

2014—2017 年赣江上游稀土矿区典型流域 水质污染变化及成因

许燕颖¹, 邹杰平¹, 刘友存^{1,2}, 陈明^{1,2}, 曾金凤^{3,4}, 刘正芳¹, 李奇^{1,5}

(1. 江西理工大学 资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 江西省矿冶环境污染控制重点实验室, 江西 赣州 341000; 3. 江西理工大学 土木与测绘工程学院, 江西 赣州 341000;

4. 江西省赣州市水文局, 江西 赣州 341000; 5. 江西环境工程职业学院 生态建设与环境保护学院, 江西 赣州 341000)

摘要: [目的] 分析赣江上游稀土矿区典型流域水质的时空分布特征, 揭示水质污染状况和成因, 为该流域的水环境治理提供理论依据和数据支撑。[方法] 采用 2014—2017 年赣江上游桃江流域 10 个监测断面的 6 项水质指标, 运用描述性统计分析、水污染指数法、相关性分析等方法分析该流域水质污染现状及其成因。[结果] ①桃江流域各监测断面不同水文时期的污染状况均存在差异, 以氨氮含量的时空差异最为明显。②水污染指数评价结果表明水质类别为 II 类和 III 类所占比例分别为 55% 和 29%, 龙头滩断面的水质状况最差, 以劣 V 类为主。[结论] 水质污染成因解析揭示出氨氮为桃江流域最主要的污染物, 降雨对流域内水环境的影响较大, 农业活动和以稀土采选为主的工业活动是造成水环境污染的重要人为活动。

关键词: 稀土矿区; 水质污染调查; 污染评价; 成因解析; 赣江上游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)01-0300-09

中图分类号: X824

文献参数: 许燕颖, 邹杰平, 刘友存, 等. 2014—2017 年赣江上游稀土矿区典型流域水质污染变化及成因 [J]. 水土保持通报, 2021, 41(1): 300-308. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2021. 01. 041; Xu Yanying, Zou Jieping, Liu Youcun, et al. Pollution change and cause of water quality in typical watersheds of rare earth mining area in Upper Ganjiang River during 2014—2017 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(1): 300-308.

Pollution Change and Cause of Water Quality in Typical Watersheds of Rare Earth Mining Area in Upper Ganjiang River During 2014—2017

Xu Yanying¹, Zou Jieping¹, Liu Youcun^{1,2}, Chen Ming^{1,2}, Zeng Jinfeng^{3,4}, Liu Zhengfang¹, Li Qi^{1,5}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and

Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 2. Key Laboratory of Environmental Pollution Control in

Mining and Metallurgy of Jiangxi Province, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 3. School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China;

4. Hydrology Bureau in Ganzhou, Jiangxi Province, Ganzhou, Jiangxi 341000, China; 5. School of Ecological Construction and Environmental Protection, Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial distributions of water quality in a typical basin of rare earth mining areas in the Upper Ganjiang River were analyzed to reveal the change and causes of water pollution and provide a theoretical basis and data support for water environment governance. [Methods] Three methods—descriptive statistical analysis, water pollution index, and correlation analysis—were used to analyze the six water quality indicators of 10 monitoring sections in the Taojiang River basin from 2014 to 2017. [Results] ① The pollution status of each monitoring section of the Taojiang River basin in various hydrological periods was different, and the temporal and spatial differences in ammonia nitrogen content were the most

收稿日期: 2020-10-13

修回日期: 2020-11-19

资助项目: 江西省自然科学基金项目“赣南稀土矿区典型流域侵蚀沉积过程与重金属元素迁移转化机理研究”(20181BAB203026); 国家自然科学基金项目“稀土矿区典型流域水沙过程与氨氮及重金属多界面迁移机制研究”(41861002)、江西省“千人计划”创新人才长期项目“赣江上游稀土矿区流域水资源水环境研究”(JXSQ2018106049)、赣州市创新人才项目(赣市科发 2019[60]号)

第一作者: 许燕颖(1996—), 女(汉族), 江西省瑞金市人, 硕士研究生, 研究方向为流域水资源与水环境。Email: 2817306032@qq.com。

通讯作者: 刘友存(1977—), 男(汉族), 河北省迁安市人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事水资源与水环境。Email: liuyoucun@126.com。

obvious. ② The evaluation results of the water pollution index showed that the water qualities of type II and type III accounted for 55% and 29%, respectively. The Longtou beach section was dominated by type V water, with the worst water quality. [Conclusion] Analysis of the causes of water pollution revealed that ammonia nitrogen was the most dominant pollutant in Taojiang River basin. Rainfall had a significant impact on the water environment in that basin. Moreover, industrial activities, dominated by rare earth mining, as well as various agricultural activities, were important factors causing water environmental pollution.

