

琼江干流遂宁段及主要支流水质时空变化规律

唐琦¹, 刘兵², 杨永安³, 郑宇杰², 童任涛², 王远铭¹, 李克锋¹

(1. 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065;

2. 遂宁市生态环境安全应急中心, 四川 遂宁 629000;

3. 四川省遂宁生态环境监测中心站, 四川 遂宁 629000)

摘要:为探讨琼江流域遂宁段水质现状,在研究区域设定 13 个水质监测断面,选用具有代表性的水质因子化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP),按照《地表水环境质量》(GB 3838-2002)Ⅲ类水质标准,解析了 2017–2019 年琼江干流遂宁段及主要支流水质的时空变化规律;采用双因素方差分析法,探究流域水质受河流断面和典型水期的影响特征。结果表明,干流水质不稳定,部分月份存在 COD_{Cr}、TP 超标现象;干流水质呈逐年好转的趋势,监测期间 COD_{Cr} 达标率由 50.0% 增长至 68.3%,TP 达标率由 45.8% 增长至 83.7%;干流 COD_{Cr} 和 TP 浓度沿程变化趋势不显著,流经安居城区后, NH₃-N 浓度出现明显的升高,支流石洞河汇入后, NH₃-N 浓度出现明显的降低趋势 ($P<0.05$);主要支流水质较差,河口断面达标率仅 31.3%~52.6%,水质同样受 COD_{Cr} 和 TP 的影响;支流蟠龙河 COD_{Cr} 和 TP 均表现出枯水期水质显著劣于丰水期 ($P<0.05$),但整体水质的年际变化趋势不明显。研究结果对深入了解琼江流域水质现状具有重要意义,可为水污染治理提供基础数据与理论支撑。

关键词:琼江流域;水质现状;时空变化;水期

中图分类号:X824

文献标志码:A

文章编号:1674-3075(2022)02-0009-10

河流水质是自然因素与人类活动综合作用的结果,水质变化不仅体现了各种自然因素在河流中形态表征的变化,同时也是河流对人类活动的响应(Wang et al, 2004; 王昱等, 2019)。水利水电工程建设、城市扩张以及工农业生产等人类活动不断改变自然环境,影响河流水质(王凯利等, 2018; Wu et al, 2018; 郭晶等, 2019)。水资源的有限性决定其无法满足社会经济发展及生态环境保护的不同需要(王浩和游进军, 2016);河流水质恶化加剧了水资源短缺形势,水污染问题正成为制约社会经济可持续发展的瓶颈(严登华等, 2020)。

随着我国经济的发展、城市化进程的加快以及水资源的大量开发应用,河流水质发生了很大变化,水质污染问题已不容忽视。根据 2019 年发布的生态环境公报,我国河流 I–Ⅲ类水质断面占比为 79.1%,劣 V 类水质断面占 3.0%,超标的主要污染物

为化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)和高锰酸盐指数。2019 年长江流域监测的 509 个水质断面中, I–Ⅲ类水质断面占 91.7%,劣 V 类水质断面占比为 0.6%。作为我国西南的经济与能源大省,近年来四川境内河流的水质状况不容乐观。2019 年四川省 152 个监测断面中,Ⅳ类和 V 类水质断面分别占比 6.6% 和 2.6%,超标的主要污染物为 COD_{Cr}、NH₃-N、总磷(TP)、五日生化需氧量(BOD₅)和石油类。四川境内的六大水系中,近年来嘉陵江水系水质一直不稳定,尤其以琼江水质状况最为严峻,作为 13 个出川断面之一的琼江光辉断面,在 2018 年之前不能稳定达到Ⅲ类水质标准,近年来被列为四川省挂牌整治的小流域达标考核断面,其主要超标因子为 COD_{Cr} 与 TP(四川省生态环境厅, 2019; 2020)。

目前,对琼江流域水环境的研究主要集中在污染源现状调查以及污染负荷综合评估(丁晓雯和沈珍瑶, 2012; 刘臣炜等, 2018; 杨雯等, 2018; 刘凌雪等, 2019),对琼江流域水质现状和时空变化特征的研究较少。本文基于 2017–2019 年琼江干、支流的逐月水质监测资料,利用方差分析法,探究琼江流域遂宁段水质污染状况及主要污染物浓度时空变化趋势,旨在为改善区域水环境质量、保障水环境安全、解决流域突出环境问题提供理论基础和技术支撑。

收稿日期:2020-09-03 **修回日期:**2021-08-21

基金项目:四川省省级科技计划项目(2018SZYZF0001)。

作者简介:唐琦, 1996 年,男,硕士研究生,研究方向为环境与生态水力学。E-mail:tangqi0320@foxmail.com

通信作者:刘兵, 1982 年,男,高级工程师,主要从事环境工程相关工作。E-mail:bingliu@cqu.edu.cn

1 研究方法

1.1 区域概况

琼江系涪江一级支流,嘉陵江二级支流,位于涪江西岸,全长235 km,发源于四川省资阳市乐至县,经遂宁市安居区出四川境,进入重庆市潼南区,至铜梁区汇入涪江,流域面积为4 560 km²。遂宁市安居区位于四川盆

地中部,境内主要河流为琼江及其支流蟠龙河,另有3条较小的石洞河、会龙河和玉丰河汇入,境内琼江干流全长117 km,流域面积约1 008 km²,占全区面积的81.2%,河道平均比降为0.034%,遂宁市安居区地理位置以及琼江流域遂宁段水系见图1。琼江水量来源于自然降水,多年平均流量34.9 m³/s,洪枯流量差异极大,最大洪峰流量可达2 370 m³/s,枯水期最小流量仅0.95 m³/s。

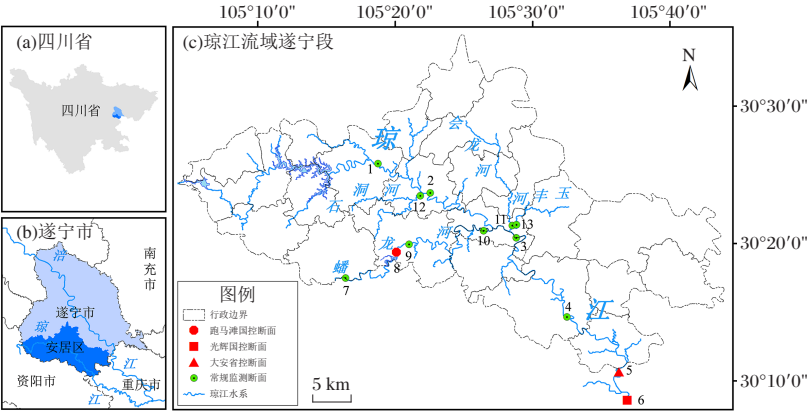


图1 琼江流域遂宁段水系以及监测断面分布

Fig.1 Water system distribution of Suining section in Qionghang River basin and location of the monitoring segments

