

渭河干流陕西段综合治理前后的水质变化与趋势

胡德秀, 李立, 张艳, 熊江龙

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: [目的] 讨论渭河干流陕西段综合整治项目启动以来河道水质的变化趋势, 检验整治工程的治理成效, 为后续河道的污染防治提供一定技术支持。[方法] 基于 2010—2016 年渭河干流陕西段主要监测断面的水质数据进行水质综合评价, 应用 Mann-Kendall 检验法阐述水质变化趋势, 运用重标极差分析法(R/S 分析法)查明水质的未来变化趋势。[结果] 2016 年渭河干流陕西段河道水污染已由 2010 年的重度污染转为轻度污染, 劣 V 类水质断面比例减少了 58.8%, IV—V 类断面比例增加了 55.5%, I—III 类断面占比保持平稳; 宝鸡市、咸阳市、西安市和渭南市 4 个出境断面枯水期化学需氧量(COD)、NH₃-N 浓度普遍高于丰水期, 治理后西安市出境断面污染削减最为显著, 但是西安市出境断面仍然是 4 个断面中污染最为严重的断面; 4 个出境断面 NH₃-N 浓度均呈现高度显著下降趋势且未来持续性较强; 咸阳、西安、渭南市出境断面 COD 浓度呈显著下降趋势, 但是未来持续性较弱, 宝鸡市出境 COD 浓度呈不显著上升趋势且会延续。[结论] 综合治理后, 河道污染程度明显减轻, 水质变化明显, 但部分断面污染物浓度有上升趋势, 需引起特别关注。

关键词: 渭河干流陕西段; 水质; Mann-Kendall 检验法; R/S 分析法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)05-0091-06

中图分类号: X824

文献参数: 胡德秀, 李立, 张艳, 等. 渭河干流陕西段综合治理前后的水质变化与趋势[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 91-96. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.015. Hu Dexiu, Li Li, Zhang Yan, et al. Water quality change before and after comprehensive treatment in Shaanxi section of Weihe main stream [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 91-96.

Water Quality Change Before and After Comprehensive Treatment in Shaanxi Section of Weihe Main Stream

HU Dexiu, LI Li, ZHANG Yan, XIONG Jianglong

(State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area,
Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: [Objective] To explore the trend of water quality since the start of the comprehensive regulation project in Shaanxi section of the main stream of Weihe River, in order to check the effectiveness of regulation works and provide technical support for subsequent river pollution prevention and control. [Methods] Based on the water quality data of the main monitoring points in Shaanxi section of the Weihe River main stream during 2010—2016, the temporal and spatial variation characteristics of water quality were analyzed, the trend of water quality was expounded by using Mann-Kendall test, and the future trend of water quality was identified by using R/S analytical method. [Results] From 2010 to 2016, the water pollution had changed from severe pollution to mild pollution. The chemical oxygen demand(COD) and NH₃-N concentrations of 4 exit monitoring points in Baoji, Xianyang, Xi'an and Weinan cities during the dry season were generally higher than those in the flood season. After the treatment, the decrease of the pollution in Xi'an City exit section was the most significant, but still was the most polluted section. The concentration of NH₃-N in Baoji, Xianyang, Xi'an and Weinan cities showed a significant downward trend, and this trend would continue. The concentration of COD in Xianyang, Xi'an and Weinan City showed a significant downward trend, but the future sustainability was weak. The increasing trend of COD concentration in Baoji City was not significant.

收稿日期: 2018-08-13

修回日期: 2018-09-02

资助项目: 省部共建西北旱区生态水利工程国家重点实验室基金“引汉济渭工程供水风险分析研究”(2016ZZKT-8)

第一作者: 胡德秀(1973—), 女(汉族), 重庆市涪陵人, 博士, 副教授, 主要从事水工程风险与水污染控制方面的研究。E-mail: hudexiu@126.com。

[Conclusion] After the comprehensive treatment, the pollution level of the river is obviously reduced and the water quality is changed obviously. However, the concentration of pollutants in some sections shows an upward trend, which needs special attention.