Keywords: rare earth mining area; water pollution investigation; pollution evaluation; cause analysis; Upper Ganjiang River

中国南方地区尤其是长江流域的水环境问题一直是中国社会关注的焦点^[1]。赣江作为长江的重要支流,其上游地区的离子型稀土储量约占全球总量的 30% 以上。硫酸铵作为主要浸矿剂,长期以来一直用于离子型稀土矿的开采,然而原地浸矿导致大量硫酸铵浸矿剂残存于稀土尾矿体土壤中,这些硫酸铵在降水的淋洗和水土流失的双重作用下进入河道,加之流域内广泛分布的畜禽养殖和特色果业种植引起的畜禽粪便和农药化肥等污染也在渗浸作用下进入河道,形成了强酸性和高氨氮浓度这一独特的赣江上游稀土矿区水环境特征^[2-3]。

目前,有关稀土矿区水污染的研究已经取得了较好的研究成果。罗才贵等^[4]研究发现,离子稀土开采中使用的池浸,堆浸和原位浸出技术将导致矿区植被的大规模破坏,土壤侵蚀,土壤盐碱化,地表水和地下水污染。师艳丽等^[5]发现在离子型稀土矿原位浸出半年后,一些关键小流域水体中 $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 的超标情况仍然存在。涂婷等^[6]查阅国内外相关文献后总结出江西南部的稀土矿区的开采已导致当地的地下水受到稀土元素,氮元素和硫酸盐类的综合污染,同时,根据地下水污染的特点,提出可以利用植物微生物修复和生物修复对矿区地下水进行综合治理^[7-8]。这些研究成果对流域水污染的治理具有很好的参考作用,但事实上,想要从根源上长久地改善离子型稀土矿区的这种特殊水环境质量,针对流域水体的持续监测和水质评价环节必不可少,因为只有掌握了流域水质的时空变化规律,摸清主要污染来源,才能为水污染的综合治理和水生态环境的精准修复提供数据支撑和科学依据^[9-10]。本文以中国最典型的离子型稀土矿流域桃江流域为研究对象,依据赣江上游的桃江流域 10 个监测断面 2014—2017 年逐月采集的水样的实测数据,运用描述性统计分析方法^[11],水污染指数法(WPI)^[12]、相关性分析等^[13]方法探讨了近年来桃江流域的水质时空分布特征,以期为桃江乃至赣江流域的水环境治理和水生态的改善提供理论依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

桃江流域位于江西省赣州市南部,发源于赣粤交界的九连山脉东北坡,是赣江重要的二级支流,介于 $24^{\circ}28'—25^{\circ}53'N$ 和 $114^{\circ}11'—115^{\circ}19'E$ 之间,流向为北偏东,流域范围涵盖赣南的龙南县、定南县、全南县、信丰县、赣县 5 个县的大部分区域,流域总面积约 8 440 km²,在赣州市赣县区汇入贡江^[14-15](图 1)。通过泰森多边形法分析 2014—2017 年桃江流域 27 个水文站点测得的逐日降水量可知,区域内为典型的亚热带湿润季风气候区,年均降水量 2 363.65 mm,且年际变化较大,丰水年与枯水年交替出现,年内差异显著(图 2);流域可划分为平水期(8—11 月)、枯水期(12 月至翌年 3 月)和丰水期(4—7 月)^[16-17]。

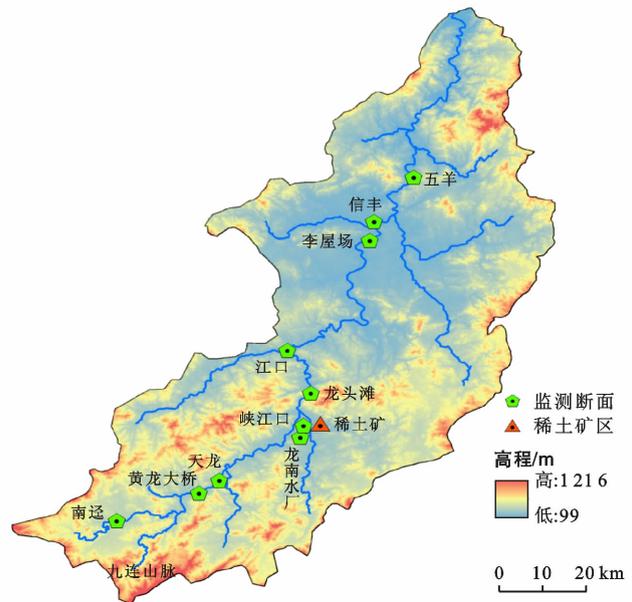


图 1 桃江流域水系分布与监测断面位置

据 2017 年《赣州市年统计年鉴》显示,流域内 5 个县的总人口数约为 2.14×10^6 人,单一稀土金属产品产量 9 530 余 t,稀有稀土金属矿产品产量为 4 157 t,锰矿石原矿 34 168 t^[18]。同年,《定南统计年鉴》显示,仅定南县岭北镇 337.14 km² 的范围内,就分布有

甲子背等 30 多座稀土矿,且迄今已开采 20 余年^[19]。桃江流域内利税总额排名前 10 的企业均出自矿业类企业,稀土矿业、有色金属矿业、钨矿业为该流域的工业主导产业。

1.2 数据来源

矿石开采不可避免的导致废石、尾砂大量积存,废水大量排放,这些废石、废水、尾矿中残存的污染物,在降水的淋洗和水土流失的双重作用下进入河道。本文根据江西省赣州市水文局 2014—2017 年对

沿桃江流域自上而下的南迳、黄龙桥、天龙、龙南水厂、峡江口、龙头滩、江口、李屋场、信丰、五羊等 10 个水质监测断面的实测水质资料,选取了监测数据较为完整,同时可表征水体酸碱度的 pH 值,衡量水体自净能力的溶解氧,反映水中有机和无机可氧化污染物的高锰酸盐指数,反映水中有机污染物质数量的 5 d 生化需氧量,工业废水中的主要耗氧污染物氨氮,以及反映生活污水、化肥农药污染的总磷等 6 种水质指标,分析桃江流域水质的时空分布特征及驱动因素。

