓度、矿物质含量等因素有密切关系,这两个指标越低,表明水样的纯度就越高^[27]。5 个采样点中 S1、S2 和 S3 采样点水体的电导率和 TDS 处于中等水平,表明其中含有的矿物质较多;S4 和 S5 采样点水体的电导率和 TDS 偏低,表明这两个采样点的水体纯度较高。

表 5 各采样点水体理化指标
Tab. 5 Physical and chemical indices of water body in each sampling point

采样点	pH	DO/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	COD/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	SS/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	BOD/ (mg $\cdot\text{L}^{-1}$)	TDS	温度/ ℃
S1	7.3	9.92	3.89	0.15	0.012	0.109	14	416	0.39	2.02×10^{-8}	14.7
S2	7.3	10.81	3.76	0.32	0.058	0.115	18	506	0.43	2.63×10^{-8}	16.1
S3	6.9	9.16	5.02	0.17	0.010	0.082	48	412	0.56	2.00×10^{-8}	13.4
S4	7.5	8.92	4.56	0.13	0.008	0.119	39	244	0.52	1.11×10^{-8}	15.3
S5	7.5	9.17	4.89	0.18	0.006	0.117	46	240	0.59	1.21×10^{-8}	14.8

2.2.2 水质标识指数评价 大多数河流的主要污染物为工业废水中的重金属及其他有毒有害物质,生活污水中

的 TN、TP 等营养盐和有机污染。鉴于调查所在区地表水环境多属于Ⅰ类水体,因此根据铁溪河的实际特点选取 DO、COD、TN、TP、NH₃-N、BOD 等 6 项水体理化指标并用水质标识指数法进行水质评价。由表 6 可知,诸水河保护区铁溪河段的水质整体良好,各采样点水体的综合水质标识指数均达Ⅰ类水质标准。

表 6 各采样点水体的单因子水质标识指数及综合水质标识指数

Tab. 6 The single factor water quality index and comprehensive water quality index of water body in each sampling point

采样点	水体功能类别	单因子水质标识指数						综合水质标识指数
		DO	COD	TN	TP	NH ₃ -N	BOD	
S1	Ⅰ类	1.70	1.30	1.31	1.60	1.70	1.10	1.500
S2	Ⅰ类	1.60	1.30	2.61	2.51	1.80	1.10	1.802
S3	Ⅰ类	1.80	1.30	1.31	1.50	1.50	1.20	1.200
S4	Ⅰ类	1.80	1.30	1.21	1.40	1.80	1.20	1.500
S5	Ⅰ类	1.80	1.30	1.31	1.30	1.80	1.20	1.500

注:Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类水体的综合水质标识指数范围分别为[1.0,2.0]、(2.0,3.0]、(3.0,4.0]、(4.0,5.0]和(5.0,6.0]

2.3 鱼类资源现状

在调查河段的 5 个采样点水体中共采集到鱼类 3 目 5 科 15 种(表 7),其中:鲈形目(Perciformes)只有丽鱼科(Cichlidae)鱼类 1 种,约占鱼类总种数的 6.7%;鲇形目(Siluriforme)有鮠科(Sisoridae)鱼类 2 种和鲿科(Bagridae)鱼类 1 种,分别约占鱼类总种数的 13.3%和 6.7%;鲤形目(Cypriniformes)鱼类种数最多,鲤科(Cyprinidae)鱼类占鱼类总种数的 60%,而鳅科(Cobitidae)鱼类约占鱼类总种数的 13.3%。泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)为调查河段的优势种,在所有采样点水体中均有分布;不过整体看来,各采样点水体中鱼类种类和数量均较少(表 7)。

