

淮河干流水环境质量时空变化特征及污染趋势分析

曾凤连, 杨刚, 王萍, 焦海燕, 张婷婷

(生态环境部淮河流域生态环境监督管理局生态环境监测与科学研究中心, 安徽蚌埠 233000)

摘要: 研究淮河水质时空变化趋势, 为淮河生态环境保护提供科学依据。选取 1999-2019 年淮河干流 9 个典型断面长序列水质数据, 采用单因子评价法和综合污染指数法, 对 20 年来淮河干流水环境质量进行评价, 同时运用 spearman 秩相关系数法、Mann-Kendall 检验法研究淮河水质及主要污染因子变化趋势和突变特征。结果表明, I~III 类水质断面比例总体呈上升趋势, 1999 年劣 V 类水质断面占 44.4%, 2007 年后无 V 类、劣 V 类水质断面; 综合污染指数从 1999 年的 1.35 逐步下降至 2019 年的 0.42; 氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数和五日生化需氧量浓度均呈明显下降趋势, 总磷浓度呈明显上升趋势; 非汛期总磷浓度变化稳定, 汛期总磷浓度显著上升 ($r_s = 0.691$); 淮南大沟涧、吴家渡断面水质相对较差、年际变化幅度大, 老坝头断面水质较好、年际变化幅度较小。淮河干流主要污染因子发生结构性转变, 由氨氮、化学需氧量、高锰酸盐指数逐渐转变为总磷, 说明流域面源污染特征逐步显现, 农业面源污染的控制已成为改善淮河流域水环境的重要任务。

关键词: 淮河; 水环境质量; 污染特征; 污染因子; 变化趋势

中图分类号: X842 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)05-0086-09

淮河地处我国东部, 是我国七大河流之一, 淮河发源于河南省桐柏山, 自西向东流经豫、鄂、皖、苏 4 省入洪泽湖, 在三江营南流入江, 北流入海。全长约 1 000 km, 总落差约 200 m, 总面积约 19 万 km²。淮河是我国南北气候、高低纬度和海陆相 3 种过渡带的重叠地区, 气候变化幅度大, 灾害性天气发生的频率高; 受东亚季风影响, 流域的年际降水变化大, 年内降水分布也极不均匀; 流域多年平均年降水量为 839 mm, 其中 6-9 月为淮河的汛期, 多年平均汛期降水 400~900 mm, 占全年总量的 50%~75%。

淮河流域是我国重要的农业和能源基地。流域人口密集, 土地肥沃, 资源丰富, 是长江经济带、长三角一体化、中原经济区的覆盖区域, 也是大运河文化带主要集聚地区, 在我国社会经济发展大局中具有十分重要的地位。特殊的地理位置和复杂的地形气候, 使得淮河流域成为我国水旱灾害发生最为严重和频繁的地区之一。20 世纪 80 年代以来, 随着城镇化和工业化进程加快, 淮河流域水污染事故频繁发生, 淮河水质恶化(董广霞等, 2005), 生态环境遭到严重破坏, 至 1995 年底, 全流域 80% 以上的河流和水域已受到污染(褚金庭等, 1996)。90 年代以后

经过综合治理, 流域污染逐步得到控制, 水质发生明显改善, 但淮河流域水环境问题依然严峻。

淮河是我国第一条全面治理的大河。目前, 针对淮河水质(吴春霞等, 2015; 吉婷婷等, 2019)、淮河上中游水质污染特征(许凯等, 2017; 党伟等, 2018)和淮河干流沉积物中污染物的时空分布及污染源(刘振宇等, 2018; 郝永飞等, 2020)已有一定的研究, 这些研究阐释了淮河水质时空特征, 但多集中于淮河部分河段。本研究通过开展 1999-2019 年淮河干流水环境质量时空变化特征及主要污染因子变化趋势分析, 研究其水环境演变特征, 有利于把握淮河水环境时空演变发展的大方向, 更好地了解污染来源, 为淮河生态环境保护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 断面选取

在淮河入洪泽湖口以上的淮河干流, 沿程依次选取淮滨大桥、王家坝、老坝头、鲁台子、淮南大沟涧、吴家渡、蚌埠闸、临淮关和小柳巷等 9 个典型断面, 位置见图 1。

1.2 数据来源

收集了淮河流域生态环境监测与科学研究中心监测的 1999-2019 年各断面水质数据, 地理范围为北纬 32°25'31"~33°10'05", 东经 115°23'10"~118°08'09", 具体位置分布见图 1。监测项目为 pH、水温、溶解氧、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、生化需氧量