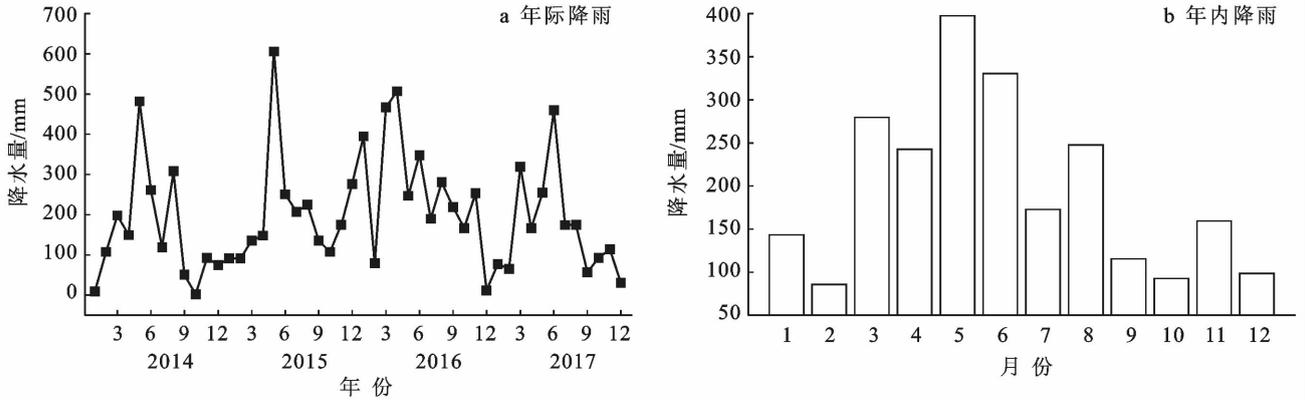


图 2 2014—2017 年赣江上游年际和年内降雨状况

1.3 研究方法

1.3.1 描述性统计分析 对水质指标进行描述性统计分析,通过计算 3 个水文时期各种水质指标的平均值、最大最小值、变异系数等,探究区域内各检测断面水质分布现状及时空差异^[20]。

1.3.2 水污染指数法 水污染指数法参考单因子

评价法^[21],依据 GB 3838-2002 水质标准,选取污染最严重的水质指标作为判定水质类别的依据,不仅可将水质污染情况量化,而且能准确反映水质的时空变化特征,进而了解总体变化情况和趋势,适用于中国湿润半湿润地区的河流和湖泊水质评价(见表 1)。

表 1 GB 3838-2002 水质标准及对应的水污染指数(WPI)

GB 3838-2002 水质标准	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类	劣 V 类
WPI	20	20 < WPI ≤ 40	40 < WPI ≤ 60	60 < WPI ≤ 80	80 < WPI ≤ 100	WPI > 100

pH 值(属于无量纲值)的 WPI 计算方法:当 6 < pH 值 < 9 时,水污染指数取值为 20;

当溶解氧(DO)浓度大于 7.5 mg/L 时,WPI = 20;当 2 ≤ DO ≤ 7.5 mg/L 时,WPI 值计算公式如下:

$$WPI(i) = WPI_l(i) + \frac{WPI_h(i) - WPI_l(i)}{C_l(i) - C_h(i)} \times [C_l(i) - C(i)] \quad (1)$$

当水质参数浓度未超过 V 类标准时,WPI 值用下式计算:

$$WPI(i) = WPI_l(i) + \frac{WPI_h(i) - WPI_l(i)}{C_h(i) - C_l(i)} \times [C(i) - C_l(i)] \quad (2)$$

当水质参数浓度超过 V 类标准时,WPI 值使用下式计算:

$$WPI(i) = 100 + \frac{C(i) - C_5(i)}{C_5(i)} \times 40 \quad (3)$$

根据各单项指标的 WPI(i),取其最高值为该断面的水质污染指数,即:

$$WPI = \max[WPI(i)] \quad (4)$$

式中:C(i)为第 i 个水质指标的实测值;C_l(i),C_h(i)和 C₅(i)分别为第 i 个水质指标在 GB3838-2002 中所在类别标准的下限值、上限值和 V 类标准限值;WPI_l(i)和 WPI_h(i)分别为第 i 个水质指标所在类别标准下限值和上限值所对应的污染指数;WPI(i)为第 i 个

水质指标所在类别对应的污染指数。

1.3.3 相关性分析 Pearson 相关系数是描述两个随机变量要素线性相关程度的统计量,本文中用来研究水质指标之间的相关性,并借助其相关性程度来解析水体污染物的主要来源和不同污染物之间的相互关系^[22-23]。

2 结果与分析

2.1 水质指标统计学特征

表 2 是 2014—2017 年桃江流域各监测站水质参数统计结果。由表 2 可知,桃江流域河水的 pH 值在时间上较为稳定,而在空间上存在差异,pH 值最低为 6.0,最高为 8.3。3 个时期的溶解氧平均含量都满足 II 类水质标准,但最低值 2.8 mg/L,超过了 IV 类水质标准。氧气在水中的溶解情况主要与温度有关,呈显著的负相关。在水温较低的枯水期溶解氧平均含量

7.39 mg/L,明显高于丰水期和平水期^[24]。

氨氮和总磷平均含量则随降水量增加而降低。变异系数是标准差与其平均值的比值^[25],它可以反映不同水质参数空间分布的离散程度, $C_V < 0.1$ 为弱变异, $0.1 \leq C_V < 1$ 为中度变异, $C_V \geq 1$ 为强变异。

