

花溪区思雅河水质分析与评价

孙婷,莫跃爽,李芳,焦树林*,冯丽娟,罗旭玲,钟昕,吴健
(贵州师范大学地理与环境科学学院,贵州 贵阳 550025)

摘要:在花溪区思雅河大学城段布设10个采样点,监测pH值、温度(T)、悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、总磷(TP)和细菌总数(TPC)等指标,并采用单因子指数法、综合指数法和模糊综合法3种方法对水质进行评价。结果表明:河流主要污染指标为COD,且增势最明显,TPC和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定值的RSD均超过1,比其他指标变异程度更大;COD和TPC春冬季测定值高于夏秋季, $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定值秋季最低,TP季节变化不明显,而冬季测定值较其他季节更稳定;思雅河大学城段水质较差,上游水质等级为Ⅳ类,中下游为劣Ⅴ类,主要污染源自农业和高校生活用水;3种方法中,模糊综合法更适用于小流域河流水质的定性定量评价,评价结果更加科学合理。

关键词:水质评价;单因子指数法;综合指数法;模糊综合法;大学城;思雅河

中图分类号:X824

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)04-0043-05

Analysis and Evaluation of Siya River Water Quality in Huaxi District

SUN Ting, MO Yue-shuang, LI Fang, JIAO Shu-lin*, FENG Li-juan, LUO Xu-ling, ZHONG Xin, WU Jian
(School of Geography and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang,
Guizhou 550025, China)

Abstract: The water quality at the university town section of Siya River in Hua Xi district was evaluated by single factor index, comprehensive index and fuzzy comprehensive methods, through monitoring the indicators of pH, temperature(T), suspended matter(SS), chemical oxygen demand(COD), ammonia nitrogen($\text{NH}_3\text{-N}$), total phosphorus(TP) and total bacteria count(TPC) in 10 sampling sites. The results showed that COD was the main pollution indicator and had the greatest growth. The RSD of TPC and $\text{NH}_3\text{-N}$ measured values were more than 1, which were greater than that of other indicators. COD and TPC measured values were higher in spring and winter than that in summer or autumn. $\text{NH}_3\text{-N}$ was the lowest in autumn. TP had no seasonal variation, but was more stable in winter than that in other seasons. The water quality at the university town section of Siya River was poor, the upriver water quality was of class Ⅳ, the middle and lower reaches were inferior to class Ⅴ. The main pollution came from agriculture and college domestic water. Among the 3 evaluation methods, fuzzy comprehensive method was suitable for qualitative and quantitative evaluation in small watershed, and the evaluation results were scientific and reasonable.

Key words: Water quality evaluation; Single factor index method; Comprehensive index method; Fuzzy comprehensive method; University town; Siya River

近年来,城市化和工业化的迅速发展与基础设施建设的相对滞后,导致我国城市水环境状况恶化并引发社会关注,如何改善水污染现状成为区域水环境研究中迫切需要解决的问题^[1-3]。掌握水质时空变化规律是分析污染来源、评价和改善水环境质量的前提,也是当今水质监测与评价的重点和难

收稿日期:2019-05-14;修订日期:2020-04-23

基金项目:贵州省国内一流学科建设“贵州师范大学地理学”基金资助项目(黔教科研发[2017]85号);贵州省科技计划基金资助项目(黔科合计省合[2012]7005号);贵州省水利厅科技专项经费基金资助项目(KT201602)

作者简介:孙婷(1962—),女,贵州贵阳人,副教授,硕士,主要从事可持续发展、环境保护和自然灾害等方面的研究。

*通信作者:焦树林 E-mail: jiaoshulin@gznu.edu.cn

点^[4]。作为区域居民生活污水、工业废水和地表径流排放的主要载体,内陆河最易受到污染,农业污染、地下水对河水的补给等因素也会导致其水质发生明显变化^[5-9]。贵州省水环境处于生态赤字状态且生态压力较高,水环境生态压力主要来源于生活排水污染,其已成为许多地区社会和经济发展的制约因素^[10-11]。有研究表明,地表水经过大学城后水质发生变化的主要原因是高校实验室污水排放,以及生活污水和食堂污水排放等^[12]。通过对水体物理化学、有机物及生物指标的监测^[13-14],可以探索水质时空变化规律,提高人们对区域环境的认识。水质评价是环境治理与监控的一项基础工作,目前常用的方法包括内梅罗指数法、 F 值法、单因子指数法、综合指数法、模糊综合法等^[15-16]。上述方法各有优缺点,采用不同的方法对同一断面评价的结果不尽相同,不合适的方法还会造成评价结果偏离实际情况。目前,对多种水质评价方法进行对比分析并寻找适用条件的研究还不多。为了解思雅河大学城段的水质状况,今在其上下游布设10个采样点进行实测分析,并采用单因子指数法、综合指数法和模糊综合法3种方法对其水质进行评价,以期对思雅河水质保护与水环境管理提供科学依据和参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