1.2 水质监测

本文收集了2018–2019年琼江遂宁段干、支流数据系列较为完整的10个典型断面水质监测资料以及2017–2019年研究区域内3个国控和省控断面水质监测资料;其中,干流监测断面共6个,主要支流蟠龙河监测断面4个,其余支流汇口监测断面共3个,具体断面信息如图1及表1。

子为COD_{Cr}和TP。本文据此选择了COD_{Cr}、NH₃-N和TP进行河流水质评价。针对琼江流域遂宁段干、支流水质的变化趋势,依据水质监测资料,通过双因素方差分析,并基于最小显著性差异法多重比较,分析了不同水期 and 不同断面琼江流域水质的差异性($P<0.05$)。

2 结果

2.1 干流水质演替规律

根据2017–2019年水质历史监测资料,分析干流6个断面的水质时空变化规律。从上游至下游依次是黄莲沟断面(1号)、石洞镇断面(2号)、安居区城市生活污水厂断面(3号)、黄林滩电站断面(4号)、大安省控断面(5号)以及光辉国控断面(6号)。

2.1.1 水质时空变化趋势 2017–2019年干流COD_{Cr}达标率分别为50.0%、65.6%、68.3%。仅5号断面在2019年COD_{Cr}逐月浓度能满足Ⅲ类水质标准要求,其余断面在不同年份均出现不同程度的超标情况(图2)。5、6号断面在2017–2019年COD_{Cr}浓度年均值表现出逐年降低的趋势,2017年的月达标率分别为75.0%、25.0%,2019年的月达标率分别上升至100.0%、82.0%;4号断面呈相反趋势,浓度年均值较2018年上升11.8%;1~3号断面2019年COD_{Cr}浓度年均值较2018年未发现明显差异;1~4号、6号断面COD_{Cr}浓度年内逐月变化幅度较大。

表1 各监测断面详细信息

Tab.1 Details of each monitoring segment

断面编号	断面名称	所属河流	数据系列
1	黄莲沟	琼江	2018.3-2019.10
2	石洞镇		
3	安居区城市生活污水厂		
4	黄林滩电站		
5	大安省控断面		
6	光辉国控断面		
7	元子坝	蟠龙河	2018.3-2019.10
8	跑马滩国控断面		
9	东禅镇污水处理厂		
10	蟠龙河大桥		
11	会龙河汇口	会龙河	2018.3-2019.10
12	石洞河汇口	石洞河	
13	玉丰河汇口	玉丰河	

1.3 数据分析

根据四川省水域环境功能区划,研究区域执行《地表水环境质量标准》(GB 3838–2002)Ⅲ类水质标准。通过对监测数据的初步处理,琼江流域遂宁段主要超标因

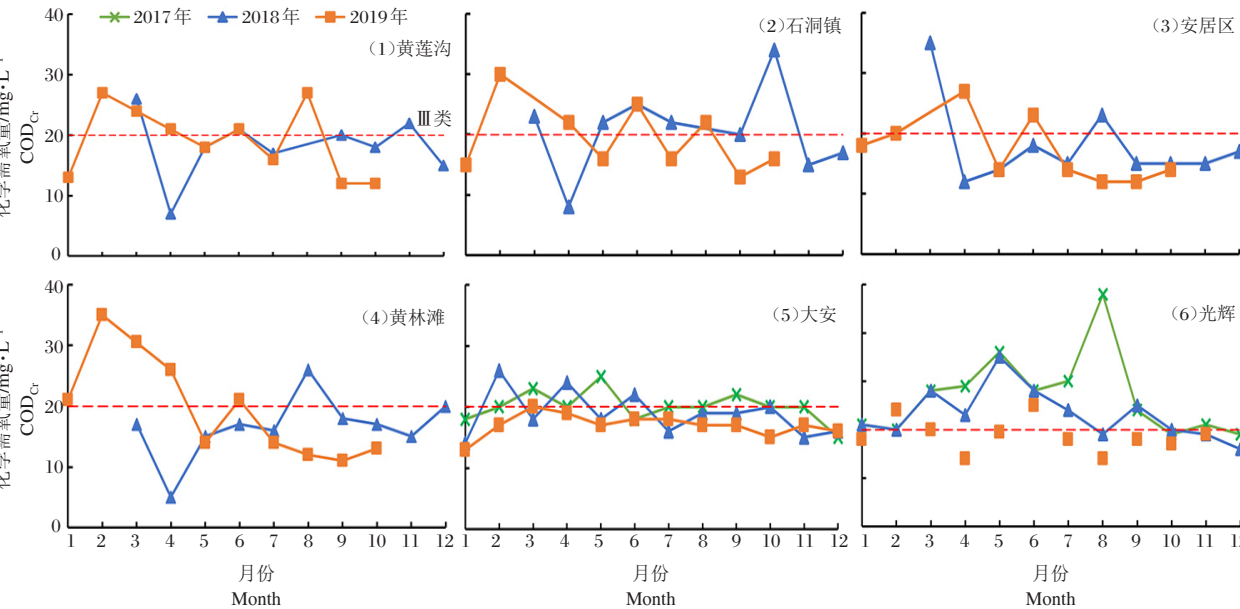


图2 干流6个重点监测断面化学需氧量浓度的逐月变化趋势

Fig.2 Historical monthly variation of COD_{Cr} at the six key monitoring sites on the main stem

2017–2019 年 NH₃-N 达标率分别为 41.7%、100%、100%。1、2、4、5 号断面水质的 NH₃-N 浓度均能满足Ⅲ类水质标准要求,3 号断面在 2018 年的月达标率为 90.0%,6 号断面在 2017 年的月达标率为 83.3%(图 3)。1~4 号和 6 号断面 NH₃-N 浓度年均值均表现出逐年降低的趋势,而 5 号断面的年际变化不明显;1、3 号断面以及 6 号断面在 2017–2018 年 NH₃-N 浓度的年内逐月变化幅度较大。