总体上看各项水质参数在不同水文时期均出现了不同程度的变异,其中氨氮为强变异,表明桃江流域各站点的氨氮含量离散程度大,已有研究表明中国许多流域农村生活污染和农业生产污染(水产养殖、畜禽养殖和果蔬种植)是水体 NH_4^+-N 负荷的主要来源,因此可推测人类生产活动(稀土矿山开采、农业活动等)对桃江水环境氨氮含量具有较大程度的影响。此外,枯水期的溶解氧、高锰酸盐指数、 BOD_5 ,总磷表现为中度变异,而在平水期和丰水期,溶解氧 $C_V < 0.1$,说明降水会减弱溶解氧含量的空间差异。

表 2 桃江流域水质参数统计特征

时期	参数值	pH 值	溶解氧/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	高锰酸盐指数/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD_5 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
枯水期	最小值	6.60	4.00	1.00	0.20	0.03	—
	最大值	8.00	10.10	3.10	3.50	8.34	0.20
	平均值	7.11	7.39	1.86	2.36	0.78	0.05
	标准差	0.24	0.75	0.39	0.43	0.96	0.03
	变异系数	0.03	0.10	0.21	0.18	1.23	0.67
平水期	最小值	6.10	5.50	1.30	0.60	0.03	—
	最大值	7.90	7.40	4.00	3.30	5.12	0.16
	平均值	7.14	6.71	1.99	2.37	0.51	0.04
	标准差	0.26	0.44	0.40	0.47	0.65	0.03
	变异系数	0.04	0.06	0.20	0.20	1.29	0.76
丰水期	最小值	6.00	2.80	1.30	0.80	—	—
	最大值	8.30	8.40	4.00	4.70	5.53	0.23
	平均值	7.06	6.71	2.05	2.43	0.63	0.04
	标准差	0.34	0.58	0.42	0.47	0.77	0.03
	变异系数	0.05	0.09	0.20	0.19	1.21	0.77

2.2 水质指标时空分布特征

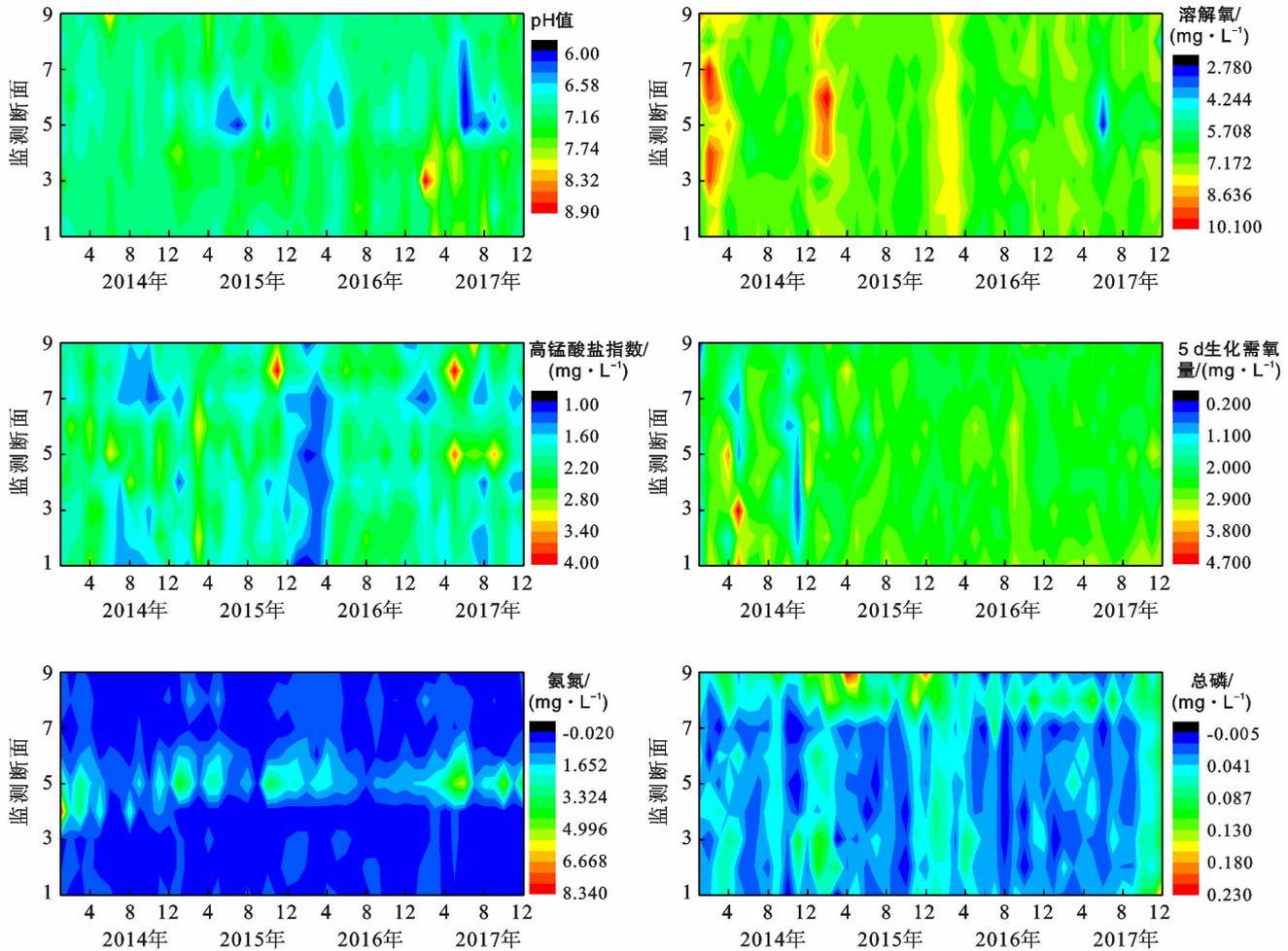
图 3 显示了研究期内桃江流域 9 个监测断面(除龙南水厂断面外,因为其在 2015 年才开展监测)各项水质指标在时空尺度的变化特征。时间上,桃江流域水质总体达标,除氨氮外,其余单项水质指标的含量在研究时段内均满足 II 类水质标准。其中,桃江流域水体的 pH 在时间上变化不大,而空间上存在较大差异;溶解氧的浓度集中分布在 I—II 类水质标准之间,明显增高的月份为 2014 年 2 月、2015 年 1 月,明显降低的月份为 2017 年 7 月,这是由于溶解氧与温度呈显著的负相关,温度变化对溶解氧含量影响较大;5 d 生化需氧量和高锰酸盐指数在监测时段内均