思雅河位于贵州省贵安新区党武镇,地处花溪区政府驻地西南10.5 km, $E106^{\circ}33' \sim E106^{\circ}39'$, $N26^{\circ}19' \sim N26^{\circ}25'$,东南邻青岩镇,南接燕楼乡,西接平坝县林卡乡,北抵石板镇。境内岗峦起伏,属岩溶丘陵亚区,平均海拔1 200 m,属中亚热带湿润季风气候,常年平均气温14.4℃。冬无严寒,夏无酷暑,气候温暖湿润,雨热同期,降雨量充沛而季节降雨不均匀。研究区为思雅河大学城段,河长约6.8 km,从上游至下游依次经过贵阳中医学院、贵州轻工职业技术学院、贵州师范大学、贵州财经大学4所高校。共布设10个采样点(1—3代表上游,3—8代表中游,8—10代表下游,见图1),其中,采样点8和9处有排污口和污水汇入。

1.2 样品采集与测定

于2016年7月19日(夏季)、10月15日(秋季)、12月11日(冬季)和2017年3月8日(春季)分别采集思雅河大学城段水样,每个采样点取3个

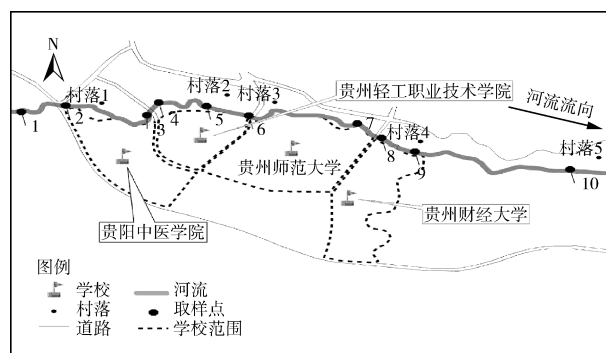


图1 采样点位分布

Fig. 1 Distribution of sampling points

样品,测定7个指标,共得到840个数据,均参与计算。用筒式采水器采集水样,采样深度为水面下0.5 m,每个断面采集3个水样各500 mL,取其测定均值。所有水样用磷酸酸化固定,温度(T)现场测定,其他指标如pH值、悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)和细菌总数(TPC)于实验室参照《水和废水监测分析方法》(第四版,增补版)测定^[17]。

1.3 水质评价方法

1.3.1 单因子指数法

单因子指数法将COD、 T 、 NH_3-N 、TP等污染因子单独评价^[18],方法简单、直观,计算较为简便。评价步骤是参照地表水环境质量标准,对参与评价的各项指标按类别划分,选择评价最差的指标所属的类别来代表整个水体水质类别^[19]。

1.3.2 综合指数法

综合指数法是对整体水质的定量描述,只要项目、标准、监测结果可靠,评价结果基本可以反映水体污染性质和程度^[20]。评价步骤是先进行各单项组分评价,划分组分所属质量类别^[21];然后参照文献[16]中的方法分别确定各单项组分的评分值 F_i 和 F 值,其中,凡是COD质量浓度超过40 mg/L,水质等级为劣V类, F_i 值按10分计算;最后,按照综合评分值 F 将水质级别划分为5类(优良、良好、较好、较差、极差)。

1.3.3 模糊综合法

模糊综合法首先确定被评价对象的因子集合评价集,再分别确定各因子权重及其隶属度矢量,获得模糊评价矩阵,最后将模糊评价矩阵与评价因子的权重矢量进行模糊运算并作归一化处理,得到模糊综合评价结果,具体方法参考文献[16]。

2 结果与分析

2.1 水质分析

思雅河大学城段水质测定结果见表 1。由表 1 可见,水体 pH 值变化范围为 7.59~8.13,平均值为 7.88,呈弱碱性。通常情况下,浮游植物通过光合作用消耗水中的 CO₂^[22]并释放 O₂,促使水体 pH 值升高。NH₃-N 和 TP 年均值分别为 0.80 mg/L 和 0.18 mg/L,均达到地表水Ⅲ类水质标准。COD 年均值偏高,说明水体受有机物污染较为严重。平均水温为 17.34℃,夏秋季水温比冬春季高,从上游至下游水温有上升趋势,总体波动不大。SS 测