表 7 各采样点水体中鱼类组成

Tab. 7 The fish species composition of water body in each sampling point

目	科	亚科	种	采样点					
				S1	S2	S3	S4	S5	
鲤形目 (Cypriniformes)	鲤科(Cyprinidae)	鲤亚科(Cyprininae)	鲤(<i>Cyprinus carpio</i>)				+	+	
			鲫(<i>Carassius auratus</i>)				+	+	+
		雅罗鱼亚科(Leuciscinae)	拉氏鲮(<i>Rhynchocypris lagowskii</i>)				+	+	+
			钝吻棒花鱼(<i>Abbottina obtusirostris</i>)			+	+	+	+
		鲃亚科(Gobioninae)	华鲮(<i>Sarcocheilichthy sinensis</i>)			+	+	+	+
			银鲃(<i>Squalidus argentatus</i>)			+	+	+	+
		鲴亚科(Danioninae)	马口鱼(<i>Opsariichthys bidens</i>)			+	+		
		鲃亚科(Barbinae)	宽口光唇鱼(<i>Acrossocheilus monticola</i>)				+	+	+
		鲃亚科(Culterinae)	鲮(<i>Hemiculter Leuciclus</i>)				+	+	+
		鳅科(Cobitidae)	花鳅亚科(Noemacheilinae)	泥鳅(<i>M. anguillicaudatus</i>)		+	+	+	+
条鳅亚科(Botiinae)	红尾副沙鳅(<i>Paracobitis variegatus</i>)					+	+	+	
鲇形目(Siluriforme)	鲿科(Bagridae)		细体拟鲿(<i>Pseudobagrus pratti</i>)				+	+	+
			黄颡鱼(<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)					+	+
	鲇科(Sisoridae)		中华纹胸鲇(<i>Glyptothorax sinensis</i>)				+		
鲈形目(Perciformes)	丽鱼科(Cichlaidae)		罗非鱼(<i>Oreochroms mossambcus</i>)						+
总计/种				1	1	12	12	13	

3 讨论与结论

本研究结果显示,诺水河保护区铁溪河段有浮游植物 4 门 46 属 85 种,以硅藻门为主。浮游植物的群落结构、丰度、多样性指数等指标能在一定程度上反映它们所在水体的水质状况^[27]。在富营养型水体中,浮游植物主要以绿藻、蓝藻和裸藻为主;中营养型水体中硅藻、隐藻和鼓藻为优势类型;在贫营养水体中,浮游植物多为金藻^[28]。由此判断,诺水河保护区铁溪河段水质大致处于中营养型状态。

多样性指数是评价水体是否健康的一个重要的指标,在一定程度上能判定湖泊和河流的营养状况、富营养化程度和发展趋势^[29-30]。本研究根据多样性指数与水体污染程度的关系,由各个采样点浮游植物的 H' 、 D 和 J 的平均值判断出调查河段水体处于轻度污染至中度污染状态。特别地, S1 和 S2 采样点水体浮游植物的 H' 和 D 的值均接近 1,表明当地水质有向重污染水体发展的趋势,而这应与采样点附近分布的煤矿及矿区工作人员活动有关。

本研究结果显示, S1、S2 采样点附近浮游植物物种组成比较简单,群落结构相比于其他 3 个采样点较不稳定。这可能与 S1、S2 采样点所处河段为山地河流中较常见的地貌类型——阶梯-深潭有密切关系。王强^[31]在研究山地河流生境时指出,对于阶梯-深潭类型的河段来说,它的沿程是急流和缓流交错相间的水流,呈现出了明显的连续阶梯状。因此,这一地貌类型可能就使得 S1、S2 采样点水体中浮游植物的群落结构较其他采样点而言更不稳定。 S3、S4 和 S5 采样点处于铁溪河段干流,是平坦河床河段。与支流相比,干流河谷开阔、水面较宽、河流坡度小。这就使得上述 3 个采样点所处河段水体中浮游植物物种组成较丰富,群落结构相对稳定。值得一提的是, S3 采样点处于铁溪河段干流与支流的交汇处,该采样点水体中浮游植物物种组成最为丰富,群落结构最为稳定;相较于其他 4 个采样点而言, S3 采样点水体的水质状况也最好。

河流的水质状况可以利用综合水质标识指数进行综合的评价,并结合有关部门制定的国家水质标准鉴定综合水质类别^[26]。本研究中, 5 个采样点的综合水质标识指数均达到了 I 类水质标准,符合自然保护区水功能区的水质目标。从水体理化指标测定结果来看,各个采样点水体中 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 BOD 均达到 I 类水质标准;但是 S2 采样点水体中 TP 和 TN 仅达到 II 类水质标准,而其余 4 个采样点水体中这两个指标均达到 I 类水质标准。经走访调查可知,调查河段附近矿区约有 25 名作业人员,他们的生活污水日平均排放量约为 30.24 m^3 。而程梦奇等人^[32]在对生活污水中氮磷去除效果的研究中指出,生活污水中含有较高的氮和磷,且它们已超过有机污染物成为了主要污染物。此外,该矿区采取了回收全部井下生产用水及喷雾降尘等方式来降低矿区生产作业对河流的污染,而张少伍等人^[33]的研究则验证了喷雾降尘技术能在一定程度上有效降低矿区生产作业产生的总粉尘。因此, S2 采样点水体中 TN、TP 偏高很可能与附近矿区生活污水的排放有关。