未超出 II 类水质标准,说明流域水体中的有机污染物含量较稳定;丰水期(4—7 月)降水增加,氨氮浓度也随之下降(2016 年最为明显),表明降水可对流域水质状况产生影响。空间上,天龙、李屋场断面各项指标与其他断面相比都具优势,表明水质最好。峡江口、龙头滩、江口 3 个监测断面河水 pH 值较小,氨氮含量总体上也高于其他监测断面,部分月份达到劣 V 类标准,污染异常严重。

龙头滩和江口监测断面的离子型稀土矿丰富,且密集分布着大量的采矿点,稀土开采使用的大量化学试剂(硫酸铵、碳酸氢铵、氯化钠、沉淀剂草酸等),使得水体中 NH_4^+ , SO_4^{2-} 的含量大大增加^[26-27],导致与

其他断面相比具有 pH 值小, 水体呈酸性, 氨氮含量较高的特点; 而处在中部的龙头滩断面氨氮含量最高也表明氨氮会沿径流方向随河水携入下游, 同时, 在

没有其他污染源汇入的情况下, 经西侧支流汇水, 河流流量增加使污染物得到稀释, 污染物浓度在江口断面有所降低。



注: 纵坐标上的数字 1—9 为不同监测断面, 分别为 1 南迳, 2 黄龙桥, 3 天龙, 4 峡江口, 5 龙头滩, 6 江口, 7 李屋场, 8 信丰, 9 五羊。

图 3 2014—2017 年研究区水质指标时空尺度变化趋势

2.3 基于水污染指数法的评价结果

基于研究区 2014—2017 年 10 个监测断面(其中龙南水厂断面从 2015 年 1 月起监测)获得的 468 组水质数据, 运用水污染指数法(WPI)对桃江流域各监测断面的水质污染状况进行评估。基于 WPI 评估结果, 根据每个水文时期的 4 个月份 WPI 平均值确定 2015—2017 年枯水期、平水期、丰水期的 WPI 值, 并用 ArcMap 软件进行空间插值, 绘制 2015—2017 年桃江流域水质的空间变化图(图 4)。

由图 4 可知, 2017 年枯水期和丰水期的水质整体上优于前两年, 2016 年全年的水质都比 2015 年、2017 年差, 且该年枯水期的水质最差, 这说明水质状况易受降雨的影响。空间上, 流域内水质空间变化较大, 龙头滩断面位于桃江中上游, 是主要的离子型稀土矿生产区, 水质状况最差。江口位于龙头滩断面下

游, 受到龙头滩污染物迁移的影响, 大部分月份的水质超过 IV 类, 水质较差。峡江口位于龙头滩断面上游, 水质状况在时间上波动较大, 受降雨过程的影响较大, 部分月份水质为劣 V 类。信丰等其余 7 个断面的水质状况相近, 根据监测断面的地理位置, 相对于龙头滩而言, 7 个监测断面中, 南迳、黄龙大桥、天龙和龙南水厂断面位于其上游, 李屋场、信丰和五羊断面则位于其下游, 即与龙头滩监测断面距离相近的断面水质状况呈现明显的相似性, 而该断面的上游是流域主要的稀土矿区所在地, 说明稀土矿的开采对流域水质状况产生了较大的影响, 且随着距离变远, 污染物在河流中收到了一定程度的稀释作用。

总结各水质类别的断面情况, 见图 5, 在检测期间, 流域水质均未达到 I 类, 大部分断面为 II 类(55%)和 III 类(29%)。枯水期 V 类和劣 V 类水的