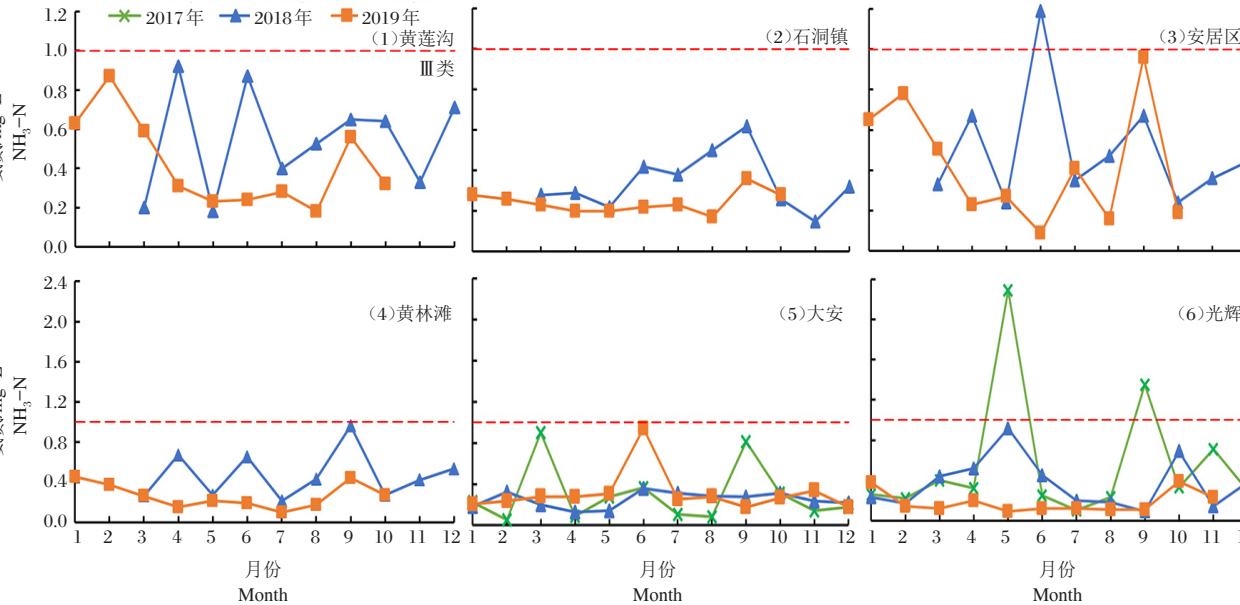


图3 干流6个重点监测断面氨氮浓度逐月变化趋势

Fig.3 Historical monthly variation of NH₃-N at the six key monitoring sites on the main stem

2017–2019 年干流 TP 达标率分别为 45.8%、76.6%、83.7%。2~4 号和 6 号断面每年均有部分月份 TP 浓度低于Ⅲ类水质标准(图 4)。1 号断面在 2018 年 TP 月达标率为 50.0%,5 号断面在 2017 年 TP 月达标率为 41.7%,1、5 号断面其余年份浓度均能满足水质标准要求。4 号断面 2019 年 TP 浓度年均值较 2018 年变化不明显,其余断面均呈逐年降低的趋势。2~6 号断面 TP 浓度逐月变化幅度较大。2017 年 TP 超标时段集中出现在 4–6 月,2018 年集中出现在 3–5 月,2019 年集中出现在 2–5 月和 7 月。

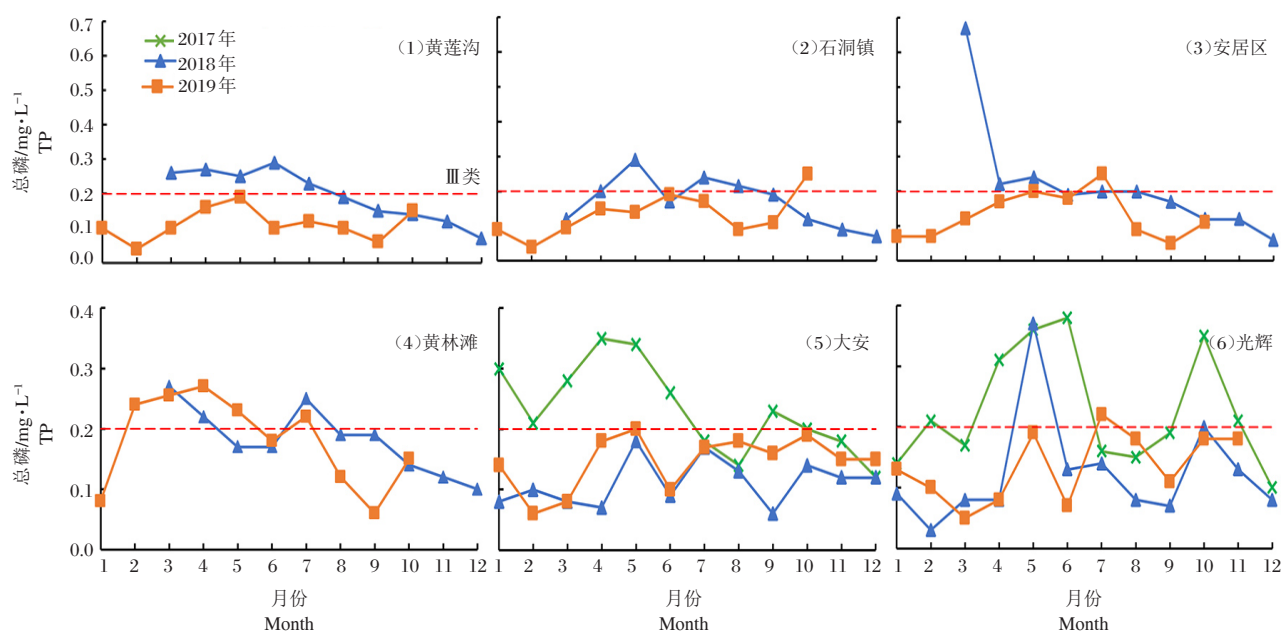


图 4 干流 6 个重点监测断面总磷浓度逐月变化趋势

Fig.4 Historical monthly variation of TP (mg/L) at the six key monitoring sites on the main stem

