

## 沮漳河流域水质的时空变化与评价

高伊培<sup>1</sup>, 黄永文<sup>1,2</sup>, 陈芳清<sup>1</sup>, 刘杨赞<sup>2</sup>

(1. 三峡大学, 湖北省三峡地区生态保护与治理国际合作研究中心, 湖北宜昌 443002; 2. 湖北正江环保科技有限公司, 湖北宜昌 443002)

**摘要** [目的] 科学研究与评价沮漳河流域污染物排放与水质的时空变化规律。[方法] 沿沮漳河流向选取 6 个断面, 于 2015—2016 年分别进行取样与样品分析, 并分别采用单因子污染指数法和综合污染指数法对水质进行分析与评价。[结果] 沮漳河流域主要污染物放在在时间分布上没有显著差异, 但在空间分布上呈显著差异, 其中下游的 TN 和  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  显著高于中上游。单因子污染指数评价表明, 沮漳河主要污染物为 TN, 其次是 TP。综合污染指数评价结果表明, 沮漳河宜昌河段水质整体较好, 但荆州河口断面水质污染严重, 水质评价结果达到 IV 类, 其他断面水质则符合 III 类。[结论] 沮漳河流域的水质呈现枯水期劣于丰水期和平水期、下游地区劣于上游地区的特征。

**关键词** 污染物; 水质; 时空变化; 环境评价; 沮漳河流域

中图分类号 X 824 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)09-0079-04

doi: 10. 3969/j. issn. 0517-6611. 2019. 09. 023



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Spatio-temporal Variation and Evaluation of Water Quality of Juzhang River Area

GAO Yi-pei<sup>1</sup>, HUANG Yong-wen<sup>1,2</sup>, CHEN Fang-qing<sup>1</sup> et al (1. Hubei International Scientific and Technological Cooperation Center of Ecological Protection and Management in the Three Gorges Area, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002; 2. Hubei Zhengjiang Environmental Science & Technology Co., Ltd., Yichang, Hubei 443002)

**Abstract** [Objective] The research aimed to investigate and evaluate the spatio-temporal variation of pollutants and water quality in Juzhang River area. [Method] Six river sections were set up along the river, and water samples were collected and tested from 2015 to 2016. Methods of the single factor pollution index and the comprehensive pollution index were employed to evaluate the water quality. [Result] The difference of monitoring pollutant distribution was significant among different sections, but not significant among times. The assessment of the single factor pollution index indicated that total nitrogen ranked the major pollutant of the river, following by total phosphorus. The assessment of the comprehensive pollution index suggested that the water quality of the total area kept good level. However, water pollution was serious at Jingzhou section (IV level of water quality standard). [Conclusion] The water quality in low water period was worse than that in high water period, so was worse at downstream than that at upstream.

**Key words** Pollutants; Water quality; Spatial-temporal variation; Environmental evaluation; Juzhang River area

河流是陆地可利用淡水资源的主要组成部分。近年来, 随着我国工业化与农业集约化进程, 全国范围内众多河流遭到不同程度的污染。据报道, 我国有 50% 的河道受到污染<sup>[1-2]</sup>。加强河流污染的监测与治理对保障人民的生命安全和促进社会与经济的可持续发展具有重要意义。河流水质的综合评价是水环境治理的重要基础性工作。通过对水质进行动态监测, 并对监测数据开展客观科学的分析与评价, 能揭示水质的主要污染因子及水质的时空变化规律, 为河流污染的治理提供客观的依据<sup>[3-5]</sup>。目前, 最常用河流水质的评价方法包括单因子指数评价法、综合指数评价法等<sup>[6-8]</sup>。其中单因子指数评价法是将评价因子与评价标准进行比较, 确定各个评价因子的水质类别, 在所有项目的水质类别中选取水质最差类别作为水体的水质类别, 该方法可确定水体中的主要污染因子, 是目前使用最多的水质评价法<sup>[9]</sup>; 而综合污染指数评价法是将各项指标实际值分别除以各项指标的评价标准值, 得出各项指标的评价指数, 再对各项指标评价指数进行加权算术平均, 得出综合评价值<sup>[10]</sup>。综合污染指数评价法能综合反映出河流的水污染状态, 有利于比较各监测断面之间的污染程度的差异, 得到较为广泛的应用。Vega