收稿日期: 2021-06-29

作者简介: 曾凤连, 1991 年生, 女, 硕士研究生, 主要从事水环境监测与评价。E-mail: 779873573@qq.com

通信作者: 张婷婷。E-mail: 2017390860@qq.com

(BOD₅)、化学需氧量(COD)、挥发酚、氰化物、铜、锌、硒、砷、汞、镉、六价铬、铅、石油类、氨氮(NH₃-N)、硫化物、阴离子表面活性剂、总磷(TP)、总氮(TN)、氟化物等 23 项地表水常规监测指标, 监测频率为每月 1 次, 其中总磷、总氮等指标采用 2003 - 2019 年监测数据。



图 1 研究区监测断面分布

Fig.1 Location of the monitoring transects on the main stem of Huaihe River

1.3 评价与分析方法

1.3.1 单因子评价法 单因子评价法为最差因子判别法, 即在所有参与综合水质评价的水质指标中, 选择水质最差的单项指标所属水质类别来确定所属水体综合水质类别(周森等, 2016)。

1.3.2 综合污染指数法 综合污染指数(Mobarok et al, 2020)是在单项污染指数评价的基础上统计得到的, 能够定性反映河流水体综合污染程度(佟玲玲, 2016)。选取淮河干流主要污染因子进行综合污染指数的计算, 包括 NH₃-N、COD、COD_{Mn}、BOD₅、TP、汞、挥发酚等 7 项。评价标准执行《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002) III 类水标准。其计算方法(张翔, 2021)如下:

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

式中: P_i 为第 i 种污染物单项污染指数; C_i 为第 i 种污染物实测浓度, mg/L; S_i 为第 i 种污染物环境标准质量标准, mg/L。

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

式中: P 为水质综合污染指数; n 为参与评价的污染物种类数。

1.3.3 spearman 秩相关系数法 衡量环境污染变化趋势在统计上是否有显著性的定量分析方法, 最常用的是 Daniel 的趋势检验(Hossain et al, 2020), 它使用了 spearman 的秩相关系数。通过 spearman

秩相关系数法分析淮河干流多时段的水质变化趋势及变化程度(郭学士, 2017; 李萍, 2021), 其计算公式如下:

$$r_s = 1 - [6 \sum_{i=1}^n d_i^2] / [N^3 - N] \quad (3)$$

$$d_i = X_i - Y_i \quad (4)$$

式中: d_i 为变量 X_i 与 Y_i 的差值; X_i 为周期 1 到周期 N 按浓度值从小到大排列的序号; Y_i 为按时间排列的序号。将秩相关系数 r_s 的绝对值同 spearman 秩相关系数统计表中的临界值 W_p 进行比较, 趋势检验时间周期为 17 a, 对应的临界值 $W_p = 0.414$ 。当 $r_s > W_p$, 表明变化趋势具有显著意义; r_s 为负值, 表明在评价时段内有关统计量指标变化呈下降趋势或好转趋势; r_s 为正值, 表明在评价时段内有关统计量指标变化呈上升趋势或加重趋势。当 $r_s \leq W_p$, 表明变化趋势没有显著意义, 说明在评价时段内水质变化稳定或平稳。

1.3.4 Mann-Kendall 检验法 Mann-Kendall 检验法是一种非参数秩次检验, 其优势是不需要样本遵从一定的分布, 不受少量异常值影响, 适用于顺序变量(Yenilmez et al, 2010; Luo et al, 2011), 在揭示趋势变化及突变特征中极为有用(朱龙腾等, 2012; 高伟等, 2013; 王淑丽等, 2021)。通过 Mann-Kendall 检验法对淮河干流水质序列演变趋势和主要污染因子的变化过程、显著性及突变特征进行综合分析, 并与 spearman 秩相关系数法进行对比验证。

Mann-Kendall 检验用于检验序列突变时, 通过构造一秩序列实现:

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad (k=2, 3, 4, \dots, n) \quad (5)$$

式中:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & X_i > X_j \\ 0 & X_i < X_j \end{cases} \quad (6)$$

定义通统计量:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{V_{ar}(S_k)}} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