Keywords: Shaanxi section of the Weihe River; water quality; Mann-Kendall; R/S analytical method

渭河作为陕西关中地区唯一的污废水承纳和排泄通道,接纳了沿岸排放的大量污染物质。随着陕西省社会经济的快速发展,工业、农业和城镇居民生活的用水量不断上升,各种污废水的排放量也成倍增加。高飞等^[1]的研究表明,2006—2009年渭河干流咸阳至渭南潼关出境有2/3的河段污染严重,多年维持在劣V类水质;王珍等^[2]的研究显示2007—2011年渭河干流仍有1/2的监测断面没有达到水环境功能的要求。针对渭河水质及水生态状况恶化的实际情况,陕西省委省政府于2011年启动了渭河陕西段综合整治工程,相继出台了《陕西省水污染防治工作方案》《渭河流域水污染防治三年行动方案(2012—2014)》以及《渭河生态区建设总体规划》等一系列政策文件,并进行了一系列的综合治理工程,渭河水质恶化的趋势得到了有效的遏制。

目前,关于渭河流域水质的研究多集中在污染物特征分析^[3-4]与水污染评估、水质评价方面^[5-8],鲜有针对综合整治以来渭河干流陕西段水质变化趋势的研究。渭河干流的污染指标较多,其中主要超标项目为化学需氧量(COD)与 $\text{NH}_3\text{-N}$ ^[9],因此本文拟以COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 为研究指标,定量分析2010—2016年渭河综合治理工程实施过程中河流水质的时空变化,尝试应用Mann-Kendall检验法阐明水质的变化趋势,通过R/S分析法探索水质未来变化趋势的持续性,以期考量综合治理措施实施后水环境改善效果,为后续渭河流域污染治理及水环境管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域概况

渭河是黄河第一大支流,干流全长818 km,陕西段流程512 km,流经宝鸡、咸阳、西安和渭南4个市以及杨凌示范区。宝鸡市以上为上游段,河谷狭窄,川峡相间,水流湍急;宝鸡峡至咸阳为中游段,河长171 km,河道宽,多沙洲,水流分散;咸阳至潼关为下游段,河长208 km,河道淤积严重,比降较小。流域冬季干燥严寒,降雨稀少;夏季炎热多雨,降雨主要集中在7—9月,降雨量在350~700 mm^[10]。渭河灌溉农田近 $9.33 \times 10^5 \text{ hm}^2$,流域集中了陕西65%的生产总值,接纳了全省78%的工业废水和86%的生活污

水^[11]。渭河干流陕西段有13个主要监测断面,即宝鸡段林家村、卧龙寺、虢镇桥、常兴桥监测断面,咸阳段兴平、南营、咸阳铁桥监测断面,西安段天江人渡、耿镇桥、新丰桥监测断面,渭南段沙王渡、树园、潼关吊桥监测断面。

1.2 数据来源

水质数据来源于《陕西省环境状况公报》^[12]和陕西省环保厅网站关于渭河干流、支流考核断面水质监测报告(<http://www.snepb.gov.cn/>)。《陕西省环境状况公报》的水质数据以年为时间单元更新发布(2010—2016年),发布的水质指标为COD和氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$),单位均为mg/L。陕西省环保厅水质监测报告的监测数据以月为时间单元更新发布,监测指标同样为COD和氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$),单位均为mg/L。

1.3 水质标准与评价方法

以《地表水环境质量标准》(GB3838-2002,见表1)为水质指标评价标准,利用《地表水环境质量评价办法(试行)》进行监测断面水环境质量评价。根据《地表水环境质量评价办法(试行)》,当河流的断面总数在5个(含5个)以上时,采用断面水质类别比例法,即根据评价河流中各种水质类别的断面数占河流所有评价断面总数的百分比来评价其水质状况,河流的水质分为以下5个级别:①当I—Ⅲ类水质比例 $\geq 90\%$ 时,河流水质为优;②当 $75\% \leq \text{I—Ⅲ类水质比例} < 90\%$ 时,河流水质为良好;③当I—Ⅲ类水质比例 $< 75\%$,且劣V类比例 $< 20\%$ 时,河流水质为轻度污染;④当I—Ⅲ类水质比例 $< 75\%$,且 $20\% \leq \text{劣V类比例} < 40\%$ 时,河流水质为中度污染;⑤当I—Ⅲ类水质比例 $< 60\%$,且劣V类比例 $\geq 40\%$ 时,河流水质为重度污染。