等<sup>[11]</sup>、Sundaray<sup>[12]</sup> 和 Han 等<sup>[13]</sup> 分别用该方法对西班牙 Pisuerga 河、印度 Brahmani 河、韩国 Nakdong 河的水质时空变化进行了分析与评价。龚清莲等<sup>[14]</sup> 和常惠丽等<sup>[15]</sup> 也利用该方案分别对长江宜宾段和浊漳河流域水质的时空变化特征进行了分析与评价。

沮漳河为长江中游北岸一条支流, 该河流主要流经湖北省宜昌市的远安县、当阳市、枝江市以及荆州市部分地区。沮漳河流域土壤肥沃、资源丰富, 在宜昌市社会经济发展中具有重要的战略地位。该流域总面积约 413 831  $\text{hm}^2$ , 总人口 77.26 万人(其中镇区人口 19.82 万人), 耕地面积 73 141  $\text{hm}^2$ , 粮食总产量 631 139 t/a, 流域沿线乡镇地区生产总值 717 365 万元, 占全市地区生产总值(1 547.32 亿元)的 4.64%, 农民人均纯收入 7 389 元。沮漳河水质事关远安县、当阳市以及枝江市的饮用水安全以及农业经济的稳定发展。近年来, 随着社会经济的迅猛发展, 沮漳河流域承载的环境压力日益增大<sup>[16]</sup>。客观了解沮漳河的水质及其变化对该流域的水环境管理显得尤为重要。黄永文等<sup>[17]</sup> 对该流域当阳段的水环境状况进行了初步报道, 但是关于该流域水体的总体情况目前仍缺乏系统的分析与评价。笔者在 2015 年 12 月—2016 年 12 月对沮漳河宜昌河段的 6 个监测断面进行表层水样的采集与分析, 采用单因子指数评价法和综合污染指数对水质类别进行评价, 以识别该河流的主要污染因子, 并对水质的时空变化进行分析与评价, 以期对沮漳河流域的水

**基金项目** 中国科协创新驱动助力工程项目(ZLGC201801)。

**作者简介** 高伊培(1990—), 女, 湖北鄂州人, 硕士研究生, 研究方向: 水环境管理与评价。\* 通信作者, 高级工程师, 硕士, 硕士生导师, 从事环境评价研究。

**收稿日期** 2018-12-08

污染防治提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 流域环境概况及采样断面设置** 沮漳河在宜昌市境内河长 221 km, 集水面积 3 480 km<sup>2</sup>, 占该河集水面积的 47.4%, 占全市面积的 16.3%, 是全市仅次于清江的第二大河流<sup>[17]</sup>。流域属亚热带季风气候, 雨量充沛。年平均降雨量为 1 050 mm 左右, 四季雨量分布不均, 多集中在夏季, 其中 4—10 月多年平均降雨量占全年的 88.3%。

该研究共设置了 6 个采样点, 各采样点自上游支流至下游干流分布于沮河(马渡河断面、铁路大桥断面)、漳河(白石港断面、清溪桥断面)、沮漳河(两河口断面、荆州河口断面), 采样点的分布与该流域省控监测断面保持一致(图 1)。