在本研究中,运用多样性指数与水体理化指标对水质进行评价,两者所得结果存在一定差异,且综合水质标识指数评价结果优于多样性指数评价结果。其中原因应与以下事实有关:各采样点水体的综合水质标识指数为 BOD、TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等单因子水质标识指数的均值,虽然 TP 和 TN 在 S2 采样点为 II 类水质标准,但氮磷负荷相对来说较小^[34],所以综合水质标识指数评价结果显示此处水体水质仍为 I 类。位于支流且附近有生活污水排入的 S1 和 S2 采样点水体水质经多样性指数评价而得的结果为中度污染,这可能是由于浮游植物对生境十分敏感,氮磷含量的偏高影响藻类的生长^[35],从而使得这两处采样点水体中浮游植物群落结构与其他采样点相比有一定差异。

通过对诺水河保护区铁溪河段鱼类资源进行调查,本研究发现,各个采样点的鱼类种类普遍较少,共捕得鱼类仅 15 种。韦宏军^[36]通过对九龙峰自然保护区境内的殷溪河进行鱼类资源调查后指出,城镇化、水坝建设、生活污水排放等人类活动可严重影响河流生态系统原有的栖息地环境,导致溪流鱼类物种群落多样性发生变化。从鱼类分布情况来看,铁溪河下游的鱼类组成比上游鱼类的组成更复杂;另一方面,河段干流鱼类种类比支流鱼类种类更为丰富——在支流本研究仅发现 5 尾泥鳅。此外结合历史资料和生境状况可知,本研究调查到的罗非鱼可能是人工养殖鱼逃逸所形成的种群。总体上看,本研究所调查的河段属于山区溪流型河段,鱼类主要为钝吻棒花鱼、红尾副沙鳅等小型鱼类。另外通过走访调查发现,近些年来电捕鱼、乱排乱放等现象应该是导致当地鱼类多样性降低的主要原因。

综上所述,本研究通过利用综合水质标识指数对各采样点的水体水质进行分析,结果表明诺水河保护区铁溪河段水质优良,各采样点水体的综合水质指数均达到 I 类水质标准,达成水质控制目标。从浮游植物群落结构

特征可知,铁溪河段水质处于轻度污染至中度污染状态。本研究结果不仅为诺水河保护区铁溪河段水质监测提供了基础资料,也为后续有关该河段浮游植物演替的研究奠定了基础,还为该保护区珍稀水生动物的保护工作积累一定的参考数据。

参考文献:

- [1] 郑重. 浮游生物[M]. 北京:科学出版社,1957.
ZHENG Z. Plankton[M]. Beijing: Science Press, 1957.
- [2] 董雅欠,赵文,季世琛,等. 北京潮白河水系浮游动物群落结构特征及水质评价[J]. 大连海洋大学学报,2020,35(3):424-431.
DONG Y Q, ZHAO W, JI S C, et al. Community structure of zooplankton and water quality evaluation in Chaobai river system in Beijing[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(3): 424-431.
- [3] LEPIST L, HOLOPAINEN A-L, VUORISTO H. Type-specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of Finnish boreal lakes[J]. Limnologia, 2004, 34(3): 236-248.
- [4] 夏天翔,李文朝,熊飞. 抚仙湖不同类型岸带沉水植物分布及水体氮磷特征[J]. 生态学报,2007,26(6):846-852.
XIA T X, LI W C, XIONG F. Submerged macrophytes distribution and water body nutrient contents in different type littoral zones of Fuxian lake[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 846-852.
- [5] 王图锦. 嘉陵江出口段浮游生物群落特征及水质评价[J]. 环境与发展,2020,32(3):9-10.
WANG T J. Plankton community structure and water quality assessment in the outlet area of Jialing river[J]. Environment and Development, 2020, 32(3): 9-10.
- [6] 陈红,刘清,潘建雄,等. 瀾河城市段浮游生物群落结构时空变化及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,2019,39(1):173-184.
CHEN H, LIU Q, PAN J X, et al. Spatial and temporal variation of the plankton community and its relationship with environmental factors in the city section of the Ba river[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): 173-184.
- [7] 王远飞,周存通,赵增辉,等. 亚热带水库浮游植物季节动态及其与环境因子的关系[J]. 生态学报,2021,41(10):4010-4022.
WANG Y F, ZHOU C T, ZHAO Z H, et al. Seasonal dynamics of phytoplankton and its relationship with environmental factors in subtropical reservoirs[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 4010-4022.
- [8] 陈光荣,钟萍,张修峰,等. 惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J]. 湖泊科学,2008,20(3):351-356.
CHEN G R, ZHONG P, ZHANG X F, et al. Zooplankton and its relationship with water quality in Huizhou west lake[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(3): 351-356.
- [9] 梁聪,刘衍,王小东,等. 四川诺水河珍稀水生动物国家级自然保护区鱼类资源现状[J]. 生物多样性,2021,29(7):938-949.
LIANG C, LIU K, WANG X D, et al. Status of fish resources in the Sichuan Nuoshuihe precious aquatic animal national nature reserve[J]. Biodiversity Science, 2021, 29(7): 938-949.
- [10] 陈青松,谭小琴,张洪吉,等. 自然保护区生态服务功能价值评估:以四川省通江诺水河自然保护区为例[J]. 国土资源科技管理,2021,38(1):34-47.
CHEN Q S, TAN X Q, ZHANG H J, et al. On the value of ecological service function in nature reserve: a case study of the Nuoshui river nature reserve in Tongjiang county of Sichuan province[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2021, 38(1): 34-47.
- [11] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 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 Editorial Committee of *Water and Waste Water Monitoring and Analytical Methods* of the State Environmental Protection Administration. *Water and waste water monitoring and analytical methods*[M]. 4th edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [12] 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. Specifications for lake eutrophication survey[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [13] 胡鸿均,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 H J, WEI Y X. The fresh water algae of China: systematics, taxonomy and ecology[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [14] 章宗涉,黄祥飞. 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. Research methods of freshwater plankton[M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [15] 朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1995.
ZHU S Q. Synopsis of freshwater fishes of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1995.
- [16] 丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都:四川科学技术出版社,1994.
DING R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Publishing House, 1994.

- [17] 陈宜瑜. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M]. 北京:科学出版社,1998.
CHEN Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [18] 乐佩琦. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目下卷[M]. 北京:科学出版社,2000.
LE P Q. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [19] 马永红,曾燊,任丽萍,等. 嘉陵江四川段藻类植物群落结构及水质评价[J]. 应用生态学报,2012,23(9):2573-2579.
MA Y H, ZENG Y, REN L P, et al. Community structure of phycophyta and evaluation of water quality in Sichuan section of Jialing river[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 23(9): 2573-2579.
- [20] 国家环境保护总局,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,2020.
The State Environmental Protection Administration, The General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Environmental quality standard for surface water (GB3838—2002)[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [21] 夏子杨,李英文. 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[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2019,36(2):114-121.
XIA Z Y, LI Y W. The plankton community structure of Ditan river in Pengshui of Chongqing and its relationship with environmental factors[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2019, 36(2): 114-121.
- [22] 杨娜,杨鑫,李英文,等. 重庆市涪陵区梨香溪流域和麻溪河流域浮游生物及鱼类资源现状[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2020,37(6):63-77.
YANG N, YANG X, LI Y W, et al. The current situation of plankton and fish resources of Lixian rivulet and Maxi river in Fuling district of Chongqing municipality[J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2020, 37(6): 63-77.
- [23] 邹曦,胡莲,万成炎,等. 三道河水库水质标识指数评价[J]. 水生态学杂志,2008,29(5):42-46.
ZHOU X, HU L, WAN C Y, et al. Water quality identification index in Sandaohe reservoir[J]. Journal of Hydroecology, 2008, 29(5): 42-46.
- [24] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,33(3):321-325.
XU Z X. Single factor water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(3): 321-325.
- [25] 黄央央,江敏,张饮江,等. 上海白莲泾河段水质时空分布变化特征[J]. 上海水产大学学报,2008,17(6):707-713.
HUANG Y Y, JIANG M, ZHANG Y J, et al. Spatial distribution characteristics of water quality in Bailianjing reach of Shanghai[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2008, 17(6): 707-713.
- [26] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,33(4):482-488.
XU Z X. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(4): 482-488.
- [27] 张饮江,罗思亭,徐晶,等. 上海黄浦江倪家浜口浮游生物调查与水质评价[J]. 水生态学杂志,2010,31(4):8-15.
ZHANG Y J, LUO S T, XU J, et al. Water quality assessment by means of plankton in the Nijiabing mouth of Huangpu river, Shanghai[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 31(4): 8-15.
- [28] NEGRO A I, HOYOS C D, VEGA J. Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaiso reservoir (NW Spain)[J]. Hydrobiologia, 2000, 424(1/2/3): 25-37.
- [29] 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.
- [30] 李梦军,谢春华,张小立,等. 黄石水库浮游生物资源调查及多样性分析[J]. 当代水产,2020,45(8):72-73.
LI M J, XIE C H, ZHANG X L, et al. Investigation and diversity analysis of plankton resources in Huangshi reservoir[J]. Current Fisheries, 2020, 45(8): 72-73.
- [31] 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. Research on the effect of river habitat on biodiversity in mountain river[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [32] 程梦奇,程梦雨,汪祝方,等. 高炉碱矿渣负载纳米零价铁对生活污水中氮磷的去除效果[J]. 环境工程学报,2021,15(3):1-9.
CHENG M Q, CHENG M Y, WANG Z F, et al. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater by blast furnace alkali slag loaded with nano-zero-valent iron[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(3): 1-9.