表1 地表水环境质量评价标准

水质标准	COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
I类	15	0.15
II类	15	0.15
III类	20	0.50
IV类	30	1.00
V类	40	2.00

1.4 Mann-Kendall 趋势检验法

Mann-Kendall 检验法在分析降水、径流、气温和水质等要素时间序列的变化趋势中得到了广泛的应

用^[13-16],该方法不要求被分析样本遵从一定分布,也不受其他异常值的干扰,计算简便。假设有时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n 服从 n 个独立的、随机变量同分布样本,那么统计变量 S 的计算公式为:

$$S = \left[\sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_{j_i} - X_{k_i}) \right] \quad (1 \leq k < j \leq n) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(X_{j_i} - X_{k_i}) = \begin{cases} 1 & (X_{j_i} - X_{k_i}) > 0 \\ 0 & (X_{j_i} - X_{k_i}) = 0 \\ -1 & (X_{j_i} - X_{k_i}) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\text{sgn}(X_{j_i} - X_{k_i})$ ——表征函数,随机序列 $S_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 近似服从正态分布,则 S_i 的均值和标准差为: $\mu_s = 0$

$$\delta_s = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{72}} \quad (3)$$

式中: m ——相同数的个数; t_i ——第 i 个组的个数;

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\delta_s} & (S > 0) \\ 0 & (S = 0) \\ \frac{S+1}{\delta_s} & (S < 0) \end{cases} \quad (4)$$

对于统计变量 $Z_c > 0$ 时,是上升趋势; $Z_c < 0$ 时,是下降趋势; $Z_c = 0$ 时,无变化趋势。通常取显著性水平 α 为 0.1 和 0.01,当 $0.01 < \alpha \leq 0.1$ 时, $1.28 < Z_c < 2.32$,说明检验是显著地;当 $\alpha \leq 0.01$ 时, $Z_c > 2.32$,说明检验具有高度显著水平。

1.5 重标极差(R/S)分析

R/S 分析方法又称为重标极差分析法,是时间尺度上演变趋势的预测方法,该方法的特点是能揭示时间序列的分形特征,能明确时间序列未来的变化特征与过去是相同还是相反的,着重在于揭示未来的变化特征,其 Hurst 指数能很好的揭示时间序列中的趋势成分。其计算的基本方法为:设有一时间序列 $B(t), t = 1, 2, 3, \dots, t$, 设 $X(t) = B(t) - B(t-1)$, 累积离差 $X(t, \tau)$, 极差 $R(\tau)$, 标准偏差 $S(\tau)$ 为:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t [\xi(u) - \xi(u)_\tau] \quad (5)$$

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (6)$$

$$S = (\tau) \left(\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [\xi(u) - \xi(u)_\tau]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\tau = 1, 2, \dots) \quad (7)$$

式中: τ ——样本 ($\tau = 1, 2, 3 \dots$); $\xi(u)$ ——该时间间隔内第 u 次的输入量; u ——次数。

对于比值 $H = R(\tau) / S(\tau) = R/S$, 若存在如下关系 $R/S \propto \tau^H$, 则说明时间序列 $\xi(t)$ 存在 Hurst 现象, H 值称为 Hurst 指数。Hurst 指数 ($0 < H < 1$) 存在以下几种情况: ①当 $0.5 < H < 1$ 时,表明该指标在时