断面所占比例最高,而丰水期降雨增加导致地表水径流量急剧增加,污染物浓度降低,全河段的水质

总体趋好,以上结论与前述水质指标的分析结果相吻合。

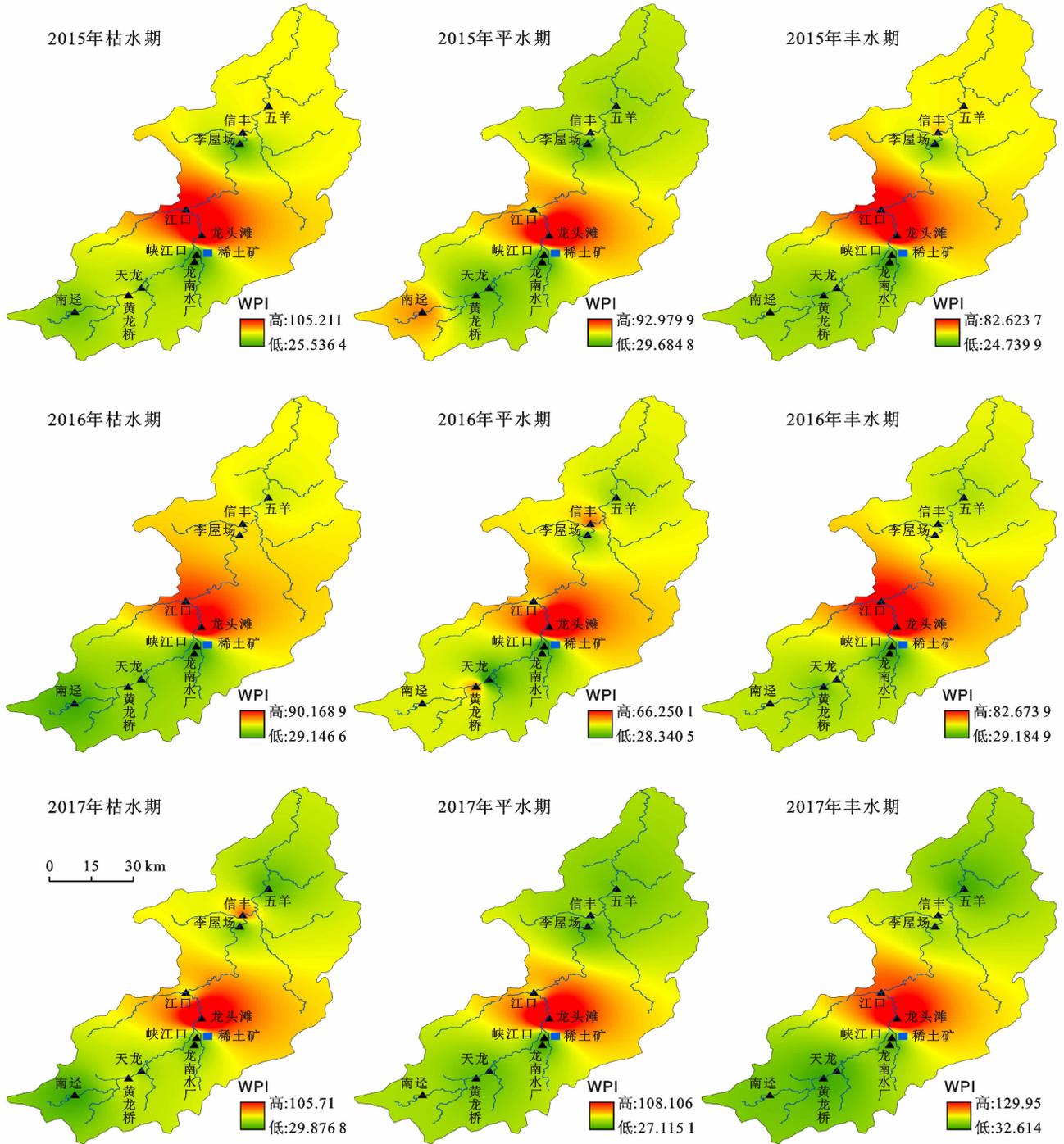


图 4 2015—2017 年桃江流域水质的空间变化特征

2.4 WPI 与各项水质指标的相关性分析

桃江流域是中国主要的离子型稀土矿区和赣南脐橙产区,区域内工农业和采矿活动频繁,污染物来源众多,表 3 是水质污染指数与各项水质指标相关性分析结果,一般而言,若两元素间相关性显著或者极显著,则说明两元素间具有同源性^[28]。氨氮、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数这几个指标具有显著的相

关性,说明这几个指标可能具有同一来源,而与氨氮的相关性最为明显,在 3 个水文时期相关性系数都 >0.94 ,说明氨氮含量是桃江流域水质最主要的影响因子。同时,依据平水期和丰水期各水质指标间的相关性程度明显高于枯水期,可知降水对污染物的冲刷、稀释和运移作用对水质指标间的关联有强化作用。