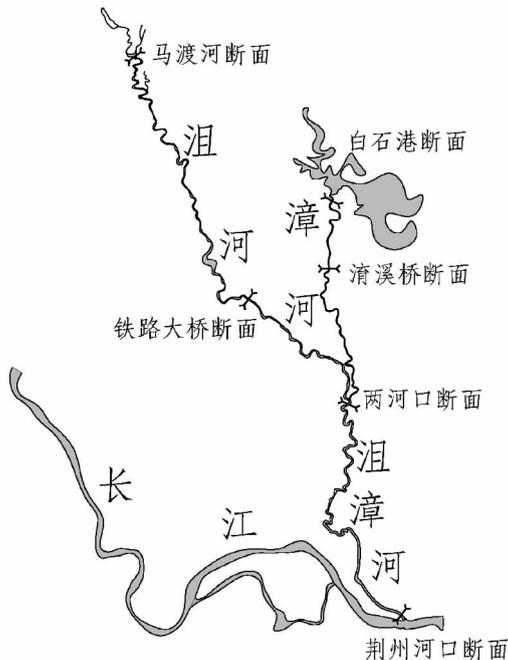


图 1 沮漳河流域样品采样点分布

Fig. 1 Distribution of sample sampling point in Juzhang River area

**1.2 水样采集与分析** 分别于 2015 年 12 月(枯水期)、2016 年 3 月(平水期)、2016 年 6 月(丰水期)、2016 年 9 月(丰水期)、2016 年 12 月(枯水期)在沮漳河流域宜昌河段所设置的 6 个断面各采样 1 次。用柱状采水器采集各断面表层水(深度为 50 cm)500 mL, 用聚乙烯样品瓶密封, 并按照《水质样品的保存和管理技术规定》(HJ 493—2009)要求保存, 带回实验室后进行分析检测。主要检测指标包括高锰酸盐指数、化学需氧量、总磷、总氮和砷的含量, 各指标参照《水和废水监测分析方法》(第四版)<sup>[18]</sup>进行测定(表 1)。

**1.3 数据处理与分析** 分别以样品取样的断面和时间作为自变量, 以样品所测水质指标为因变量进行单因子方差分析, 揭示河流污染物排放的时空变化特征。然后采用单因子指数评价法, 对比各水质测定值和评价标准值, 判断水体的主要污染指标。再以各指标的测定值除以评价标准值, 得出单因子污染指数, 并计算出综合污染指数, 评价水体的综合水质类别<sup>[19-20]</sup>。水质评价的标准参照《地表水环境质量标准》

(GB 3838—2002)<sup>[21]</sup>中Ⅲ类水体。相应的水质分类标准:  $P \leq 0.422$ , I 类水体;  $0.422 < P \leq 0.653$ , II 类水体;  $0.653 < P \leq 1.000$ , III 类水体;  $1.000 < P \leq 1.611$ , IV 类水体;  $1.611 < P \leq 2.083$ , V 类水体。

表 1 水质参数及其测定方法与标准值

Table 1 Water quality parameters and their determination methods and standard values

水质指标 Water quality index	分析方法 Analytical method	Ⅲ类水体标准值 Class III water standard value mg/L
高锰酸盐指数 COD <sub>Mn</sub>	酸性法	6
化学需氧量 COD <sub>Cr</sub>	重铬酸钾法	20
总磷 TP	钼酸铵分光光度法	0.2
总氮 TN	紫外分光光度法	1
氨氮 NH <sub>3</sub> -N	纳氏试剂比色法	1.0
砷 As	原子荧光光度法	0.05

单因子污染指数的计算方法:

$$P_i = C_i / CO_i \quad (1)$$

式中,  $C_i$  为评价因子  $i$  的实测值,  $CO_i$  为评价因子  $i$  的Ⅲ类水体标准值。

综合污染指数的计算方法:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

数据处理中的方差分析采用 SPSS 13.0 软件进行, 单因子污染指数评价和综合污染指数评价采用 Excel 2010 软件进行, 图采用 AutoCAD 2010 和 Origin 10.0 进行制作。