2.1.2 水质沿程比较 2018–2019 年遂宁境内琼江干流 COD_{Cr} 浓度沿程变化较为平稳, 琼江出安居境后(大安省控断面), COD_{Cr} 浓度出现一定程度的上升(图 5-a)。干流各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均能满足Ⅲ类水质标准要求; 当支流石洞河汇入后(石洞镇断面), 干流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度出现降低趋势; 当流经城区(安居区城市生活污水厂断面), 浓度出现明显的升高(图 5-b)。干流 TP 浓度无明显的沿程增加或减少趋势, 黄莲沟与安居区断面 TP 浓度年均值在 2018 年低于Ⅲ类水质标准(图 5-c)。

2.1.3 历史水质差异性 对 3 种水质因子进行不同断面及不同水期的双因素方差分析(表 2)。发现干流不同断面、不同水期以及两者交互作用下的 COD_{Cr} 和 TP 浓度均不存在显著性差异($P < 0.05$)。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 在不同断面情况下具有边缘性显著($P = 0.073$)(Laura et al, 2016)。对不同断面间的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度进行两两比较检验, 1、3 号断面的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度显著高于 2、5、6 号断面, 4 号断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度与其余各断面无显著差异(图 6)。

根据地表水环境质量标准限值, 将琼江干流 3 个监测指标的水质类型, 在不同水期情况下进行分类(图 7)。 COD_{Cr} 在丰、平、枯水期Ⅳ–劣Ⅴ类水分别占 29.3%、15.0%、37.2%; 不同水期 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均处于较低水平, Ⅱ类水分别占 67.2%、75.0%、67.4%; TP 在不同水期Ⅳ–劣Ⅴ类水分别占 13.8%、25.0%、18.6%。

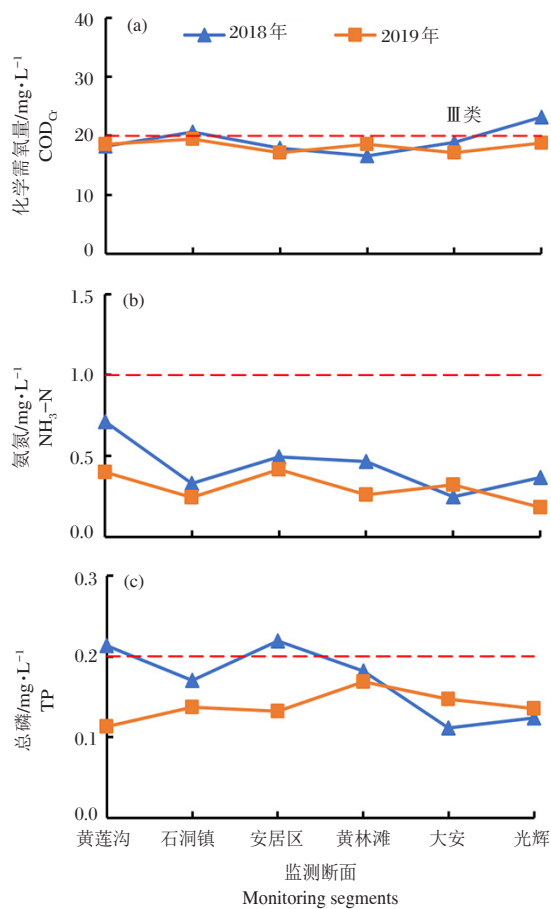


图 5 干流 6 个重点断面历史水质沿程变化趋势

Fig.5 Historical water quality trends at the six key monitoring sites on the main stem

表2 历史水质双因素方差分析结果

Tab.2 Results of two-way analysis of variance for historical water quality data

水质因子	源	d f	F	P
COD _{Cr}	断面	5	1.467	0.207
	水期	2	1.539	0.219
	断面×水期	10	1.146	0.336
NH ₃ -N	断面	5	2.087	0.073
	水期	2	1.978	0.144
	断面×水期	10	0.888	0.547
TP	断面	5	0.973	0.438
	水期	2	1.878	0.158
	断面×水期	10	1.053	0.405

注:根据光辉断面 1966-2017 年逐月流量情况,参考四川省发展和改革委员会对丰枯季节时段划分,研究区丰水期为 6-10 月,枯水期为 12-4 月,平水期为 5 月、11 月。

Note: Based on monthly flow data (1966-2017) for the Guanghui segment, the wet season is from June to October, the dry season is from December to April, and the stable water periods are May and November. (Classification of wet and dry water periods was set by the Sichuan Provincial Development and Reform Commission).

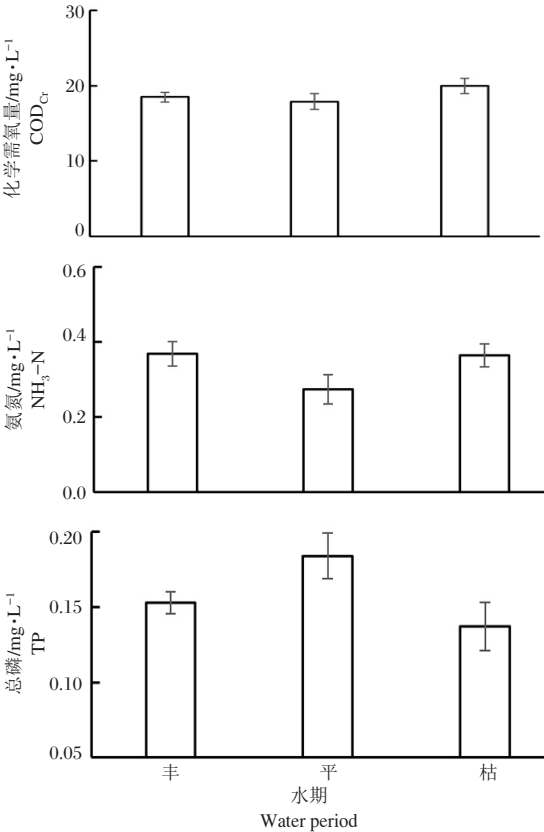
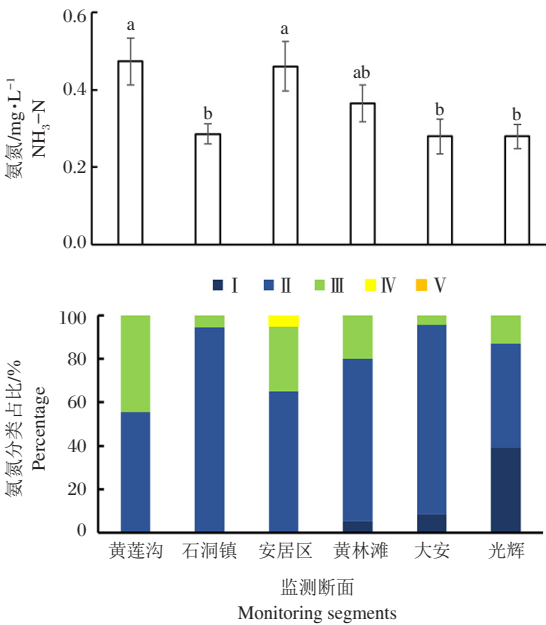