定值范围为 1.25 mg/L~7.56 mg/L。

在 7 个指标中,TPC 测定值的标准偏差最大(72.42 CFU/mL),说明其数值波动最大;COD 的标准偏差为 25.07 mg/L,其数值波动次之;SS 的标准偏差为 1.93 mg/L,说明其数值变化也较为明显;其余 4 个指标的标准偏差较小,说明其数值变化比较稳定。此外,TPC、NH₃-N 测定值的 RSD 均超过 1,说明二者相较于其他指标变异程度更大;T 和 pH 值的 RSD 最小,均为 0.03,说明这两个指标的变异程度较小;其余 3 个指标(SS、COD、TP)的 RSD 分别为 0.73、0.41、0.78,变异程度比较明显。

表 1 水质测定结果

Table 1 Water quality test results

项目	T θ/℃	pH 值	SS ρ/(mg·L ⁻¹)	COD ρ/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N ρ/(mg·L ⁻¹)	TP ρ/(mg·L ⁻¹)	TPC /(CFU·mL ⁻¹)
采样点 1	16.95	7.59	3.13	26.68	0.50	0.10	4.82
2	17.35	7.81	2.40	35.97	0.34	0.06	5.94
3	17.73	8.13	1.75	33.56	0.20	0.06	5.42
4	17.93	8.03	1.25	48.99	0.19	0.08	12.50
5	17.10	8.03	1.41	55.16	0.31	0.10	10.78
6	17.52	7.99	1.69	70.54	0.26	0.11	8.71
7	16.35	8.10	1.56	64.96	0.29	0.21	6.30
8	17.08	7.83	3.98	85.60	1.96	0.35	236.84
9	17.85	7.61	7.56	93.20	3.14	0.49	53.43
10	17.50	7.67	1.62	95.24	0.86	0.24	5.29
均值	17.34	7.88	2.64	60.99	0.80	0.18	35.00
标准偏差	0.48	0.20	1.93	25.07	0.98	0.14	72.42
RSD ^①	0.03	0.03	0.73	0.41	1.22	0.78	2.07

①无量纲。

2.2 水质评价

思雅河大学城段水质单因子指数法评价结果

2.2.1 单因子指数法

见表 2。

表 2 单因子指数法评价结果

Table 2 Evaluation results of single factor assessment

采样点	水质等级				主要污染指标 ^①			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1	劣Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅰ类	Ⅴ类	COD(1.563)	COD(0.454)	NH ₃ -N	NH ₃ -N(0.649)
2	劣Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅱ类	Ⅳ类	COD(2.732)	COD(0.631)	COD	COD(0.020)
3	劣Ⅴ类	Ⅴ类	Ⅳ类	Ⅳ类	COD(1.424)	COD(0.750)	COD(0.181)	COD(0.357)
4	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	Ⅳ类	劣Ⅴ类	COD(2.373)	COD(1.122)	COD(0.335)	COD(1.968)
5	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(2.400)	COD(1.159)	COD(0.558)	COD(2.917)
6	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(3.920)	COD(1.222)	COD(0.678)	COD(4.289)
7	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(2.141)	COD(1.329)	TP(1.065)	COD(4.675)
8	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(5.760)	NH ₃ -N(2.627)	TP(1.232)	COD(4.471)
9	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(5.899)	COD(5.899)	COD(1.696)	COD(4.964)
10	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	劣Ⅴ类	COD(6.045)	COD(6.045)	COD(1.996)	COD(4.851)

①括号内数值为以地表水Ⅲ类水质标准为基准计算得到的超标倍数,未超标不表示。

由表2可见,该河段四季有7个采样点(2—6、9、10)的主要污染指标为COD,采样点7—10四季均为劣V类水质。春季全河段、夏季和冬季中游和下游均为劣V类水质,秋季采样点1和2水质较好,分别为Ⅰ类和Ⅱ类。10个采样点四季的主要污染指标87.5%为COD,7.5%为 $\text{NH}_3\text{-N}$,5%为TP,可见COD为该河段主要污染指标。采样点1秋冬两季的主要污染指标为 $\text{NH}_3\text{-N}$,可能是由于上游分布有农田,农业施肥导致水体污染,造成 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量较高。水质等级季节变化趋势表现为春季>夏季>冬季>秋季,秋季水质较好。总体而言,该河段上游有5个水质等级(Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅳ类、V类和劣V类),中游有3个水质等级(Ⅳ类、V类和劣V类),下游只有1个水质等级(劣V类),根据单因子指数法判定该河段属于劣V类水质。