## 2 结果与分析

**2.1 河流主要污染物的时空变化** 从表 2 可看出, 沮漳河流域 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 等 4 类污染物的排放量在空间分布有显著差异 ( $Sig. < 0.05$ ), 而 COD<sub>Mn</sub>、As 在空间分布上没有显著差异 ( $Sig. > 0.05$ )。其中 COD<sub>Cr</sub> 为 8.90~25.60 mg/L, 荆州河口断面 COD<sub>Cr</sub> 污染物浓度显著高于铁路大桥、马渡河、白石港、清溪桥和两河口等 5 个断面; TP 为 0.03~0.28 mg/L, 马渡河和荆州河口断面 TP 浓度显著高于铁路大桥、白石港、清溪桥和两河口等断面; TN 的浓度为 1.05~2.30 mg/L, 荆州河口断面 TN 浓度显著高于铁路大桥、马渡河、白石港、清溪桥、两河口等断面; NH<sub>3</sub>-N 的浓度为 0.23~0.82 mg/L, 白石港和两河口断面 NH<sub>3</sub>-N 的浓度显著高于铁路大桥、马渡河、荆州河口等断面。总体上河流下游的污染物高于上游, 沮河的高于漳河。

沮漳河流域所有污染物的浓度在时间上虽然有所变化, 但是其差异没有达到显著水平 ( $Sig. > 0.05$ ) (表 3)。河流的 COD<sub>Cr</sub>、COD<sub>Mn</sub>、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 和 As 分别为 2.30~4.14、8.30~15.28、0.04~0.19、1.10~1.87、0.30~0.64 和 0.01~0.04 mg/L。

**2.2 河流污染物的单因子分析** 沮漳河流域宜昌段所有监测断面的 pH 均在 6~9, 符合我国地表水环境质量标准中 I 类水体的标准; COD<sub>Mn</sub> 的超标率为 7%; COD<sub>Cr</sub> 的超标率为 10%, 以荆州河口断面为最高; TP 超标率为 23%, 以马渡河和荆州河口断面最高; TN 超标率为 90%, NH<sub>3</sub>-N 超标率为

13%,均以白石港和两河口断面为较高;As 则未超标。因此,该流域污染最严重的监测因子为 TN。各监测断面检测指标的单因子污染指数分析显示(表 4),TN 单因子污染指数为 0.723~4.350,均值为 1.472,属Ⅳ类水体,其中 TN 的最高浓度值出现在荆州河口断面,是Ⅲ类标准值的 4.3 倍,可见 TN

超标最为严重的监测断面是荆州河口。整个流域监测因子的污染排序为  $TN > TP > NH_3-N > COD_{Cr} > COD_{Mn} > As$ 。

**2.3 河流水质的综合评价** 综合指数分析显示(表 4),2015—2016 年沮漳河流域各监测断面的综合污染指数的平均值为 0.633,整个流域水质在时间和空间序列上呈现较大

表 2 不同断面主要污染物浓度的变化

Table 2 Changes of major pollutants concentration in different sections

mg/L

监测断面 Monitoring section	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N	As
铁路大桥 Railway bridge	2.249±0.509 a	9.936±0.787 a	0.109±0.034 ab	1.430±0.034 a	0.263±0.052 a	0.004±0.000 a
马渡河 Madu River	2.958±0.094 a	8.910±0.371 a	0.279±0.090 c	1.053±0.112 a	0.233±0.034 a	0.006±0.001 a
白石港 Baishi Harbor	4.300±1.785 a	9.860±0.542 a	0.051±0.022 a	1.082±0.089 a	0.818±0.247 b	0.004±0.000 a
涓溪桥 Tunxi Bridge	2.740±0.143 a	9.314±0.757 a	0.022±0.005 a	1.450±0.068 a	0.380±0.039 ab	0.004±0.000 a
两河口 Lianghekou	3.092±0.311 a	8.926±0.657 a	0.039±0.007 a	1.534±0.097 a	0.819±0.294 b	0.011±0.007 a
荆州河口 Jingzhou Estuary	4.080±1.441 a	25.540±6.405 b	0.236±0.054 bc	2.280±0.525 b	0.276±0.026 a	0.002±0.001 a