式中: $E(S_k)$ 和 $V_{ar}(S_k)$ 分别为 S_k 的均值和方差。

按时间序列 X 的逆序 X_n, X_{n-1}, \dots, X_1 重复上述过程, 获得统计变量 $UB_k (k=n, n-1, \dots, 1)$, 同时使: $UB_k = -UF_k$ 。将 UB_k 与 UF_k 绘制成曲线, 若 UF_k 和 UB_k 的值大于 0, 则表明时间序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时, 即 $|UF| > U_{1-\alpha/2}$, 表明样本序列趋势显著。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点, 且交点在临

界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。取检验置信水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 水质状况年度变化趋势

按《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002)和《地表水环境质量评价办法(试行)》对 1999 - 2019 年淮河干流的 9 个断面监测结果进行综合评价,并计算其综合污染指数,综合污染指数秩相关系数为 -0.948,呈显著下降趋势。

从图 2 水质类别分布可以看出,1999 年淮河干流总体为重度污染,各断面水质类别主要以 V 类、劣 V 类为主,之后污染程度逐渐减轻;2004 年由于淮河支流沙颍河、洪河、涡河上游发生暴雨,导致突发高浓度污水下泄事故(于紫萍等,2020),淮河干流水质发生恶化;2005 年后淮河干流总体水质优良,各断面水质类别以 II 类、III 类为主。从年际变化情况来看,近 20 年淮河干流水质呈逐步好转趋势,具体表现为 I ~ III 类水质断面比例总体呈上升趋势,1999 年劣 V 类水质断面占 44.4%,2007 年后无 V 类、劣 V 类水质断面。综合污染指数从 1999 年的

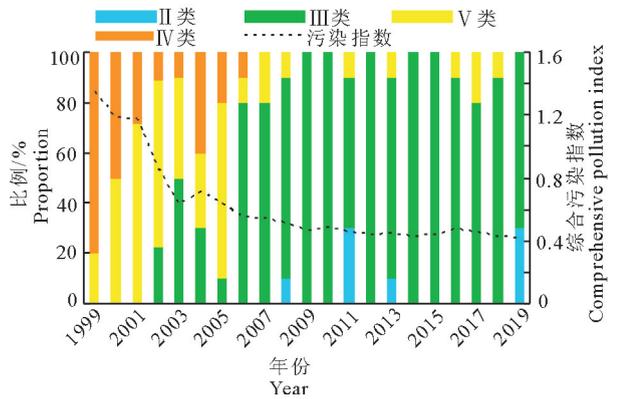


图 2 1999 - 2019 年淮河干流水质状况
Fig.2 Water quality in Huaihe River from 1999 to 2019

1.35 逐步下降至 2019 年的 0.42。

参照《地表水环境质量标准》(GB3838 - 2002) III 类标准限值,1999 - 2019 年淮河干流超标因子有 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、TP、汞、挥发酚和溶解氧。分别计算主要污染因子 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、 COD_{Mn} 、 BOD_5 和 TP 逐年超标月份比例(图 3),可以看出,淮河干流主要污染因子从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、TP 数逐渐转变为 TP。

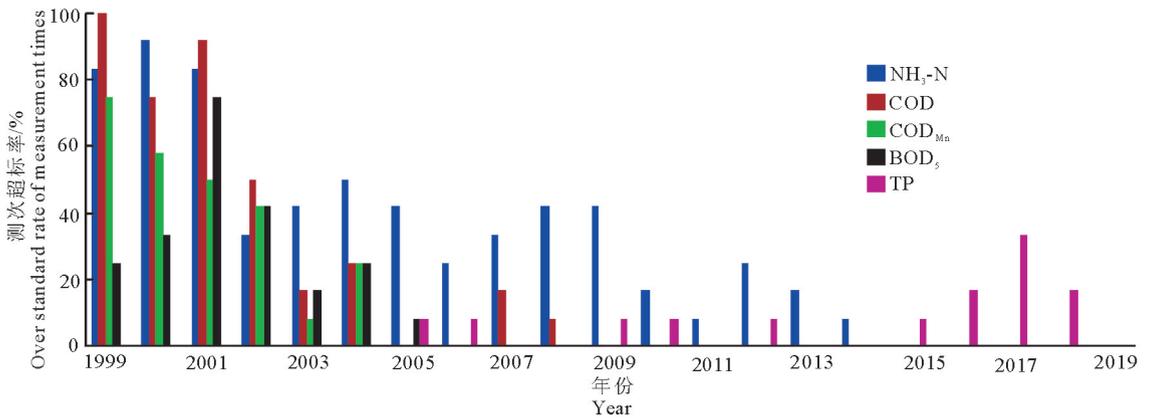


图 3 1999 - 2019 年淮河干流主要污染因子超标情况

Fig.3 Contribution of each primary pollutant to the comprehensive pollution index in Huaihe River from 1999 to 2019