2.2.2 综合指数法

思雅河大学城段水质综合指数法评价结果见表3。由表3可见,采样点1水质良好($0.80 \leq F < 2.50$),为Ⅱ类;采样点2和3水质较差($4.25 \leq F < 7.20$),为Ⅳ类;采样点4—10水质极差($F \geq 7.20$),为V类。

表3 综合指数法评价结果

Table 3 Evaluation results of comprehensive index method

采样点	F值	评价结果	采样点	F值	评价结果
1	2.43	Ⅱ(良好)	6	7.62	V(极差)
2	4.55	Ⅳ(较差)	7	7.80	V(极差)
3	4.55	Ⅳ(较差)	8	8.77	V(极差)
4	7.53	V(极差)	9	10.00	V(极差)
5	7.62	V(极差)	10	8.01	V(极差)

2.2.3 模糊综合法

思雅河大学城段水质模糊综合法评价结果表明,该河段主要水质等级上游为Ⅳ类,中游和下游为劣V类,上游水质好于中游和下游。通过对权重指标的分析,表明COD是影响水质的主要因素,采样点1—10的COD权重值分别为0.409、0.459、0.506、0.738、0.795、0.821、0.706、0.826、0.781、0.727,充分说明影响该河段水质的主要因子为COD。在10个采样点中,1和3水质较好,为Ⅳ类;2水质次之,为V类;4—10水质较差,为劣V类。模糊综合法评价结果表明,该河段70%的取样断面水质等级为劣V类。

2.3 水质评价结果对比分析

上述3种方法对水质评价的侧重点不同。单因子指数法计算最简单,能清晰明了地判断出主要污染因子及其具体分布位置。然而,该方法用最差的水质等级代表评价结果,根据春季所有采样点位的COD浓度均为劣V类,判定研究区河流水质从上游至下游均为劣V类,不能全面反映评价区域的水质状况。综合指数法通过F值对水质分级,而F值的计算方法只是简单的加权平均,未考虑不同污染物的权重及水质边界的模糊性,分级具有一定的主观性,会导致计算出的F值偏大,造成评价结果有偏差。模糊综合法通过建立隶属函数来解决水质边界的不确定性和模糊性问题,将定性的因素定量化,获得的权重与隶属度矩阵相乘得到最终的综合评价集,使得评价结果更加科学合理。

综合3种评价结果,模糊综合法的结果优于单因子指数法和综合指数法。研究区内河水主要为Ⅳ类和劣V类,水质总体较差。河流上游水质较好,是由于这些地区人类工程活动较弱,仅局部有农田分布。河流从采样点3之后流经大学城,高校人口密度大,村庄多,生活污水和工业废水的排放量增加,导致水质变差。特别是采样点8和9,在排污口附近,水质极差,为劣V类,评价结果符合实际情况。对贵阳市其他河流水库的研究^[23-25]表明,花溪河、南明河某些河段水质也为V类或劣V类,而思雅河水体较清澈,少有恶臭气味。分析其原因,一方面是此次研究采集水样的周期较短、频率较低,可能导致数据不够全面,平水期和枯水期的数据较多,水流量较小和水体流动性不大等原因导致季节性指标浓度偏高;另一方面,大学城目前聚集师生约15万人,区域人口约18万人,其产生的大量生活污水也对河流水质产生了较大影响。因此,尽管思雅河大学城段河流表观未呈黑色浑浊状态,但实际水体污染仍然存在,总体水质有待改善。

3 结论

(1) 思雅河大学城段从上游到下游,T、SS和pH值3个指标变化规律不明显,其他指标总体略呈现出上升趋势,其中COD增势最明显。有排污口和污水汇入的采样点8和9,除pH值和T外的各项指标测定值均高于其他点位。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和TP年均值达到地表水Ⅲ类水质标准,COD年均值超过V类水质标准。季节变化规律表明,COD和

TPC 春冬季测定值高于夏秋季, $\text{NH}_3\text{-N}$ 测定值秋季最低, TP 季节变化不明显, 而冬季测定值较其他季节更稳定。

(2) 水质评价结果对比分析表明, 单因子指数法虽然计算最简单, 但评价结果不够全面; 综合指数法分级有一定的主观性, 导致评价结果有偏差; 模糊综合法能解决水质边界的不确定性和模糊性问题, 将定性的因素定量化, 评价结果更加科学合理。