注:同列不同小写字母表示差异显著水平( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

表 3 不同时间主要污染物浓度的变化

Table 3 Changes of major pollutants concentration at different times

mg/L

监测时间 Monitoring time	COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N	As
2015-12	2.668±0.149 a	14.225±3.166 a	0.111±0.063 a	1.507±0.091 a	0.309±0.055 a	0.010±0.006 a
2016-03	4.132±1.136 a	15.272±6.526 a	0.045±0.011 a	1.428±0.123 a	0.424±0.057 a	0.004±0.000 a
2016-06	2.967±0.323 a	8.350±0.481 a	0.140±0.055 a	1.193±0.113 a	0.550±0.260 a	0.004±0.000 a
2016-09	2.303±0.422 a	11.700±1.900 a	0.134±0.066 a	1.367±0.118 a	0.639±0.238 a	0.004±0.001 a
2016-12	4.113±1.460 a	10.858±1.608 a	0.185±0.071 a	1.864±0.522 a	0.403±0.151 a	0.004±0.001 a

注:同列不同小写字母表示差异显著水平( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ )

表 4 水质单因子( $P_i$ )及综合污染指数( $P$ )分析Table 4 Analysis of water quality single factor ( $P_i$ ) and comprehensive pollution index ( $P$ )

时间 Time	断面 Section	$P_i$						$P$	类别 Category
		COD <sub>Mn</sub>	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N	As		
2015-12	铁路大桥	0.508	0.643	0.475	1.560	0.280	0.080	0.591	Ⅱ
	马渡河	0.522	0.483	0.410	1.350	0.190	0.140	0.516	Ⅱ
	白石港	0.450	0.580	0.100	1.220	0.424	0.080	0.476	Ⅱ
	涓溪桥	0.417	0.523	0.100	1.460	0.234	0.080	0.469	Ⅱ
	两河口	0.405	0.545	0.150	1.580	0.520	0.800	0.667	Ⅱ
	荆州河口	0.367	1.495	2.100	1.870	0.204	0.003	1.006	Ⅳ
	平均	0.445	0.711	0.556	1.507	0.309	0.197	0.621	Ⅱ
2016-03	铁路大桥	0.488	0.447	0.235	1.380	0.330	0.080	0.493	Ⅱ
	马渡河	0.497	0.420	0.210	1.195	0.368	0.080	0.462	Ⅱ
	白石港	0.458	0.450	0.040	1.133	0.378	0.080	0.423	Ⅱ
	涓溪桥	0.517	0.434	0.135	1.409	0.419	0.080	0.499	Ⅱ
	两河口	0.538	0.437	0.265	1.470	0.700	0.080	0.582	Ⅱ
	荆州河口	1.633	2.395	0.450	1.980	0.346	0.058	1.144	Ⅳ
	平均	0.689	0.764	0.223	1.428	0.424	0.076	0.600	Ⅱ
2016-06	铁路大桥	0.433	0.415	0.750	1.385	0.068	0.080	0.522	Ⅲ
	马渡河	0.483	0.390	1.885	0.723	0.202	0.080	0.627	Ⅲ
	白石港	0.300	0.435	0.150	1.020	0.520	0.080	0.418	Ⅱ
	涓溪桥	0.500	0.335	0.150	1.220	0.392	0.080	0.446	Ⅱ
	两河口	0.700	0.415	0.300	1.352	1.810	0.080	0.776	Ⅲ
	荆州河口	0.550	0.515	0.950	1.460	0.305	0.040	0.637	Ⅱ
	平均	0.494	0.418	0.698	1.193	0.550	0.073	0.571	Ⅱ
2016-09	铁路大桥	0.044	0.505	0.165	1.396	0.273	0.080	0.411	Ⅲ
	马渡河	0.525	0.448	2.130	0.878	0.193	0.140	0.719	Ⅲ
	白石港	0.475	0.470	0.325	1.268	1.650	0.080	0.711	Ⅲ
	涓溪桥	0.392	0.548	0.150	1.540	0.470	0.080	0.530	Ⅲ
	两河口	0.433	0.485	0.150	1.380	1.020	0.080	0.591	Ⅱ
	荆州河口	0.433	1.055	1.085	1.740	0.228	0.020	0.760	Ⅱ
	平均	0.384	0.585	0.668	1.367	0.639	0.080	0.620	Ⅱ
2016-12	铁路大桥	0.400	0.475	1.090	1.430	0.366	0.080	0.640	Ⅱ
	马渡河	0.438	0.488	2.345	1.121	0.211	0.140	0.790	Ⅲ
	白石港	1.900	0.530	0.650	0.770	1.116	0.080	0.841	Ⅲ
	涓溪桥	0.458	0.490	0.025	1.620	0.384	0.080	0.510	Ⅱ
	两河口	0.500	0.350	0.115	1.890	0.046	0.080	0.497	Ⅱ
	荆州河口	0.417	0.925	1.320	4.350	0.296	0.044	1.225	Ⅳ
	平均	0.686	0.543	0.924	1.864	0.403	0.084	0.751	Ⅲ