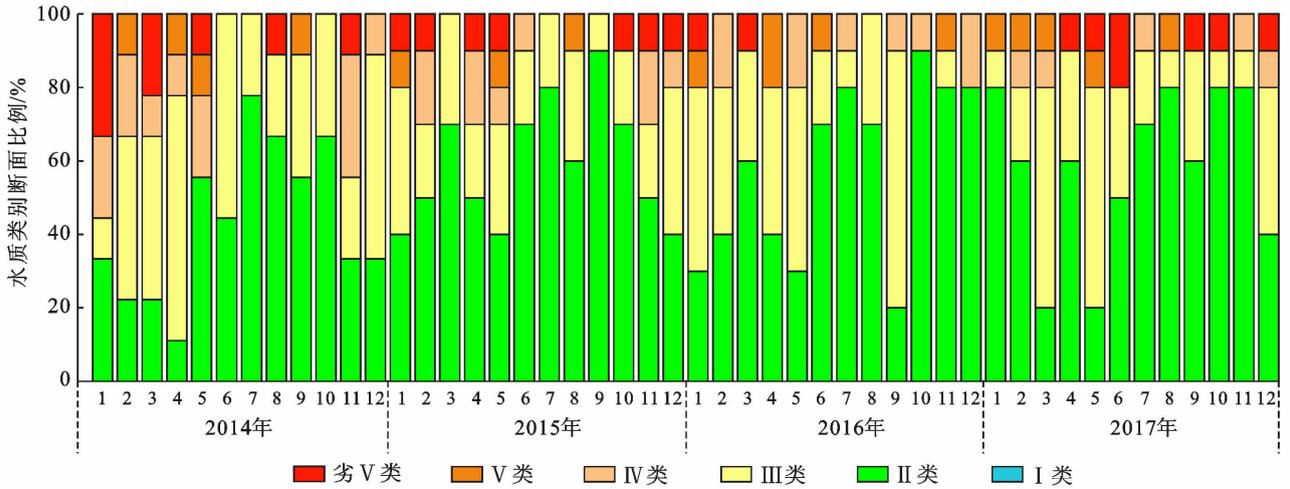


图 5 2014—2017 年桃江流域各水质类别断面比例

表 3 2014—2017 年桃江流域水质污染指数与各项水质指标相关性分析

水文时期	水质指标	pH 值	溶解氧	高锰酸盐指数	5 d 生化需氧量	氨氮	总磷	WPI
枯水期	pH 值	1						
	溶解氧	-0.074	1					
	高锰酸盐指数	-0.092	-0.131	1				
	5 d 生化需氧量	0.000	0.019	0.008	1			
	氨氮	-0.214**	0.036	0.155	-0.018	1		
	总磷	-0.149	-0.057	0.025	0.056	0.040	1	
	WPI	-0.263**	0.011	0.181*	-0.025	0.947**	0.128	1
平水期	pH 值	1						
	溶解氧	0.381**	1					
	高锰酸盐指数	-0.203*	-0.311**	1				
	5 d 生化需氧量	-0.005	0.019	-0.033	1			
	氨氮	-0.498**	-0.325**	0.424**	-0.008	1		
	总磷	0.030	0.055	0.316**	-0.064	0.044	1	
	WPI	-0.530**	-0.438**	0.469**	-0.006	0.958**	0.101	1
丰水期	pH 值	1						
	溶解氧	0.359**	1					
	高锰酸盐指数	-0.144	-0.192*	1				
	5 d 生化需氧量	0.030	0.089	-0.004	1			
	氨氮	-0.440**	-0.394**	0.390**	0.004	1		
	总磷	0.129	0.189*	0.257**	-0.069	-0.024	1	
	WPI	-0.446**	-0.379**	0.388**	0.062	0.963**	0.044	1

注：* 表示 $p < 0.05$, 相关性显著, ** 表示 $p < 0.01$, 相关性极显著。

3 讨论

水质恶化是多方面影响的共同结果,桃江流域水质受自然降水和人为污染物排放的共同影响,结合流域相关产业及污染源分布,可知农业发展、工业企业大量增加、稀土资源开发和水体生态环境破坏等都是导致河流断面水质变化的原因。

3.1.1 农业发展导致的水污染 桃江流域人口密集,劳动力资源丰富,气候为亚热带季风气候,土壤主

要是红壤或棕红壤,适宜发展种植业,拥有脐橙、柑橘和板栗等特色经济作物,优越的自然资源和气候条件使流域周边地区具备发展农业的先天优势。流域内的土地利用方式以林地和耕地为主,当地居民大多从事以种植业(蔬菜种植、林下产业等)和养殖业(生猪产业)为主的第一产业。种植业生产过程中不合理施用化肥、农药喷洒、污水灌溉等使污染物在农田土壤中积累,随降水的径流和渗流进入地表水和地下水;养殖业对河流水体的污染主要源于禽畜尿液、冲洗场

地的污水、雨水冲刷粪堆,畜禽粪便直接还田时使用不当或连续过量使用等,极易导致硝酸盐、磷等重金属的沉积,污染地表水和地下水。

近年来,流域周边的畜禽养殖户大量增加,2015 年的统计数据显示,仅龙南县规模以上畜禽养殖户就有 30 家,规模以下畜禽养殖户有 377 家,规模以下的畜禽养殖户即以家庭为生产单位经营的养殖户,分布分散,政府难于监管,这些经营者一般不会建设污水处理设施,养殖中产生的污染物基本上直接排入河流中,造成水体污染。

3.1.2 工业发展与生态环境破坏导致的水污染 桃江流域稀土资源丰富,稀土矿业是桃江流域工业主导产业,稀土开采采用原地浸矿的方法,受制于地浸的局限性,浸出液不能完全抽出,无法抽出的浸出液遗留在山体中,通过土壤渗流或雨水冲刷直接进入河道中,导致河流的氨氮浓度严重超标,直接威胁着流域的生态环境和水体安全。近年来,大批的企业公司进驻桃江流域,也导致流域内的工业废水排放量逐年增加,即使企业废水是在达标情况下排放的,但由于累计效应,对河流也存在一定的污染,废水排放量越大,河流污染越严重,当污染物超出水体环境容量时,会导致水生动物、植物死亡,藻类植物大量生长,造成水体富营养化。

4 结论

(1) 桃江流域不同监测断面的各水质指标在 3 个水文时期含量都存在差异,且以氨氮含量的时空差异最为明显,表明流域水质状况与人类生产活动(稀土矿山开采、农业活动等)密切相关,同时,降水量与各项水质指标含量也存在联系,总体上与高锰酸盐指数和 BOD₅ 含量成正比,与氨氮和总磷的含量成反比。

(2) 水污染指数评价结果显示,大部分监测断面的水质类别为 II 类和 III 类,所占比例分别为 55% 和 29%,龙头滩和江口监测断面附近由于分布着密集的采矿点,水质污染状况几年来在桃江流域都最为严重,而这两个断面的上游及下游的各监测断面氨氮含量逐渐降低,污染程度减轻,验证了采矿点对流域水质的不良影响,同时,丰水期水质优于枯水期也表明降水对水质状况具有一定的调节作用。

(3) 水质指标的相关性分析结果表明,桃江流域水质受自然降水和人为污染物排放的共同影响,氨氮作为影响桃江流域水质的最主要因素,其来源包括各类农业活动和以稀土采选为主的各种工业活动。

[参 考 文 献]

[1] Liu Youcun, Liu Yan, Chen Ming, et al. Characteristics

and drivers of reference evapotranspiration in hilly regions in Southern China [J]. *Water*, 2019,11(9):1914.