图7 不同水期各指标浓度比较及其水质分类百分比

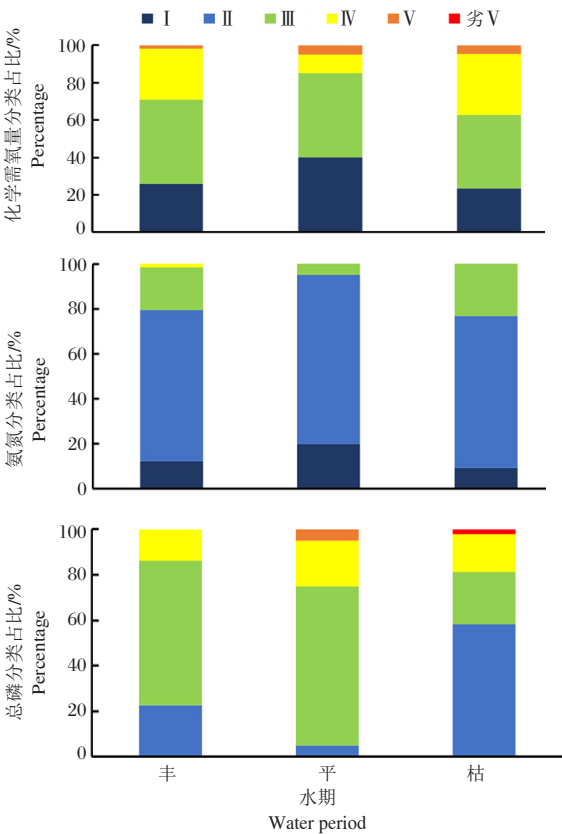
Fig.7 Concentration of each water quality parameter and percentage of each water quality classification for each water period



不同断面的氨氮浓度比较及其水质分类百分比

Concentrations are expressed as Mean±SE; different letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图6 Distributions of NH₃-N at the six key monitoring sites and percentage of each water quality classification



2.2 主要支流水质演替规律

2.2.1 蟠龙河断面沿程比较 根据2018–2019年的水质历史监测资料,选取主要支流蟠龙河上数据系列较为完整的4个重点监测断面进行水质演替规律分析,从上游至下游依次是元子坝断面(7号)、跑马滩国控断面(8号)、东禅镇污水处理厂断面(9号)以及蟠龙河大桥断面(10号)。

蟠龙河历史水质沿程变化趋势见图8。2018–2019年 COD_{Cr} 、TP浓度在部分断面劣于Ⅲ类水质标准; COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度沿程变化不明显,TP浓度沿程变化出现波动,但无明显趋势性;从年际变化来看,蟠龙河水质无明显改善。

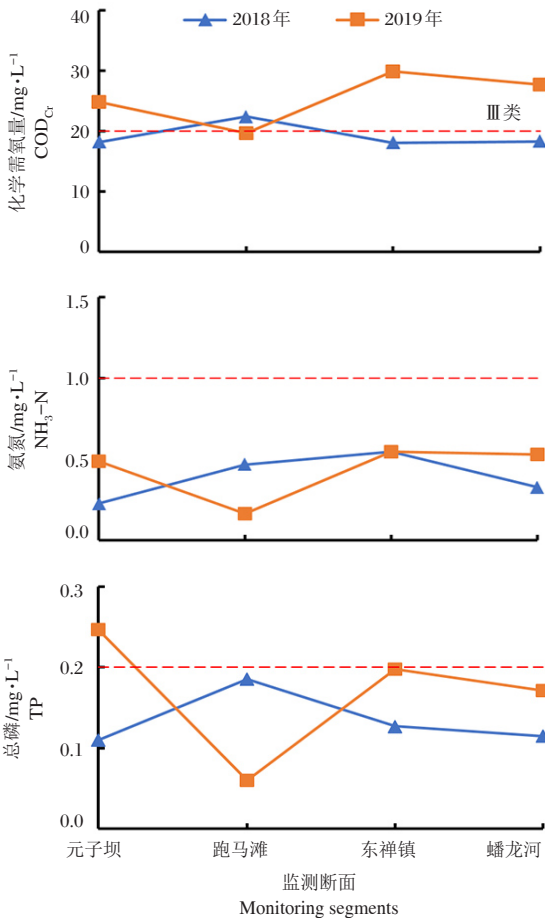


图8 蟠龙河历史水质沿程变化趋势
Fig.8 Historical water quality trends in Panlong River

蟠龙河上跑马滩国控断面2017–2019年逐月浓度变化趋势见图9。2017–2019年, COD_{Cr} 达标率分别为50.0%、33.3%、63.6%, $\text{NH}_3\text{-N}$ 达标率分别为100%、83.3%、100%,TP达标率41.7%、75.0%、100%。从年际变化来看,跑马滩断面水质整体上有逐年好转的趋势。

2.2.2 蟠龙河历史水质差异性 根据2018–2019年监测资料,对蟠龙河4个重点监测断面的3种水质因子进行不同断面及不同水期的双因素方差分析(表3)。不同断面间的 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP浓度差异性不显著;不同水期情况下 COD_{Cr} 、TP浓度存在显著性差异($P_1=0.017$; $P_2=0.001$);断面和季节的交互作用对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP浓度均不显著。