间尺度上的变化具有长程相关性(持续性),即时间序列前后呈正相关, H 值越大持续性越强; ②当 $0 < H < 0.5$ 时,表明该指标在时间尺度上的变化具有长程相反性(反持续性),即过去变量与未来趋势呈负相关, H 值越小反持续性越强; ③当 $H = 0.5$ 时,表明该指标的时间序列为相互独立的随机序列,具有“无后效性”。参考以往研究^[17-20],将持续性进一步分级为 $0.5 < H < 0.55, 0.55 < H < 0.65, 0.65 < H < 0.75, 0.75 < H < 0.80$ 和 $0.80 < H < 1.00$, 分别代表很弱持续性、较弱持续性、较强持续性、强持续性和很强持续性。

2 结果与分析

2.1 水质评价

根据《陕西省环境状况公报》^[12] (2010—2016) 中渭河干流监测断面水质的评价结果,统计其水质类别占比年际变化情况(见表 2)。渭河干流劣 V 类断面占比持续下降,由 2010 年的 69.3% 削减至 2016 年的 10.5%, 削减了 58.8%; IV—V 类断面占比持续上升,由 2010 年的 7.7% 上升至 2016 年的 63.2%, 增长了 55.5%; I—III 类断面占比较稳定,多年稳定在 23%~28.6%。按照《地表水环境质量评价办法(试行)》,2010—2012 年渭河干流为重度污染,2013—2014 年为中度污染,2015—2016 年为轻度污染,可见自 2011 年实施的企业治理减排、农业结构调整与综合治理项目使外源污染物输入量大大减少,对渭河干流水质起到持续改善作用。

表 2 2010—2016 年渭河干流陕西段监测断面水质类别百分比

年份	I—III 类	IV—V 类	劣 V 类
2010	23.0	7.7	69.3
2011	23.1	23.1	53.8
2012	28.6	28.6	42.8
2013	28.6	35.7	35.7
2014	21.4	57.2	21.4
2015	21.4	64.3	14.3
2016	26.3	63.2	10.5

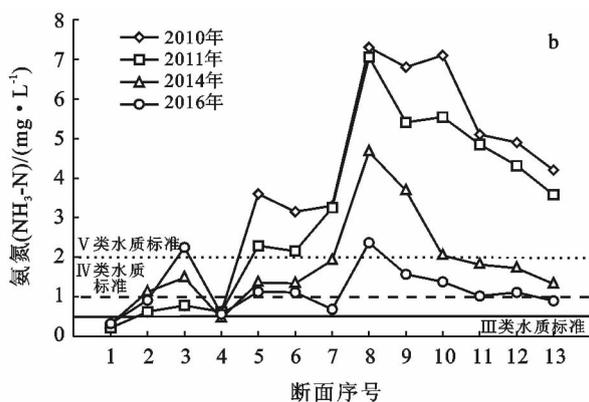
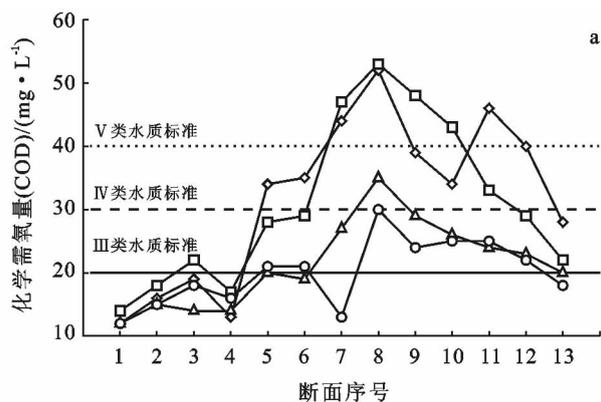
2016 年渭河干流陕西段以 IV—V 类水质为主(见表 3),10 个断面的水质已经能够达到水质功能要求,3 个断面(虢镇桥、天江人渡和耿镇桥)的水质未能达到水质功能使用要求,其中虢镇桥与天江人渡为劣 V 类水质,基本丧失水体使用功能,说明尽管前期的综合整治工作取得了良好的成效,但是局部河道污染仍然严重。

