

# 快速城市化背景下的思雅河流域水环境分析

赵宗权<sup>1,2</sup>, 焦树林<sup>1,2\*</sup>, 曹玉平<sup>1,2</sup>, 张洁<sup>1,2</sup>, 莫跃爽<sup>1,2</sup>, 孙婷<sup>1,2</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:**通过对思雅河流域连续3年的水环境质量监测,结合遥感影像获得其土地利用类型变化,据此研究城市化对水环境的影响。结果表明:2012—2014年间思雅河流域自然、农业景观面积占比减少,而建设用地面积持续增加;研究期间除TDS年均值略微下降外,其余水质指标的年均值几乎均呈递增趋势,尤以TSS和COD增加最显著;TSS、COD、NH<sub>3</sub>-N和TP的相对标准偏差均>0.1,显著高于其余参数,说明其波动程度较大。主成分分析表明水环境变化最主要的影响因子为第一主成分(TSS、COD、NH<sub>3</sub>-N和TP)。贵安新区大学城建设活动加重了思雅河流域水体污染趋势。

**关键词:** 水环境变化;快速城市化;主成分分析;思雅河

中图分类号: X522; X832

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2020)02-0022-05

## Water Environment Analysis in the Siya River Basin under the Background of Rapid Urbanization

ZHAO Zong-quan<sup>1,2</sup>, JIAO Shu-lin<sup>1,2\*</sup>, CAO Yu-ping<sup>1,2</sup>, ZHANG Jie<sup>1,2</sup>, MO Yue-shuang<sup>1,2</sup>, SUN Ting<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang,

Guizhou 550025, China; 2. Key Laboratory of Remote Sensing Application on Mountain Resources and Environment in Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**Abstract:** By three consecutive years of water environment quality monitoring and the changes of land use type obtained from remote sensing images in the Siya River basin, the impact of urbanization on the water environment was studied. The results showed that the proportion of natural and agricultural landscape areas in the basin decreased from 2012 to 2014, while the construction land area continued to increase. Except for annual average TDS decreased slightly, the annual average of the remaining water quality indicators almost all increased during the study period, TSS and COD increased most notably. The relative standard deviations of TSS, COD, NH<sub>3</sub>-N and TP were all over 0.1, which were significantly higher than that of other parameters, indicating the large fluctuation. Principal component analysis showed that the first principal component (TSS, COD, NH<sub>3</sub>-N and TP) was the most important factor affecting the water environment. The construction of the university town in Gui'an New District had aggravated the water pollution in the Siya River basin.

**Key words:** Water environment change; Rapid urbanization; Principal component analysis; Siya River

城市化的发展给生活带来便利的同时也对环境产生了显著的负面影响,被认为是影响全球环境变化的主要因素之一<sup>[1]</sup>。Song等<sup>[2]</sup>通过对长三角平原流域城市化过程中下垫面和河道形态结构变化的研究,分析了快速城市化过程中水位的长期变化特征;Yoshikoshi等<sup>[3]</sup>研究城市发展过程对水环境的长期影响,结果表明城市规模和结构、城市化

阶段及自然环境等因素导致了3个城市的发展对

收稿日期:2018-12-22;修订日期:2019-12-26

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);贵州省科学技术基金资助项目(黔科合计省合[2012]7005号)

作者简介:赵宗权(1992—),男,安徽阜阳人,在读研究生,研究方向为水文水资源与GIS。

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

水环境具有不同影响;Brilly 等<sup>[4]</sup>通过监测城市化对 Glinscica 河流的影响,结果未发现水环境变化,水环境参数的变化更多是由河道内的生物化学过程所导致;Al-Kharabsheh 等<sup>[5]</sup>以塔菲拉市为例,研究了干旱期城市活动对水质恶化的影响。可见,快速城市化引发了一系列新的环境问题<sup>[6]</sup>。