2.2 水质污染状况空间变化

为保证结果具有可比性,选取淮河干流各监测断面 2003 - 2019 年的水质监测数据,运用 spearman 秩相关系数法对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、 COD_{Mn} 、 BOD_5 、TP 等主要污染因子年均质量浓度和断面综合污染指数(WPI)进行趋势分析,详见表 1。

结果表明,各断面综合污染指数的秩相关系数为 -0.694 ~ -0.977,呈显著下降趋势,表明各断面综合水质均有显著改善。各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、COD 和 BOD_5 的秩相关系数均为负值,呈下降趋势,其中各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 的秩相关系数绝对

值均大于临界值 0.414,说明各断面的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 BOD_5 均呈显著下降趋势;除吴家渡断面 COD 的秩相关系数绝对值小于临界值 0.414 外,其余断面秩相关系数绝对值均大于临界值 0.414,说明吴家渡断面 COD 变化稳定,其余断面的 COD 显著下降;老坝头和临淮关断面 COD_{Mn} 变化稳定,其余断面显著下降。

各断面 TP 的秩相关系数均为正值,表明总磷呈上升趋势,其中淮南大涧沟、蚌埠闸和淮滨大桥 TP 变化稳定,王家坝、老坝头、鲁台子、吴家渡、临淮关和小柳巷断面 TP 显著上升。

表 1 1999-2019年淮河干流各断面主要污染因子秩相关系数

Tab.1 Spearman rank correlation coefficients of the primary pollutants for each Huaihe River transect from 1999 to 2019

序号	断面名称	NH ₃ -N	COD	COD _{Mn}	BOD ₅	TP	WPI
1	淮滨大桥	-0.743	-0.750	-0.654	-0.525	0.316	-0.904
2	王家坝	-0.610	-0.752	-0.623	-0.576	0.669	-0.762
3	老坝头	-0.777	-0.549	-0.353	-0.480	0.642	-0.694
4	鲁台子	-0.863	-0.510	-0.517	-0.659	0.583	-0.925
5	淮南大涧沟	-0.907	-0.603	-0.581	-0.635	0.078	-0.977
6	蚌埠闸	-0.946	-0.679	-0.620	-0.713	0.272	-0.914
7	吴家渡	-0.944	-0.373	-0.478	-0.721	0.556	-0.862
8	临淮关	-0.951	-0.554	-0.407	-0.559	0.532	-0.908
9	小柳巷	-0.966	-0.684	-0.542	-0.424	0.429	-0.926

采用箱图方法分析淮河干流各断面主要污染因子 NH₃-N、COD_{Mn}、COD 和 BOD₅、TP 和综合污染指数(WPI)的年度波动变化的结果见图 4。可以看出,各断面 COD 中位值差异较小,变化较平稳,淮滨大桥断面波动幅度较大,蚌埠闸断面波动幅度则较小;COD_{Mn}中位值接近,但王家坝断面波动幅度较大,临淮关、蚌埠闸和鲁台子断面波动幅度较小;NH₃-N 中位值差异明显、波动幅度大,其中淮南大涧沟中位值和波动幅度均较大,并以高值波动为主,

老坝头断面中位值和波动幅度最小;TP 中位值差异较大,波动幅度类似,王家坝断面中位值较大,蚌埠闸中位值较小;BOD₅ 中位值接近,吴家渡断面波动幅度较大,老坝头和鲁台子断面波动幅度较小。从综合污染指数的箱线图可看出,淮南大涧沟综合污染指数中位值和波动幅度最大,吴家渡断面次之,老坝头断面最小,说明淮南大涧沟和吴家渡断面水质相对较差、年际波动较大,老坝头断面水质相对较好、年际波动最小。