表 3 2016 年渭河干流陕西段主要断面水质评价

序号	断面名称	水质状况	水质功能要求
1	林家村	Ⅱ类	Ⅱ类
2	卧龙寺	Ⅲ类	Ⅲ类
3	虢镇桥	劣Ⅴ类	Ⅲ类
4	常兴桥	Ⅲ类	Ⅲ类
5	兴平	Ⅳ类	Ⅳ类
6	南营	Ⅳ类	Ⅳ类
7	咸阳铁桥	Ⅲ类	Ⅳ类
8	天江人渡	劣Ⅴ类	Ⅲ类
9	耿镇桥	Ⅴ类	Ⅳ类
10	新丰桥	Ⅳ类	Ⅳ类
11	沙王渡	Ⅳ类	Ⅳ类
12	树园	Ⅳ类	Ⅳ类
13	潼关吊桥	Ⅲ类	Ⅳ类

对 2010 年(渭河综合整治前)、2011 年(渭河综合整治起始年)、2014 年(渭河流域水污染防治三年行动收官年)和 2016 年(现状年)4 个不同年份主要污染指标的年均监测值进行沿程变化分析,结果见图 1。

由图 1a 可知,渭河干流陕西段综合整治前 COD 污染严重,其中咸阳铁桥、天江人渡、沙王渡和树园 4 个断面为劣Ⅴ类水质。2011 年(整治起始年)较 2010 年变化并不明显,咸阳铁桥至新丰桥 4 个断面为劣Ⅴ类水质。3 a 综合治理后,2014 年渭河干流 COD 平均浓度较 2011 年削减了 32.9%,其中西安段的 3 个断面削减最为明显,削减率分别为 33.96%,39.58%和 39.53%,由劣Ⅴ类水质转好为Ⅳ—Ⅴ类水质。2016 年渭河干流陕西段全段 COD 已能满足Ⅳ类水质标准要求。

图 1 渭河干流陕西段 COD 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化

相比于 COD 指标,渭河干流陕西段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的污染程度更加严重(见图 1b)。2010 与 2011 年兴平至潼关共 9 个断面均为劣Ⅴ类水质断面。经过 3 a 的综合治理,2014 年渭河干流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度较 2011 年削减了 45.2%,劣Ⅴ类断面数量由 9 个下降至 3 个,其中西安段新丰桥断面以及渭南段沙王渡、树园断面削减最为明显,削减率分别为 63.11%,62.57%与 60.05%。2016 年渭河干流陕西段 $\text{NH}_3\text{-N}$ 污染程度持续减轻,以Ⅳ—Ⅴ类断面为主,有 2 个劣Ⅴ类断面(虢镇桥和天江人渡),局部污染仍然严重,特别是宝鸡段林家村、卧龙寺和虢镇桥断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度有明显上升,应引起有关管理部门的警惕。

总体看,宝鸡段 COD 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度较低,沿程咸阳段污染逐步加剧,西安段污染最为严重,渭河干流陕西段水质出现以行政区域为单位的规律,这与冯旭等^[21]的研究结果一致。因此,以行政区为单元对宝鸡出境(渭河杨凌)、咸阳出境(咸阳铁桥)、西安出境(新丰镇)和渭南出境(潼关吊桥)4 个断面进

行枯、丰水期水质变化特征分析,结果见图 2。

由图 2a 与图 2b 可知,治理后各出境断面 COD 浓度均有削减,其中咸阳出境与西安出境削减最为明显,其枯水期削减率分别为 51.16%,37.14%,丰水期削减率分别为 46.27%,28.57%,但是西安出境断面的 COD 浓度仍然是 4 个断面中最高值。值得注意的是 2016 年咸阳出境断面丰水期 COD 浓度(18 mg/L)较 2014 年(15 mg/L)有所上升,反映出污染治理的过程会有反复现象。由图 2c 与图 2d 可知,治理后各出境断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度同样存在不同程度削减,其中西安出境与渭南出境削减显著,枯水期削减率分别为 74.73%,66.44%,丰水期分别为 58.48%,87.25%,但是西安出境 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度仍然是 4 个出境断面中的最高值。4 个出境断面枯水期 COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度普遍高于丰水期,相关研究认为虽然丰水期非点源污染加剧,但渭河干流沿岸城市对渭河污染物的输入还是以点源为主^[21],丰水期渭河干流径流量明显增加,稀释作用使得 COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度低于枯水期。