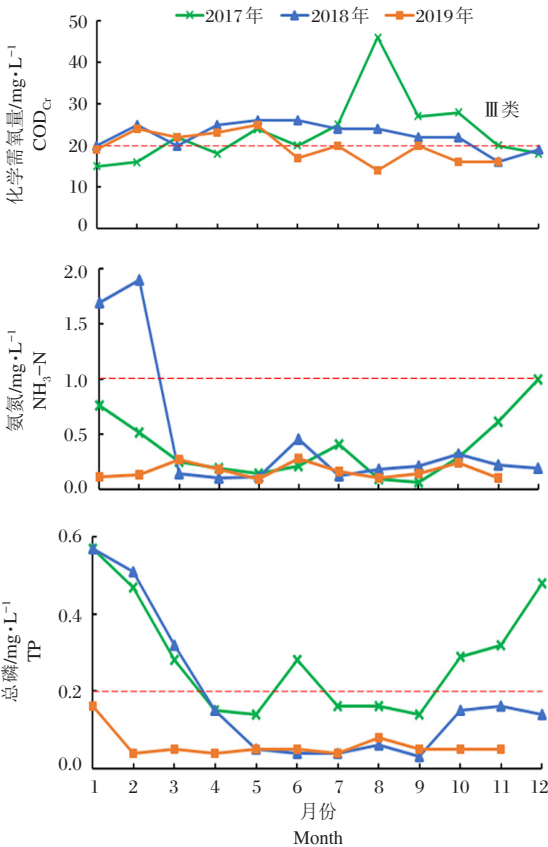


图9 跑马滩断面历史水质逐月变化趋势
Fig.9 Monthly variation of each water quality parameter in the Paomatatan segment

表3 蟠龙河历史水质差异性分析结果
Tab.3 Results of two-way analysis of variance for historical water quality in Panlong River

水质因子	源	df	F	P
COD_{Cr}	断面	3	0.187	0.905
	水期	2	4.321	0.017
	断面×水期	6	0.701	0.650
$\text{NH}_3\text{-N}$	断面	3	1.227	0.307
	水期	2	2.709	0.074
	断面×水期	6	0.361	0.901
TP	断面	3	0.939	0.427
	水期	2	7.373	0.001
	断面×水期	6	0.519	0.792

根据双因素方差分析结果,对不同水期的 COD_{Cr} 、TP浓度进行两两比较检验(图10)。 COD_{Cr} 浓度从大到小依次枯水期(26.48 mg/L)、丰水期(21.65 mg/L)、平水期(17.54 mg/L),枯水期显著高于平水期。枯水期TP浓度(0.21 mg/L)显著高于平水期(0.11 mg/L)和丰水期(0.12 mg/L)。将蟠龙河3个监测指标的水质类型在不同水期情况下进行分类。 COD_{Cr} 在丰、平、枯水期Ⅳ-劣Ⅴ类水体分别占50.0%、23.1%、70.4%; NH_3-N 水质类型以Ⅱ类水为主,不同水期Ⅱ类水分别占60.0%、61.5%、44.4%;

TP在不同水期Ⅳ-劣Ⅴ类水分别占2.5%、7.7%、37.0%。

2.2.3 支流河口断面历史水质 2018-2019年主要支流河口断面历史水质监测结果见图11。蟠龙河、会龙河、石洞河、玉丰河达标率分别为52.6%、52.6%、31.3%、42.1%。石洞河、玉丰河汇口断面水质超标情况较严重,主要超标因子均为 COD_{Cr} 与TP;蟠龙河、会龙河汇口水质优于上述支流,但 COD_{Cr} 仍出现一定程度的超标情况;琼江遂宁段主要支流河口断面 NH_3-N 浓度均处于较低水平。

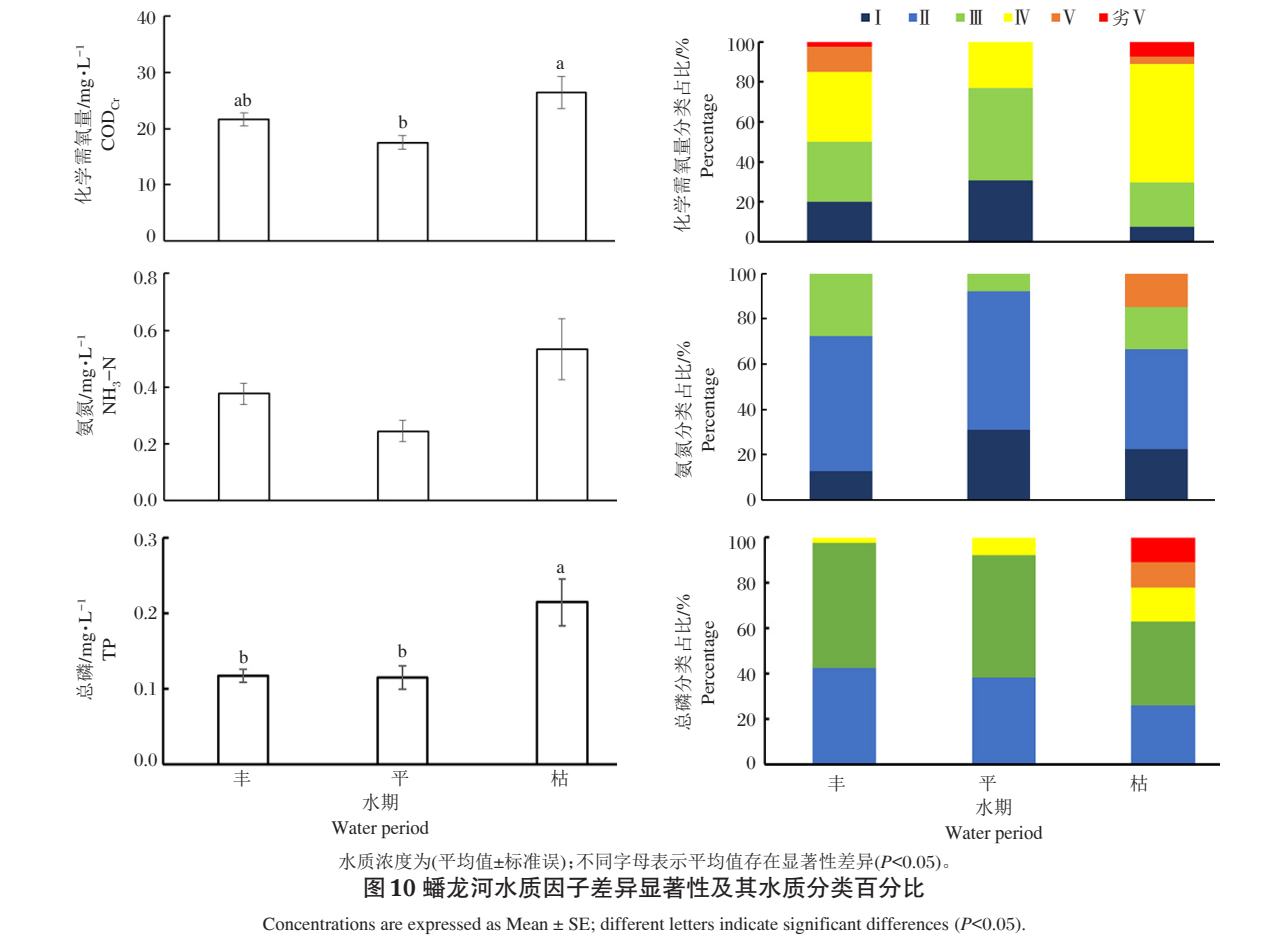


Fig.10 Concentration of each water quality parameter and percentage of each water quality classification for each water level period in Panlong River