城市化进程影响着区域水循环,引起水量失衡、水质恶化等问题<sup>[7-8]</sup>。城市化的快速发展伴随着土地利用类型的转变,而土地利用类型与水质之间具有相关性,由于土地利用结构不同及空间分布上存在差异,使土地利用对水质影响的程度不同,故根据土地利用的差异性去分析其对水质影响能尽量减少偏差<sup>[9-11]</sup>。然而,目前鲜有关于喀斯特地区在快速城市化过程中水环境变化的研究。今以思雅河流域为研究对象,分析快速城市化背景下河流水环境变化特征,明确水环境变化的驱动因素,以期水资源保护治理提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

思雅河位于贵州省贵安新区东部,属珠江流域、涟江干流的上游河段,由北向南流经青岩、惠水和三都后汇入蒙江,全长 13.42 km,流域面积 29.12 km<sup>2</sup>。研究区海拔约 1 200 m,处于亚热带湿润季风气候区,年均气温 14.9 °C,年均降水量 1 100 mm~1 220 mm,河流补给方式以降雨和地下水为主<sup>[12]</sup>。流域属于典型的喀斯特残丘地貌,主要以灰岩、白云质灰岩为主。流域内土壤类型复杂多样,植被资源较丰富,多以灌木为主,林木次之。

### 1.2 水环境数据获取

于 2012 年 5 月—2015 年 4 月对思雅河付家坝断面(见图 1)水质进行逐月监测。选取水温(T)、总悬浮物(TSS)、电导率(EC)、总溶解固体物(TDS)、pH 值、氧化还原电位(ORP)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)、总磷(TP)和氨氮(NH<sub>3</sub>-N)等参数,其中 T、pH 值、EC、TDS 和 ORP 等使用多参数便携式水质测试仪在现场测定,同时用 500 mL 聚乙烯瓶采集水样,酸化后保存,带回实验室,参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的方法测定 TSS、DO、COD、TP 和 NH<sub>3</sub>-N 等参数。

### 1.3 遥感数据及处理

收集研究区 Google Earth 影像及 Landsat 8 遥感影像(贵州省山地资源与环境遥感重点实验室

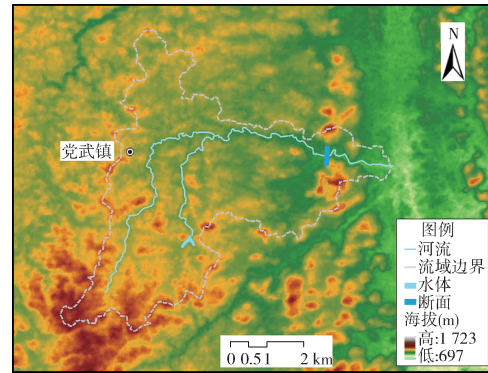


图 1 思雅河流域及付家坝断面

Fig. 1 The Siya River basin and the Fujiaba section

存档影像数据),首先校正遥感影像(先以研究区 1:2 000 的修建性规划图为基准校正 2017 年影像,再以此为基础校正余下影像),然后以思雅河流域边界裁剪得到所需影像。参照贵州省土地利用资料和文献(第二次全国土地调查土地分类国家标准)并结合实地调查对影像进行解译,将思雅河流域土地利用方式分 6 类进行统计。

### 1.4 数据分析

利用 ArcGIS 10.2 对遥感影像进行空间分析,得到 2012—2014 年各类土地利用类型的变化特征。使用 SPSS 作相关分析和主成分分析,在 Origin 中完成数据制图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土地利用类型变化特征

表 1 为 2012—2014 年思雅河流域各土地利用类型面积及其占比。由表 1 可知,思雅河流域土地利用类型变化主要体现在耕地、草地向其他土地利用类型的转移。2010 年之前流域内景观主要以自然和农业景观为主,由于贵安新区大学城的建设使其土地利用结构发生了变化。2012 年耕地面积占比减少 0.61%、草地减少 0.84%,建设用地和未利用地分别增加 0.1% 和 2.51%,而林地增加了 0.79%,土地利用类型只是轻微变化;2013 年土地利用类型变化剧烈,其中建设用地的面积占比增加了 10.10%,而耕地减少了 6.22%,其余变动不大;2014 年除建设用地增加 6.81%、水域不变外,其余土地利用类型面积占比都在减少。总的来说,2012—2014 年间思雅河流域自然、农业景观面积占比减少,而建设用地面积持续增加,这主要是由贵安新区大学城修建等一系列建设活动所致。