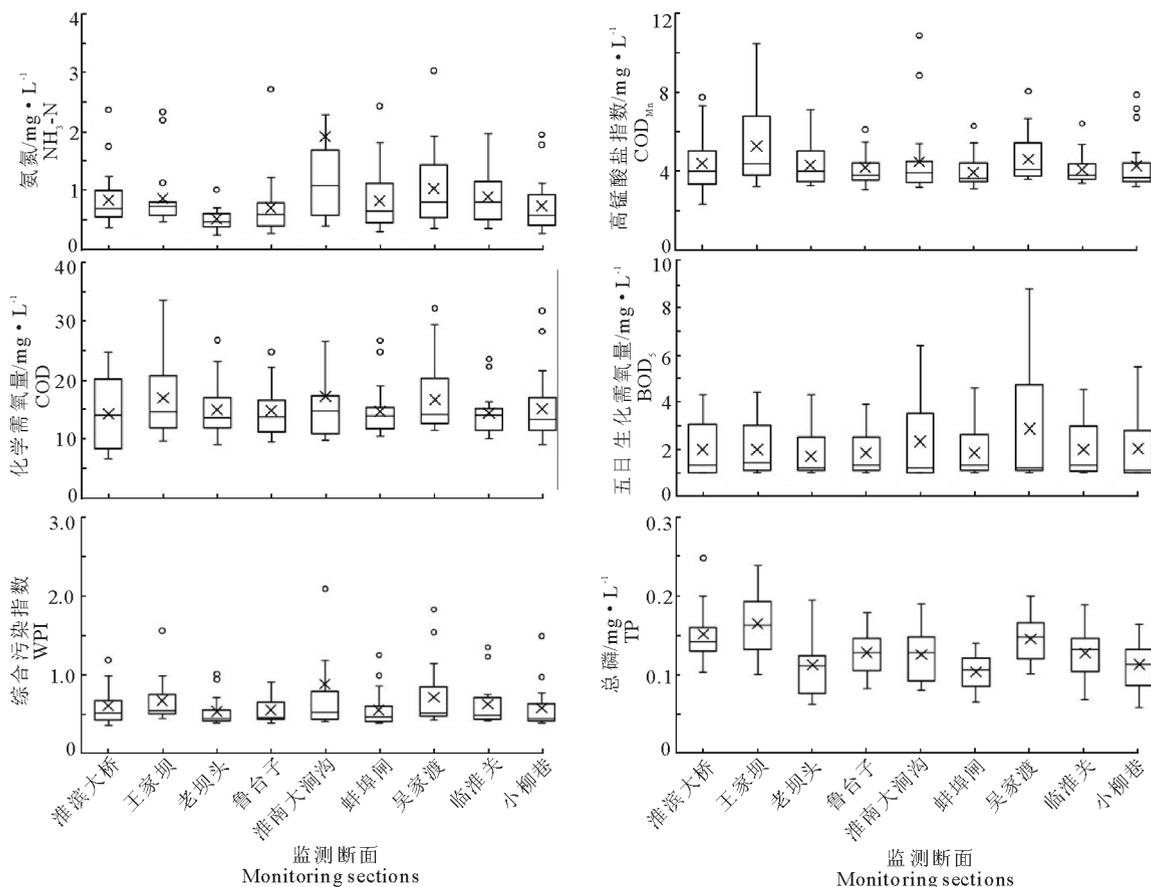


图 4 淮河干流各断面主要污染因子浓度

Fig.4 Box plots for the primary pollutants at each Huaihe River transect

2.3 主要污染因子时间变化

2.3.1 年际变化特征 选取影响淮河水水质变化的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、 COD 和 BOD_5 、 TP 等 5 项主要污染因子,分别计算各指标 2003 - 2019 年均浓度,并运用秩相关系数法对其进行趋势分析。结果表明:与 2003 年相比,2019 年 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度下降了 62.1% (0.36 mg/L), COD 浓度下降了 14.4% (13.7 mg/L), COD_{Mn} 浓度下降了 21.3% (3.7 mg/L); TP 浓度上升了 26.4% (0.115 mg/L)。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、 COD 和 BOD_5 的秩相关系数 r_s 分别为 -0.948、-0.566、-0.760 和 -0.684,其绝对值均大于临界值 0.414 且为负值,呈显著下降趋势; TP 的秩相关系数 r_s 为 0.566,其绝对值大于临界值 0.414 且为正值,呈显著上升趋势。对淮河干流主要污染因子 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、 COD 和 BOD_5 、 TP 和综合污染指数(WPI)进行 Mann-Kendall 突变检验分析,得到突变诊断曲线图(图 5)。图中,UF 为 Mann-Kendall 统计值正向序列,UB 为逆向序列,