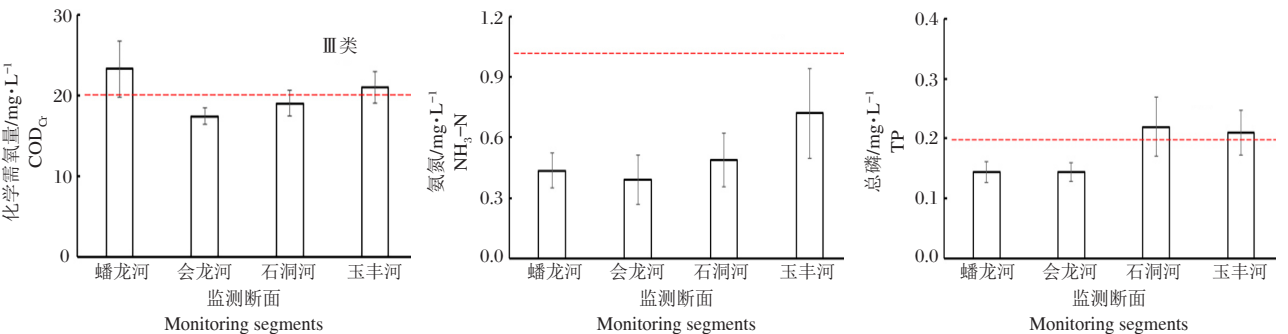


Fig.11 Historical data for each water quality parameter at the confluence of the primary tributaries and main stem

3 讨论

3.1 琼江流域遂宁段干、支流水质的时空变化

近年来,河流水质污染问题受到广泛关注。郑群威等(2019)对乌江流域贵州段水环境进行质量评价及污染源解析,研究了不同水期、不同断面乌江流域的水质变化规律;温泉等(2020)探究了岷江流域 TP 的污染负荷,发现岷江流域总磷污染负荷呈中游>下游>上游的规律。针对琼江流域,刘臣炜等(2018)在 2016 年进行了污染负荷现状调查,并预测了 2020 年流域的污染负荷。与之前的研究相比,本文着重解析琼江流域遂宁段干、支流的水质时空分布规律。

干流水质差异性分析表明,1 号断面与 2 号断面的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度具有显著性差异,两断面之间有石洞河以及 3 条较小的溪沟汇入。根据汇口断面历史水质监测资料,石洞河 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度处于较低水平,并且石洞河流量较大,因此支流石洞河的汇入一定程度上造成了 2 号断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较 1 号断面明显降低。2 号和 3 号断面流经安居城区,根据现场踏勘发现,该区域人口密度高、工厂多、畜禽养殖规模大且存在污水散排的情况,同时两断面之间有玉丰河汇入,该支流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 浓度均处于较高水平,因此造成了 3 号断面较 2 号断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度显著升高,TP 浓度略微升高。琼江 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度空间变化规律与干流涪江一致(许肖云等,2017)。

本次研究表明,随着社会经济的快速发展,2018–2019 年琼江流域遂宁段丰水期水质已优于枯水期,目前该流域水质已逐渐受到点源污染影响。刘凌雪等(2019)基于 2013 年两处断面(大安省控断面和跑马滩国控断面)水质监测资料研究发现,琼江流域遂宁段丰水期的水质劣于枯水期,表明 2013 年流域水质主要受到面源污染影响。与刘凌雪等(2019)的研究相比,本次研究采用了时间序列更长的水质监测资料,所涉及断面也更多,在此基础上更进一步分析了流域干、支流水质的时空变化规律。

琼江流域遂宁段主要支流水质较差,超标现象时有发生。蟠龙河历史水质的差异性分析表明,各水质因子沿程变化趋势不明显; $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度不受水期变化的影响,浓度比较稳定; COD_{Cr} 和 TP 浓度均表现出枯水期水质较丰水期差,可推测支流蟠龙河主要受点源污染影响。主要支流河口断面历史水质监测资料表明,会龙河水质优于其他支流,其原因是会龙河流经区域人口密集度较低、沿河工业欠发达和内生环境较好。玉丰河工厂较多,工业化程度相

对较高,一定程度上造成了该断面水质超标;蟠龙河与石洞河周边农田和农村散户较多,集中式污水处理厂较少(蟠龙河 1 处、石洞河 0 处),散排生活污水、畜禽养殖污染以及灌溉退水已成为该区域 COD_{Cr} 、TP 浓度超标的主要原因。

3.2 流域污染治理应注重点源污染和支流水质

随着未来农村人口大规模迁入城镇,生活污水产生的负荷将会大幅增加,点源污染将成为琼江流域遂宁段水质达标的主要影响因素,现有的污水处理厂配套污水管网覆盖率低,除中心城区外,多数乡镇污水处理厂执行一级 B 标准(GB18918–2002);其次,生猪养殖是该区域的传统优势产业(刘臣炜等,2018),畜禽养殖规模大,散养情况较普遍。琼江流域遂宁段水污染治理,需要对已有污水处理厂进行提标和扩容改造,未建设污水处理厂的乡镇需要新增污水处理厂,并持续跟进污水管网的建设工作;倡导畜禽集中化养殖,对粪污进行集中处理;加快农村集中处理生活污水以及配套管网建设,积极推进城镇污水处理设施和服务向农村延伸;流域水污染治理的重点应逐步放到主要支流上,支流水质是影响琼江干流水质能否达标的重要因素。