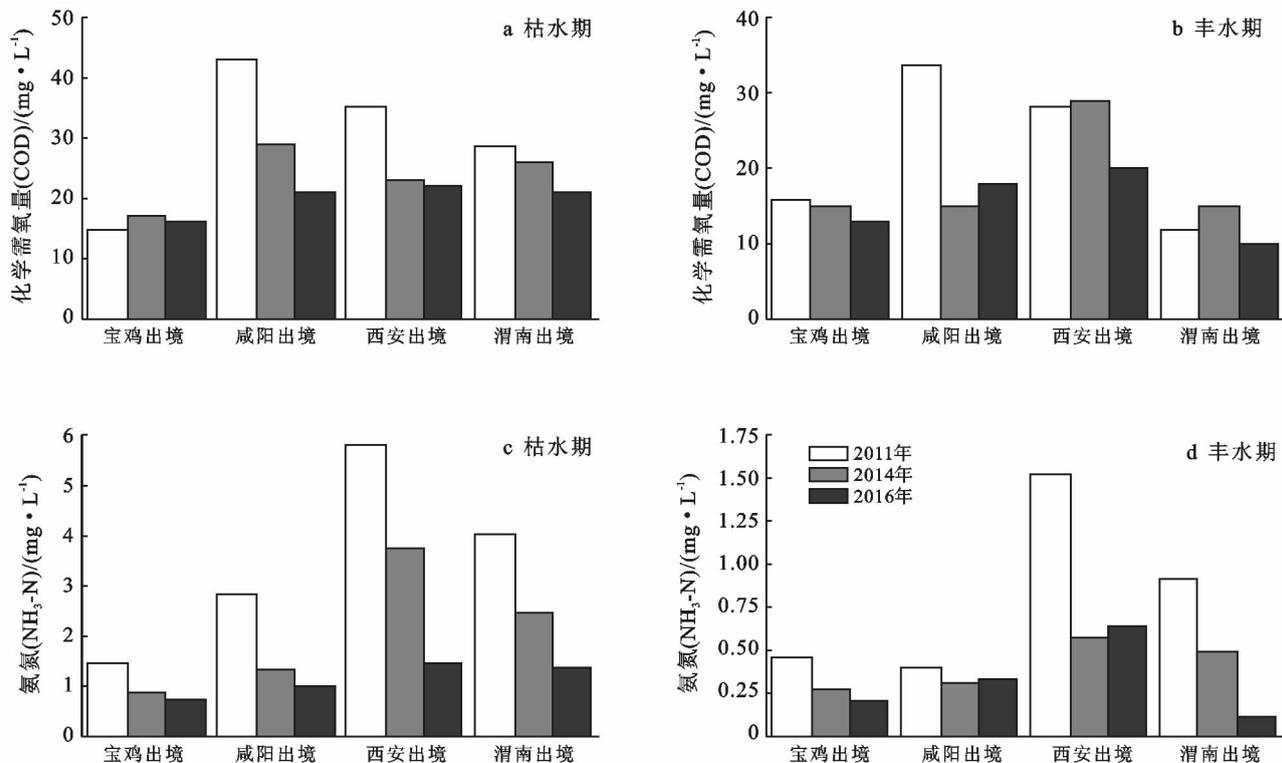


图2 各出境断面化学需氧量(COD)及氨氮(NH₃-N)变化

2.2 Mann-Kendall 趋势检验

对宝鸡出境、咸阳出境、西安出境和渭南出境4个断面2011—2016年COD与NH₃-N的逐月监测数据进行Mann-Kendall趋势检验,结果见表4。

表4 渭河干流陕西段水质变化趋势检验结果

断面	化学需氧量(COD)		氨氮(NH ₃ -N)	
	Z _c	趋势	Z _c	趋势
宝鸡出境	0.33	上升但不显著	-5.11	高度显著下降
咸阳出境	-3.70	高度显著下降	-2.59	高度显著下降
西安出境	-4.12	高度显著下降	-3.84	高度显著下降
渭南出境	-1.63	显著下降	-4.42	高度显著下降