表1 2012—2014年思雅河流域各土地利用类型面积及其占比

Table 1 Area and proportion of each land use type in the Siya River basin from 2012 to 2014

土地利用类型	2012年		2013年		2014年	
	面积 $A/\text{km}^2$	占比/%	面积 $A/\text{km}^2$	占比/%	面积 $A/\text{km}^2$	占比/%
耕地	9.42	32.37	7.61	26.15	7.04	24.19
林地	6.64	22.82	5.75	19.76	5.56	19.11
草地	9.60	32.99	8.59	29.52	8.39	28.83
水域	0.23	0.79	0.23	0.79	0.23	0.79
建设用地	1.95	6.70	4.89	16.80	6.87	23.61
未利用地	1.26	4.33	2.03	6.98	1.01	3.47

## 2.2 水质参数变化特征

表2为2012—2015年思雅河流域水质参数统计。由表2可知,2012—2015年间除TDS年均值略微下降外,其余水质指标的年均值几乎均呈递增趋势,尤以TSS、COD增加最显著。pH值、EC和TDS的相对标准偏差均 $<0.01$ ,说明3年来其变动幅度较小。TSS、COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 和TP的相对标准偏差均 $>0.1$ ,显著高于其余参数,说明这4个参数波动程度较大。2013—2015年思雅河水体pH值高于8,均呈弱碱性,显著高于花溪河;而TDS年均值也高于花溪河水体约1.7倍左右<sup>[13]</sup>。

## 2.3 水环境变化特征分析

图2(a)—(h)为2012年5月—2015年4月思雅河付家坝断面各水质参数变化趋势。由图2可见,pH值整体上变动范围较小、均呈弱碱性,在夏季处于较高水平,这可能是由于水生植物的光合作用较强所致。TSS反映了水体透明度和流域产汇流受流域面上扰动的最终表现<sup>[14]</sup>。2012—2015年TSS增加趋势明显( $k=0.039, r=0.85$ ),最大值约为最小值的5.8倍,2014年6月后显著增加。这是因为2013—2014年建设用地显著增加,在建

设过程中产生的大量废弃土石及工程废料等随地表径流和地下管道流入思雅河,导致其TSS增加。

EC反映水体中离子的导电情况<sup>[15-16]</sup>,而TDS反映水体中溶解的固体物质含量。EC和TDS均呈现周期性波动,具有显著的季节变化特征,表现为雨季浓度低于旱季;且总体上EC( $k=0.298, r=0.106$ )和TDS( $k=-0.213, r=-0.101$ )增、减趋势不明显。雨季二者含量较低的原因:一是由于降水量大、径流量增加、水流速度快,稀释了河水溶质;二是由于师生假期离校,生活污水排放量减少。而旱季降水、径流显著减少,河水水位低且流速缓慢,物质在水中滞留时间增加,故EC和TDS含量较高。

DO( $k=0.01, r=0.14$ )和ORP( $k=0.48, r=0.31$ )增加趋势不显著,可季节变化明显。DO和ORP的变化主要与水生植物的光合/呼吸作用及有机质降解有关。一般夏季太阳辐射强,水生植物进行光合作用时释放氧气可使二者升高,可图2中DO和ORP在夏季却较其他季节值更低,这可能是由于夏季水流速度快、河水浑浊等限制了水生植物光合作用所致。研究期间,COD几乎呈线性增加趋势( $k=1.05, r=0.89$ )。2013年前COD属于V

表2 2012—2015年思雅河流域水质参数统计

Table 2 Statistic of water quality parameter of the Siya River basin from 2012 to 2015