4 结论

(1)琼江干流遂宁段 COD_{Cr} 、TP 水质较差,多数月份出现超标现象; $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度处于较低水平,超标月份较少; COD_{Cr} 浓度的年际变化不明显, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 浓度则有逐年降低的趋势。从各断面水质年均值上看,琼江干流遂宁段水质仍不稳定,但整体有好转。

(2)琼江流域遂宁段主要支流河口断面水质较差, COD_{Cr} 、TP 超标现象时有发生,其中 COD_{Cr} 超标现象较为严重;蟠龙河跑马滩国控断面水质有逐年好转的趋势,但从整体上看,蟠龙河水质无明显改善。

(3)在空间分布上,支流石洞河汇入琼江干流后,干流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度出现明显降低,流经安居城区, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度出现明显升高;干流各水质指标不随丰、平、枯水期的变化而变化。支流蟠龙河 COD_{Cr} 和 TP 浓度均表现出枯水期水质较丰水期差。

参考文献

- 丁晓雯,沈珍瑶,2012. 涪江流域农业非点源污染空间分布及污染源识别[J]. 环境科学,33(11):4025–4032.
- 郭晶,连花,李利强,等,2019. 洞庭湖水质污染状况及主要污染物来源分析[J]. 水生态学杂志,40(4):1–7.
- 国家环境保护总局,2002. 地表水环境质量标准:GB3838–2002[S]. 北京:中国环境科学出版社.

- 刘臣炜,陈梅,苏良湖,2018. 琼江上游流域水质改善方案研究[A]/2018 中国环境科学学会科学技术年会论文集[C]. 合肥:中国环境科学学会.
- 刘凌雪,敖天其,胡正,等,2019. 琼江流域(安居段)水质及面源污染综合评价[J]. 水土保持研究,26(6):372-376.
- 四川省生态环境厅,2019. 2018年四川省生态环境状况公报[EB/OL]. [2020-08-31]. <http://sthjt.sc.gov.cn/sthjt/c103950/2019/6/5/4b06c27c196d4d14be36c1750a89e7ff/files/dad62b30a7454cc19167787e8d017f2b.pdf>.
- 四川省生态环境厅,2020. 2019年四川省生态环境状况公报[EB/OL]. [2020-08-31]. <http://sthjt.sc.gov.cn/sthjt/c104157/2020/6/4/ef7b43728c6945ce9e15bc5c6f011f30/files/4a1550b69717408e94ccbfd3b5923a1b.pdf>.
- 王浩,游进军,2016. 中国水资源配置30年[J]. 水利学报,47(3):265-271,282.
- 王凯利,王远铭,蒲迅赤,等,2018. 岷江中游眉乐段水质变化及其受航电开发的影响[J]. 水生态学杂志,39(4):17-23.
- 王昱,卢世国,冯起,等,2019. 黑河上中游水质时空分异特征及污染源解析[J]. 中国环境科学,39(10):4194-4204.
- 温泉,马迎群,时瑶,等,2020. 基于污染负荷核算的岷江流域总磷污染成因分析及对策[J]. 地学前缘,27(4):332-339.
- 许肖云,张凯,杨永安,等,2017. 浅析涪江流域遂宁段氨氮和总氮的相关性[J]. 四川环境,36(1):64-6.
- 严登华,王浩,周梦,等,2020. 全球治水模式思辨与发展展望[J]. 水资源保护,36(3):1-7.
- 杨雯,敖天其,王文章,等,2018. 基于输出系数模型的琼江流域(安居段)农村非点源污染负荷评估[J]. 环境工程,36(10):140-144.
- 郑群威,苏维词,杨振华,等,2019. 乌江流域水环境质量评价及污染源解析[J]. 水土保持研究,26(3):204-212.
- 中华人民共和国生态环境部,2020. 2019年中国生态环境状况公报[EB/OL]. [2020-08-31]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202006/P020200602509464172096.pdf>.
- Laura P, Derek P, Zachary H, 2016. Marginally Significant Effects as Evidence for Hypotheses: Changing Attitudes Over Four Decades[J]. Psychological science, 27(7): 1036-042.
- Wang H, Wang C M, Wang J H, et al, 2004. Theory of annual runoff evolution under natural-artificial dual mode and case study of Wuding River basin on the middle Yellow River[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 47(S1):51-59.
- Wu Z S, Wang X L, Chen Y W, et al, 2018. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 612: 914-922.

(责任编辑 万月华)

**Spatial-temporal Variation of Water Quality in the Suining Section
of Qiongjiang River and Its Primary Tributaries**

TANG Qi¹, LIU Bing², YANG Yong-an³, ZHEN Yu-jie², TONG Ren-tao², WANG Yuan-ming¹, LI Ke-feng¹

(1. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University,
Chengdu 610065, P.R. China;

2. Emergency Center for Ecological Environmental Safety of Suining, Suining 629000, P.R. China;

3. Environmental Monitoring Center of Suining, Suining 629000, P.R. China)

Abstract: Based on monthly monitoring data of water quality in the main stem and primary tributaries of the Suining section of Qiongjiang River, we characterized the water quality and spatial-temporal variations in water quality. Thirteen monitoring sites and three representative water quality parameters (COD_{Cr}, NH₃-N and TP) were selected, based on historical water quality monitoring data and the Class III Environmental Quality Standard for Surface Water (GB 3838-2002). The influence of river segment conditions and water level period on water quality was analyzed by two-way analysis of variance (ANOVA). Water quality on the main stem was variable, but was trending toward better water quality. COD_{Cr} and TP concentrations exceeded the Class III standard in some months, while NH₃-N concentration was low in most months, slightly exceeding Class III standard. The compliance rate for COD_{Cr} increased from 50.0% to 68.3% and, for TP, from 45.8% to 83.7%, but their concentrations did not change significantly in the main stem. The NH₃-N concentration clearly increased as Qiongjiang River flowed through Anju City and decreased significantly after receiving the flow of Shidong River ($P<0.05$). Water quality in the four tributaries was poor, primarily a result of high COD_{Cr} and TP levels, and compliance rates were low at their confluences, ranging from 31.3% to 52.6%. The COD_{Cr} and TP of Panlong River were both higher in dry season than in wet season, and there was no evident improvement of water quality in Panlong River, except in the Paomatan segment. These results clearly indicate the status of water quality in the Qiongjiang River basin, and provide data that can improve control of water pollution.

Key words: Qiongjiang River basin; water quality status; spatial-temporal distribution; water level period