的变化(图2)。从空间上看,监测断面平均综合污染指数大小排序为荆州河口(0.954) > 马渡河(0.623) > 两河口(0.622) > 白石港(0.574) > 铁路大桥(0.531) > 清溪桥(0.491)。6个水质监测断面中,荆州河口的水质最差。水质污染状况在空间分布上呈现沮漳河>沮河>漳河的规律,流域污染程度沿河流的走向呈变重趋势,表现出下游高于上游的特征。这主要是由于上游农业区的污染较轻,而中下游分布有城镇及工业园区。同时由于河流的自净能力有限,上游所

排放污染物的累积,使得下游污染情况加重。现场调查资料显示,沮漳河流域沿线19个乡镇中生活废水源排放至沮河的有11个,排放至漳河的有3个,因此沮河水体的污染情况比漳河严重。

从时间分布上看,平均综合污染指数在丰水期最低,而在枯水期最高,水质污染状况呈现枯水期高于丰水期和平水期的特征。这是由于河流在丰水期或平水期水流量大,有效降低了水体污染物的浓度,一定程度降低了污染程度。

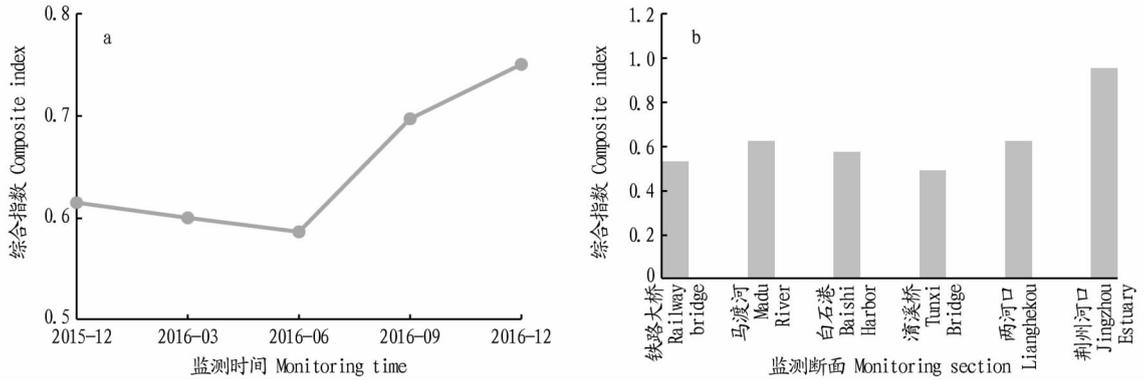


图2 沮漳河流域综合污染指数的时间(a)和空间(b)变化

Fig. 2 Temporal (a) and spatial (b) changes of the comprehensive pollution index in Juzhang River Basin

### 3 结论

(1) 沮漳河流域主要污染物的排放量在时间分布上均没有显著差异,但在空间分布上  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$  等4类污染物的排放量具有显著差异,其中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  污染物以荆州河口断面为最高,TP 以马渡河和荆州河口断面较高,TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  均以白石港和两河口断面为较高。