[2] 刘友存,刘正芳,刘基,等. 赣江上游龙迳河水体氨氮与重金属污染分布特征及风险评价[J]. *有色金属科学与工程*, 2019,10(4):85-93.

[3] Chen ming, Shi Yanli, Liu Youcun, et al. Pollution status and risk assessment of sedimentary heavy metals in the special mine basin of China [J]. *Environmental Engineering Science*, 2020,37(3):178-187.

[4] 罗才贵,罗仙平,苏佳,等. 离子型稀土矿山环境问题及其治理方法[J]. *金属矿山*, 2014(6):91-96.

[5] 师艳丽,张萌,姚娜,等. 江西定南县离子型稀土尾矿周边水体氮污染状况与分布特征[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(1):94-103.

[6] 涂婷,王月,安达,等. 赣南稀土矿区地下水污染现状、危害及处理技术与展望[J]. *环境工程技术学报*, 2017,7(6):691-699.

[7] 吴敬东,杨胜天,叶芝茵,等. 小流域非点源污染模拟与生态修复影响评价[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(4): 236-243.

[8] 沈乾杰,刘品桢,杜启露,等. 废弃铅锌矿区复耕后土壤—作物重金属污染特征及修复措施[J]. *水土保持通报*, 2019,39(5):223-230.

[9] 郭钟群,赵奎,金解放,等. 离子型稀土矿环境风险评估及污染治理研究进展[J]. *稀土*, 2019,40(3):115-126.

[10] 曾金凤,刘祖文,刘友存,等. 2007—2019 年东江流域赣粤出境水质评价与成因分析[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(4):140-147.

[11] 周丰,郭怀成,刘永,等. 基于多元统计分析和 RBFNNs 的水质评价方法[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(5): 846-853.

[12] 景朝霞,夏军,张翔,等. 汉江中下游干流水质状况时空分布特征及变化规律[J]. *环境科学研究*, 2019,32(1): 104-115.

[13] Yan Changan, Zhang Wanchang, Zhang Zhijie, et al. Assessment of water quality and identification of polluted risky regions based on field observations & GIS in the Honghe River watershed, China [J]. *Plos One*, 2015,10(3):e0119130.

[14] Liu Youcun, Ding Qianqian, Chen Ming, et al. Analyses of runoff and sediment transport and their drivers in a rare earth mine drainage basin of the Yangtze River, China [J]. *Water*, 2020,12(8):2283.

[15] 丁倩倩,刘友存,焦克勤,等. 赣江上游典型流域水沙过程及驱动因素[J]. *水土保持通报*, 2018,38(4):19-26.

[16] 刘光旭,王小军,徐新创,等. 低山丘陵区暴雨洪水特征与洪灾风险评估:以赣江上游为例[J]. *水土保持通报*, 2019,39(5):236-241.

[17] 丁倩倩,刘友存,焦克勤,等. 赣江上游典型流域水沙过

程对全球气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(1): 174-186.

- [18] 中华人民共和国统计局. 赣州统计年鉴(2017)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [19] 定南县矿产资源管理局. 定南县茶坑废弃稀土矿矿山地质环境恢复治理项目实施方案[R]. 江西赣州: 定南县人民政府, 2012.
- [20] Jung K Y, Lee K L, Im T H, et al. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis [J]. Environmental Technology & Innovation, 2016, 5: 67-82.
- [21] Pejman A H, Bidhendi G R N, Karbassi A R, et al. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques [J]. International Journal of Environmental Science & Technology, 2009, 6(3): 467-476.
- [22] Chen Ming, Li Fengguo, Tao Meixia, et al. Distribution and ecological risks of heavy metals in river sediments and overlying water in typical mining areas of China [J]. Marine Pollution Bulletin, 2019, 146: 893-899.
- [23] 李兆钦, 李欣, 孙利元, 等. 大沽河口底层海水溶解氧浓

度分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(9): 23-33.

- [24] Yang Kun, Yu Zhenyu, Luo Yi, et al. Spatial and temporal variations in the relationship between lake water surface temperatures and water quality: A case study of Dianchi Lake [J]. the Science of the Total Environment, 2018, 624: 859-871.
- [25] Liu Yang, Ma Zongwei, Lv Jianshu, et al Identifying sources and hazardous risks of heavy metals in topsoils of rapidly urbanizing East China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(6): 735-749.
- [26] Islam M S, Ahmed M K, Raknuzzaman M, et al. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country [J]. Ecological Indicators, 2015, 48: 282-291.
- [27] 方夕辉, 朱冬梅, 邱廷省, 等. 离子型稀土矿抑杂浸出中抑铝剂的研究[J]. 有色金属科学与工程, 2012, 3(3): 51-55.
- [28] 许燕颖, 刘友存, 陈明, 等. 赣江上游典型流域水体三氮及重金属空间分布特征与风险评价[J]. 地球与环境, 2020, 48(5): 574-583.

《水土保持通报》2020年数据库 收录证书及获奖证书