指标	年均值			最大值	最小值	标准偏差	相对标准偏差 <sup>①</sup>
	2012年5月— 2013年4月	2013年5月— 2014年4月	2014年5月— 2015年4月				
$\theta(\text{T})/^\circ\text{C}$	16.8	17.0	18.0	26.1	9.1	0.52	0.030
$\rho(\text{TSS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.72	1.02	1.69	2.31	0.40	0.41	0.355
pH值	8.02	8.02	8.08	8.21	7.72	0.03	0.004
$\sigma(\text{EC})/(\text{mS}\cdot\text{m}^{-1})$	49.4	49.7	49.8	54.1	45.9	0.17	0.003
$\rho(\text{TDS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	342	337	338	379	307	2.16	0.006
$U(\text{ORP})/\text{mV}$	107	107	111	146	70	1.89	0.017
$\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	8.63	7.93	8.71	9.90	6.20	0.35	0.041
$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	38.5	59.5	64.7	67.4	27.2	11.33	0.208
$\rho(\text{NH}_3-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.40	0.47	0.68	0.90	0.31	0.12	0.230
$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.06	0.07	0.08	0.09	0.03	0.008	0.117

①无量纲。

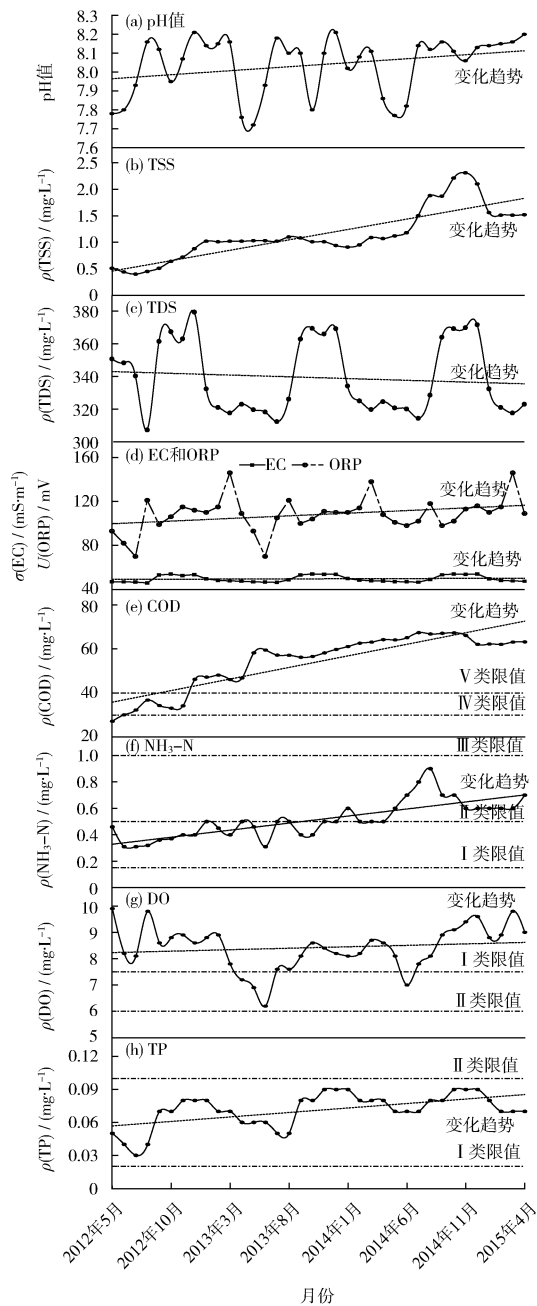


图 2 2012 年 5 月—2015 年 4 月思雅河付家坝断面各水质参数变化趋势

Fig. 2 Change trends of water quality parameters at Fujiaba Section in the Siya River from May 2012 to April 2015

类,2013 趋年后均高于 40 mg/L,属于劣V类,高于同区域内南明河上游的中曹司水厂取水口断面<sup>[17]</sup>。原因为:2013 年前大学城建设刚开始,河水中有有机物来源主要是水循环过程中所溶解、携带的一些有机成分,以及水生生物活动所分解、产生的有机物质,水体具有一定的自净能力<sup>[18]</sup>;2013 年后因大学城的建设活动导致下垫面显著改变,人口短时间内急