(2) 沮漳河流域大部分监测指标的单因子指数最低值均出现在丰水期或平水期,而最高值则出现在枯水期。河流的主要污染因子为 TN,其中 TN 超标最为严重的监测断面是荆州河口。

(3) 综合污染指数评价显示,沮漳河荆州河口断面水质最差,属于国家地表水环境质量的IV类水体。其他断面水质较好,属国家地表水环境质量的II或III类标准,达到了《湖北省水污染防治行动计划工作方案》(鄂政发[2016]3号)中对沮漳河宜昌市控制单元的水质目标要求。水质污染状况呈现枯水期高于丰水期和平水期、下游高于上游的特征,这主要与不同河段社会经济发展与污染物的排放状况有关。

### 参考文献

[1] 李长兴. 城市河流污染治理的辨证思考[J]. 中国农村水利水电, 2005(11): 40-42.  
 [2] 何淑英, 李继香, 徐亚同. 污染河流的治理技术研究进展[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2008, 36(2): 75-78.  
 [3] KOLOVOS A, CHRISTAKOS G, SERRE M L, et al. Computational Bayesian maximum entropy solution of a stochastic advection-reaction equation in the light of site-specific information[J]. Water resources research, 2002, 38(12): 54-1-54-17.  
 [4] 佟玲玲. 河流综合水质评价方法比较研究[J]. 黑龙江科技信息, 2016(15): 113.

[5] 朱媛媛, 田进军, 李红亮, 等. 丹江口水库水质评价及水污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(1): 139-147.  
 [6] 杨帅, 孙力平, 钟远. 津河水质现状分析与富营养化评价[J]. 生态科学, 2015, 34(5): 105-110.  
 [7] 荆红卫, 张志刚, 郭婧. 北京北运河水系水质污染特征及污染源分析[J]. 中国环境科学, 2013, 33(2): 319-327.  
 [8] 富天乙, 邹志红, 王晓静. 基于多元统计和水质标识指数的辽阳太子河水质评价研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(2): 473-480.  
 [9] 王维, 纪枚, 苏亚楠. 水质评价研究进展及水质评价方法综述[J]. 科技情报开发与经济, 2012, 22(13): 129-131.  
 [10] 崔雪梅, 赵盼盼, 章爱群. 4种河流水质评价方法的比较研究: 以槐荫河为例[J]. 节水灌溉, 2015(5): 46-48, 51.  
 [11] VEGA M, PARDO R, BARRADO E, et al. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis[J]. Water research, 1998, 32(12): 3581-3592.  
 [12] SUNDARAY S K. Application of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: A case study: Brahmani-Koel River (India) [J]. Environmental monitoring and assessment, 2010, 164(1/2/3/4): 297-310.  
 [13] HAN S, KIN E, KIM S. The water quality management in the Nakdong River watershed using multivariate statistical techniques[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2009, 13(2): 97-105.  
 [14] 龚清莲, 刘颖, 汤冰冰. 长江宜宾段水质时空分布特性分析[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(3): 111-116.  
 [15] 常惠丽, 来晋斌, 岳秀萍, 等. 油漳河流域水质时空变化特征[J]. 太原理工大学学报, 2014, 45(2): 265-269.  
 [16] 陈崇德, 方修银, 尚元, 等. 沮漳河流域水库群联合调度初探[J]. 中国防汛抗旱, 2008, 18(6): 47-50.  
 [17] 黄永文, 陈安, 平川, 等. 宜昌市沮漳河流域当阳段水环境现状调查与评价[J]. 环境保护与循环经济, 2013, 33(8): 48-51.  
 [18] 国家环境保护总局. 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: 200-364.  
 [19] 王小娇, 胡国成, 张丽娟, 等. 广西刁江流域主要河流水质评价[J]. 生态科学, 2016, 35(6): 128-135.  
 [20] 刘璇, 郑丙辉, 付青, 等. 水污染指数法在河流水质评价中的应用研究[J]. 中国环境监测, 2013, 29(3): 49-55.  
 [21] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 4-60