(3) 3种方法的评价结果表明, 思雅河大学城段水质总体较差, 主要污染指标为 COD, 影响其水质的主要原因是大学城的入驻使人口数量增多, 排污量增加。此外, 流域农村生活污水的直接排放和生活垃圾的堆弃, 以及建筑工地产生的建筑垃圾和未达标处理的生活污水排入水体, 也加剧了思雅河水环境的恶化。

[参考文献]

- [1] 汪嘉杨, 郭倩, 王卓. 岷沱江流域社会经济的水环境效应评估研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(4): 1564-1572.
- [2] 周侃, 樊杰, 刘汉初. 环渤海地区水污染物排放的时空格局及其驱动因素[J]. 地理科学进展, 2007, 36(2): 171-181.
- [3] 杨清可, 段学军, 王磊. 基于水环境约束分区的产业优化调整——以江苏省太湖流域为例[J]. 地理科学, 2016, 36(10): 1539-1545.
- [4] 党伟, 焦利民. 淮河流域上游水质污染特征及其综合评价[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 358-363.
- [5] 林海, 李阳, 李冰, 等. 北京市妫水河水质现状评价[J]. 环境监测管理, 2019, 31(2): 40-43.
- [6] 托合提姑丽·沙比尔. 喀什市吐曼河水质变化特征及污染控制对策[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2013.
- [7] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 阿克苏河-塔里木河水系水质污染状况及其可持续发展策略研究[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(2): 30-37.
- [8] 冯建国, 李桂花, 屈卉, 等. 窟野河(陕西段)水质变化原因分析[J]. 人民黄河, 2012, 34(11): 76-77.
- [9] 季方, 樊自立, 马英杰. 农田排水对塔里木河水水质盐化的影响研究[J]. 灌溉排水, 1998, 17(3): 2-3.
- [10] 曹琦, 陈兴鹏, 师满江. 基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1591-1599.
- [11] 夏品华, 林陶. 百花湖水库后生浮游动物群落结构时空分布特征及水质评价[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2018, 36(1): 45-50.
- [12] 陈穗玲, 李锦文, 崔明超, 等. 广州大学城某校园地表水“三氮”浓度的时间变化特征及自净状态分析[J]. 环境化学, 2013, 32(4): 704-705.
- [13] 李亚斌, 王海科, 钱会, 等. 宁夏彭阳水质监测断面的水质评价及预测[J]. 环境监测管理, 2018, 30(1): 36-40.
- [14] 高榕. 西安市沣河流域水质变化特征及污染控制对策研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2003.
- [15] 梁德华, 蒋火华. 河流水质综合评价方法的统一和改进[J]. 中国环境监测, 2002, 18(2): 63-66.
- [16] 李录娟, 邹胜章. 综合指数法和模糊综合法在地下水质量评价中的对比——以遵义市为例[J]. 中国岩溶, 2014, 33(1): 22-30.
- [17] 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版增补版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 李光, 李晓红, 叶海斌, 等. 威海市固山水库水质分析及富营养化评价[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2017, 47(12): 80-87.
- [19] 张丽慧. 五大连池的水动力水质数值模拟和富营养化评价研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [20] 赵前信. 四种水环境质量评价方法在六安市水库中的应用[J]. 环境工程, 2014, 32(3): 113-116.
- [21] 国家技术监督局. GB/T 14848—93 地下水质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [22] 孙瑞敏. 我国农村生活污水排水现状分析[J]. 能源与环境, 2010(5): 33-34.
- [23] 胡爽. 花溪河流域小泉支流水质现状分析及原因分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(28): 9881-9882.
- [24] 张耀, 杨永琼, 李晓燕, 等. 贵州红枫湖水质时空变化特征研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2018, 36(5): 24-29.
- [25] 顾唯雨, 张泽中, 商崇菊. 城市化对南明河水环境的影响[J]. 人民珠江, 2017, 38(7): 80-84.

本栏目编辑 谢咏梅 姚朝英

启 事

本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据-数字化期刊群、重庆维普中文科技期刊数据库, 凡被录用的稿件将同时在相关数据库产品中进行网络出版或提供信息服务, 其作者著作权使用费与本刊稿酬一并支付。如作者不同意将文章编入数据库, 请在来稿中注明, 本刊将做适当处理。