剧增加,大量有机物输入河水中导致 COD 升高。

生活污水中含有大量的含磷物质,TP 较高表明水体营养物质多,易引发水体富营养化<sup>[19]</sup>。思雅河水体中 TP 在 0.02 mg/L ~ 0.1 mg/L 之间,总体上属于 II 类水质,呈稳定增加 ( $k = 0.001, r = 0.56$ ),同时夏季浓度低于冬季。这是因为冬季降水少、河水流速慢,来自肥料、生活污水的有机物滞留时间增加,而夏季河水流速快相对稀释了 TP。 $\text{NH}_3 - \text{N}$  也呈增加趋势 ( $k = 0.01, r = 0.79$ ),2013 年前均为 II 类,2014 年降为 III 类,尤其是 2014 年下半年  $\text{NH}_3 - \text{N}$  出现峰值达 0.9 mg/L,约为最低值的 3 倍。这可能是由于此时大学城虽已处于运行期,但是排污管道系统和雨污分流措施并未完善,部分生活污水随径流进入河道;同时,人口骤增,产生的大量生活污水也未能得到完全处理。

#### 2.4 水质变化的主成分分析

采用主成分分析法对数据进行降维,以消除一部分数据冗余度<sup>[20]</sup>。结果显示,KMO 检验值为 0.608, Bartlett's 检验  $P$  值  $< 0.0001$ ,适合作主成分分析,并使用最大方差法对因子载荷矩阵进行旋转,结果见表 3。根据特征根  $> 1$  的原则选取 3 个主成分,其信息提取量累计达 77.912%。主成分 1 为 TSS、COD、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ ,表示水体的富营养化特征;主成分 2 为 EC、TDS,代表水体中溶质状况;主成分 3 为 T、pH 值、ORP、DO,主要表征水体氧化还原环境。通过主成分分析得出,水环境变化的主导因子为 TSS、COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP,可反映监测年份内水环境变化的主要特征。

#### 2.5 快速城市化对水环境变化的影响

通过以上论述发现,思雅河有污染加重趋势,

表 3 旋转后的因子载荷矩阵

Table 3 The factor loading matrix after rotation

指标	因子 1	因子 2	因子 3
T	-0.005	-0.335	-0.746
TSS	0.883	0.182	0.146
pH 值	0.233	0.057	0.704
EC	0.109	0.941	0.213
TDS	-0.106	0.971	0.018
ORP	0.210	-0.199	0.844
DO	-0.107	0.285	0.658
COD	0.937	-0.064	0.029
TP	0.588	0.577	0.385
$\text{NH}_3 - \text{H}$	0.889	-0.091	0.063
提取信息量/%	29.281	24.443	24.188
总提取信息量/%	29.281	53.724	77.912

这与罗靖等<sup>[20]</sup> 研究结果一致。2011年前思雅河流域主要为农耕地、林草地等自然景观,工业、生活污水对河水影响较小,水环境各项指标处于低水平的稳定时期。2012年后受大学城建设影响,流域内土地利用结构变化明显,耕地和林草地面积明显减少,转换为以建设用地、人工林地等人为要素主导的土地利用类型(见表1)。由于快速城市化,此时农业灌溉方式仍未得到根本改变,一些企业污水处理设施落后,甚至有造纸厂将污水直接排入河中<sup>[17]</sup>。城市化初期监管不力,排污措施并不完善。流域内2010年前主要为居民点生活污水和少量工厂排污;2010—2011年叠加了城建中的废弃物;2012年后又叠加了师生生活污染物及部分排污渗漏。

大学城建设使流域内人口增长剧烈,从2012年的四五千人到2013年的2万多人,再到2014年后达12万人之多。因此,生产废水和生活污水排放量逐年增长,成为主要污染源之一<sup>[18]</sup>。迅速增加的人口使单位面积上环境压力变大,增大了水环境压力。同时,快速城市化使流域内的地表景观多样性减少,城市景观均质化现象明显,地表不透水面积增多、径流总量增加及粗糙度降低,影响了产汇流机制。然而,此时大多数排水管道还是雨污混流,排水管网并未铺设完全,过快的城市化发展速度对应于落后的市政设施,仍存在工业及生活污水未经处理直接排入河流的问题,对河流造成污染。