- [33] 张少伍,李从华,张良贵. 降尘技术在冬瓜山铜矿的应用探讨[J]. 山东农业工程学院学报,2020,37(8):26-29.
ZHANG S W, LI C H, ZHANG L G. Application of dust reducing method in Dongguashan copper mine[J]. Journal of Shandong Agricultural and Enigneering University,2020,37(8):26-29.
- [34] 朱为菊,王全喜. 滴水湖浮游植物群落结构特征及其水质评价[J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2011,40(4):405-410.
ZHU W Q, WANG Q X. Phytoplankton community analysis and water quality eco-assessment on Dishui lake[J]. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences),2011,40(4):405-410.
- [35] 李杲光,陈艳,范明璠,等. 新乡定国湖浮游植物群落结构及其水质评价[J]. 人民黄河,2021,43(1):97-102.
LI G G, CHEN Y, FAN M J, et al. Phytoplankton community structure and water quality assessment of Dingguo lake in Xinxiang[J]. Yellow River,2021,43(1):97-102.
- [36] 韦宏军. 人类活动对山区溪流鱼类多样性的影响[J]. 安徽农学通报,2020,26(5):81-85.
WEI H J. Effects of human activities on fish diversity in mountain streams[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2020,26(5):81-85.

Aquatic Biological Resources and Water Quality Assessment in Tiexi Reach of Nuoshui River Nature Reserve, Sichuan Province

WANG Meng, LUO Yang, CHENG Ruli, LIU Zhihao, CHEN Qiliang, LI Yingwen, SHEN Yanjun

(Chongqing Key Laboratory of Animal Biology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes]To study the characteristics of phytoplankton community, water quality and fish resources of Tiexi river in Sichuan province Nuoshui river rare aquatic animals' nature reserve, in order to provide some scientific basis for the ecological construction of the reserve. [Methods]There were five sampling sections set up in Tiexi river, to survey the current situation of phytoplankton community structure, water quality assessment and fish resources, and then analyze the composition of phytoplankton species, Shannon-Wiener species diversity index (H'), Margalef species richness index (D) and Pielou evenness index (J) and evaluated water quality by using the comprehensive water quality identification index method in August, 2020. [Findings]1) A total of 85 species (including varieties), 46 genera and 4 phyla of phytoplankton were collected in the study area, among which Bacillariophyta had the most species. The average density of phytoplankton was $1.046\ 0\ \text{individuals} \cdot \text{L}^{-1}$, and the average biomass was $1.856 \times 10^{-1}\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 2) The mean values of H' , D and J were 1.875 4, 2.508 4, and 0.745 5, respectively. 3) The comprehensive water quality labeling index (WQI) was calculated based on various water quality indicators, and the indexes of each sampling point were: 1.500, 1.802, 1.200, 1.500, and 1.500. 4) A total of 15 species, 5 families and 3 orders were collected, among which Cyprinidae has the largest number of fish species, accounting for 60% of the total fish species. [Conclusions]The quality of Tiexi river is light pollution to moderately pollution, and the water ecological condition is good as a whole.

Keywords: Nuoshui river; phytoplankton; comprehensive water quality identification index; community structure; fish resources

(责任编辑 方 兴)