除宝鸡出境COD浓度呈现不显著上升趋势外,其余3个出境断面均表现出下降趋势,尤其是咸阳、西安出境这2个断面的趋势最为显著;4个出境断面NH₃-N浓度均呈现高度显著的下降趋势。为了保护渭河水质,2011—2016年相关管理部门在渭河沿岸开展了300余个治污项目,包括关闭高污染造纸、氮肥企业33家,清理封堵排污口173个,同时新建扩建污水处理厂49座,使全陕西省污水处理厂总数达到122座,日处理能力达到 $3.96 \times 10^6 \text{ t}^{[22]}$,最大限度减少了入河污染物总量,根据《陕西统计年鉴》^[23](2011—2016)的数据,全省COD与NH₃-N排放量的

削减率分别达到12%与12.2%,同时渭河沿岸建成了大面积的生态湿地和水面景观,在加强水体自净能力的同时减少了水土流失,显然这些污染治理措施确实取得了较好的控源截污效果,使得渭河干流水质污染得到有效遏制。

2.3 R/S分析法分析结果

基于2011—2016年逐月水质监测数据,宝鸡出境、咸阳出境、西安出境和渭南出境断面COD与NH₃-N时间序列的R/S分析法分析结果见表5。结果显示各出境断面主要污染指标的H值均大于0.5,说明各出境断面水质都具有长程相关性(持续性),即未来水质变化趋势跟2011—2016年期间的变化趋势一致。未来4个出境断面NH₃-N浓度都将具有较强的持续下降延续性,咸阳、西安和渭南出境断面COD会延续下降趋势,但是持续性较弱,特别是渭南出境断面程度最弱。需要特别指出的是宝鸡出境断面将会延续COD上升趋势,尽管程度较弱,仍需要引起有关部门的重视,要尽快查明污染源,采取针对性措施,早日遏制水质恶化趋势。

河流水质长程相关性的影响因素较多,包括土地利用、景观格局、气候、水文等因素^[15],根据渭河治理保护文件《渭河流域水污染防治巩固提高三年行动方案(2015—2017)》,陕西省政府将继续加强渭河治理工作,包括进一步优化土地利用结构、加大治理产业

聚集区水污染、控制畜禽养殖与化肥污染等一系列整治措施,从源头上治理污染源,相信这一系列综合治理措施将会成为渭河干流陕西段水质变好趋势得以延续的保障。

表 5 各出境断面 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的 R/S 指数

断面	化学需氧量(COD)		氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)	
	H	长程相关性	H	长程相关性
宝鸡出境	0.58	较弱持续性	0.71	较强持续性
咸阳出境	0.59	较弱持续性	0.73	较强持续性
西安出境	0.61	较弱持续性	0.73	较强持续性
渭南出境	0.54	很弱持续性	0.68	较强持续性

3 结论

(1) 渭河干流陕西段水质由 2010 年的重度污染转变为 2016 年的轻度污染,水质明显改善,说明从 2011 年开始实施的企业治理减排、农业结构调整与综合治理工程项目取得了良好的效果。值得注意的是 2016 年虢镇桥断面与天江人渡断面仍为劣 V 类水质,渭河干流陕西段局部严重污染仍然存在。

(2) 宝鸡、咸阳、西安和渭南 4 个出境断面枯水期 COD, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度普遍高于丰水期,治理后各断面 COD 与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度有不同程度的削减,其中咸阳与西安出境断面 COD 浓度削减显著,西安与渭南出境断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度削减显著,但是西安出境断面仍然是 4 个断面中污染最为严重的断面。