### 3 结论

(1) 2012—2014年间思雅河流域自然、农业景观面积占比减少,而建设用地面积持续增加。

(2) 思雅河流域水体中除TDS外,其余指标随时间均有不同程度的增加。TSS、COD虽然年内季节变化不明显,但年际变化较大、增加趋势明显;TP、NH<sub>3</sub>-N、EC、TDS、ORP和DO年内季节变化显著,其夏季含量低于冬季。

(3) 快速城市化使思雅河水环境发生变化,主因是工业废水和生活污水的排放及城市建设过程中产生的大量工程性废弃物。因此,城市化过程中加强建筑垃圾管理及雨污分流系统的建设和运行管理是解决河流水环境质量变差的重要措施。

#### [参考文献]

[1] BRAUD I, BREIL P, THOLLET F, et al. Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized pe-

riurban catchment in France[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 485(4): 5-23.

- [2] SONG S, XU Y P, ZHANG J X, et al. The long-term water level dynamics during urbanization in plain catchment in Yangtze River Delta[J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 174: 93-102.
- [3] YOSHIKOSHI A, ADACHI I, TANIGUCHI T, et al. Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development[J]. *Science of the Total Environment*, 2009, 407(9): 3105-3111.
- [4] BRILLY M, RUSJAN S, VIDMAR A. Monitoring the impact of urbanisation on the Glinscica stream[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2006, 31(17): 1089-1096.
- [5] AL-KHARABSHEH A, TA'ANY R. Influence of urbanization on water quality deterioration during drought periods at South Jordan[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 53(4): 619-630.
- [6] 周海丽, 史培军, 徐小黎. 深圳城市化过程与水环境质量变化研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(2): 273-279.
- [7] 宋新山, 王朝生, 汪永辉. 我国城市化进程中的水资源环境问题[J]. *科技导报*, 2004, 22(2): 29-32.
- [8] 余兆武, 郭青海, 曾瑜哲, 等. 城镇化过程土地利用变化及效应研究进展[J]. *生态科学*, 2015, 34(6): 193-200.
- [9] 陈强, 朱慧敏, 何溶, 等. 基于地理加权回归模型评估土地利用对地表水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2015, 35(5): 1571-1580.
- [10] 翟家齐, 赵勇, 裴源生. 城市化对区域水循环的驱动机制分析[J]. *水利水电技术*, 2011, 42(11): 6-9.
- [11] 胡俊纳, 刘红玉, 郝敬峰. 快速城市化地区湿地水环境质量健康评价——以南京市仙林大学城为例[J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2010, 33(2): 115-119.
- [12] 李瑞, 邵玉兰, 王晨, 等. 旅游地社会-生态系统恢复力测度及优化对策——以贵阳市花溪区为例[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(5): 103-108.
- [13] 姚福荣, 何可群. 贵阳市花溪河的水质调查分析[J]. *安顺师范高等专科学校学报*, 2005, 7(1): 90-91.
- [14] 万玲, 洪军, 谷静丽. 武汉市江汉区湖泊的水质分析[J]. *环境科学与技术*, 2013, 36(12M): 424-427.
- [15] 李秋华. 贵州高原水库富营养化特征及评价[J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(2): 1-8.
- [16] 季定民, 张勃, 黄淑玲, 等. 宿州市沱河段水质时间变化及影响因素研究[J]. *水土保持通报*, 2013, 33(6): 308-312.
- [17] 顾唯甬. 南明河对城市化响应及水面率研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.
- [18] 付斌, 刘宏斌, 胡万里, 等. 凤羽河小流域水质氮磷特征及影响因素分析[J]. *环境监测管理和技术*, 2016, 28(5): 34-38.
- [19] 付尧, 贾克力, 梁丽娥, 等. 呼伦湖不同季节水质现状评价及主要影响因子分析[J]. *环境监测管理和技术*, 2017, 29(1): 25-29.
- [20] 罗靖, 张宏胜. 从经济学角度谈水资源可持续利用——以贵阳市花溪区为例[J]. *中国集体经济*, 2018(32): 53-54.

本栏目编辑 谢咏梅