(3) 渭河干流陕西段 4 个出境断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度均呈现高度显著下降趋势,并将具有较强持续性;咸阳、西安和渭南出境断面 COD 浓度呈现显著下降趋势,但持续性不强;宝鸡出境断面 COD 浓度呈现不显著上升趋势且将会延续,尽管程度较弱,仍需要引起有关部门的重视。

[参 考 文 献]

[1] 高飞,薛科社,魏学东,等.渭河干流(陕西段)水污染特征与控制对策研究[J].西北大学学报:自然科学版,2013,43(2):319-323.

[2] 王珍,宋进喜,段孟辰,等.渭河陕西段河水水质 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 变化特征分析[J].水资源与水工程学报,2013,24(3):64-68.

[3] 陈佳,王莉,杨小刚,等.渭河陕西段水体主要污染物特征分析[J].内蒙古大学学报:自然版,2015,46(2):211-218.

[4] 张荔,解宝民.渭河流域陕西片的水环境特性[J].太原理工大学学报,2007,38(5):428-430.

[5] 武玮,徐宗学,于松延.渭河流域水环境质量评价与分析

[J].北京师范大学学报:自然科学版,2013,49(2):275-281.

- [6] 于茜.陕西省渭河流域水质变化分析研究[J].环境科学与管理,2017,42(8):150-153.
- [7] 杨学福,王蕾,关建玲,等.基于多元统计分析的渭河西咸段水质评价[J].环境工程学报,2016,10(3):1560-1565.
- [8] 靳美娟,任一艳.主成分分析法在渭河宝鸡段水质评价中的应用[J].净水技术,2015,34(5):104-108.
- [9] 陕西省水利厅.陕西省水资源公报(2001-2016)[R].西安:陕西省水利厅,2001-2016.
- [10] 张蓉珍,张幸.渭河流域陕西段近 50 年生态环境演变[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):37-42.
- [11] 李家科,李怀恩,沈冰,等.渭河干流典型断面非点源污染监测与负荷估算[J].水科学进展,2011,22(6):818-828.
- [12] 陕西省环保厅.陕西省环境状况公报[R].西安:陕西省环保厅,2010-2016.
- [13] 刘聚涛,方少文,冯倩,等.基于 Mann-Kendall 法的湖泊稳态转换突变分析[J].中国环境科学,2015,35(12):3707-3713.
- [14] 刘娟,陈涛涛,迟道才.基于 Daniel 及 Mann-kendall 检验的辽西北地区降雨量趋势分析[J].沈阳农业大学学报,2014,45(5):599-603.
- [15] 董旭,梅琨,商栩,等.基于 Mann-Kendall 检验和重标极差分析的水质变化趋势[J].生态与农村环境学报,2016,32(2):277-282.
- [16] Belle G V, Hughes J P. Nonparametric tests for trend in water quality[J]. Water Resources Research, 1984, 20(1):127-136.
- [17] 张涵丹,卫伟,薛蕙.基于 R/S 分析和 Mann-Kendall 检验的定西市气温降水变化特征[J].水土保持研究,2015,22(6):183-189.
- [18] 张殷钦,胡伟,刘俊民.基于 R/S 分析法的地下水位动态变化趋势分析[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(12):4912-4916.
- [19] 王小焕,邵景安,王金亮,等.三峡库区长江干流入出库水质评价及其变化趋势[J].环境科学学报,2017,37(2):554-565.
- [20] MANDELROT B. Statistical methodology for non-periodic cycles: From the covariance to R/S analysis [J]. Annals of Economic and Social Measurement, 1972,1(12):257-288.
- [21] 冯旭.渭河关中段水体污染评价及水质演变规律研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [22] 于婕,李怀恩.西安市对渭河水质的影响分析[J].环境科学,2013,34(5):1700-1706.
- [23] 陕西省统计局.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011-2016.