(-1.96,1.96) 为 95% 显著水平置信区间。可以看出, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 和 COD 总体呈下降趋势,2001 - 2002 年下降趋势显著,主要由于 2000 年淮河流域开始调整工业结构,排入流域内的污染物总量明显降低; 2004 年由于淮河支流突发污水下泄事故,各指标有所波动,2006 年国家启动水体污染控制与治理科技重大专项,淮河流域被纳入“水专项”重点示范流域进行治理, $\text{NH}_3\text{-N}$ 再次发生显著下降。 BOD_5 在 1999 - 2002 年呈增加趋势,2003 年以后下降,2 条曲线在 2004 年置信区间之内有唯一交点,说明 BOD_5 在 2004 年发生突变式下降。 TP 总体呈增加趋势,2012 年 TP 发生突变,随着淮河流域水利条件的改善,农业生产在淮河流域经济发展中已占有举足轻重的地位,农业面源污染开始成为淮河污染主要来源。综合污染指数呈现下降趋势,2002 年起下降趋势显著。综上所述,突变检验分析结果与秩相关系数法趋势分析结果一致,其中 BOD_5 和 TP 分别在 2004 年和 2012 年发生突变。

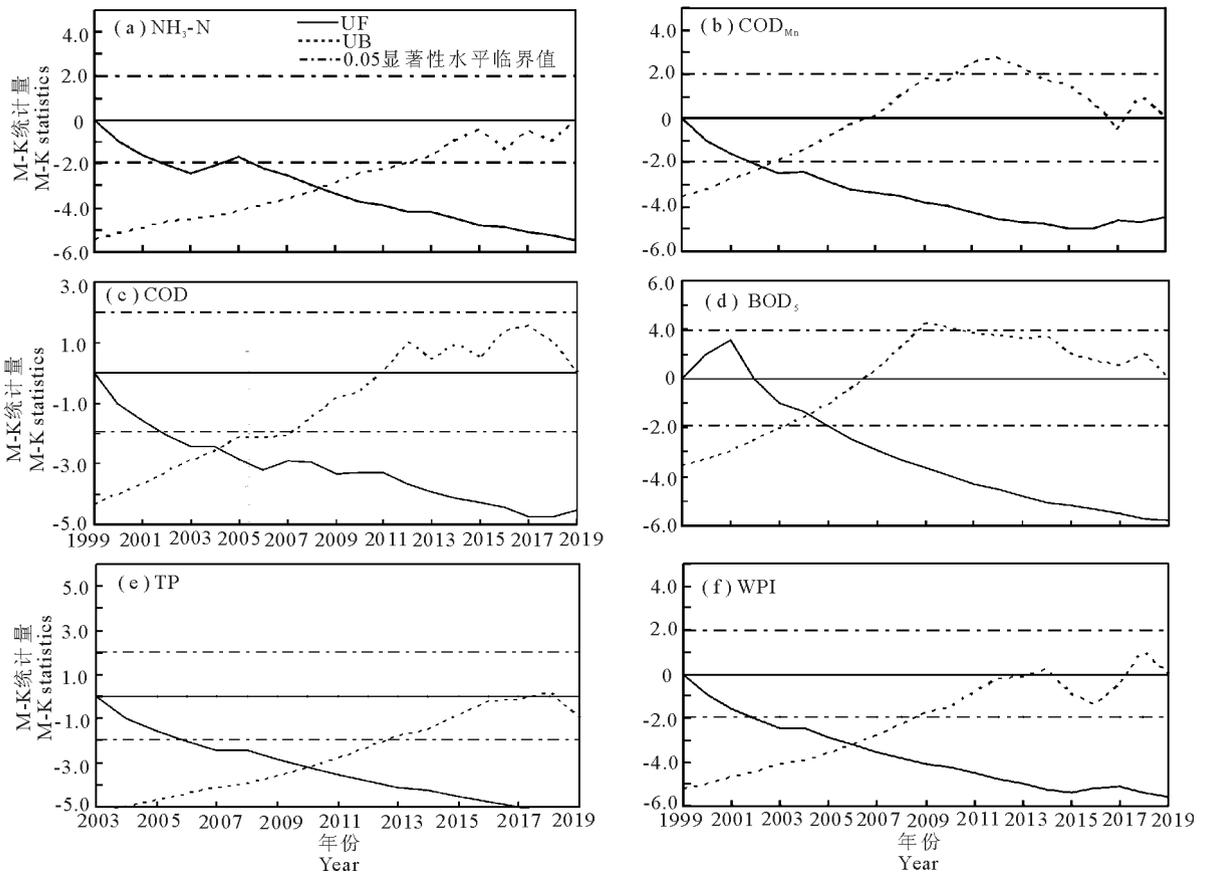


图 5 淮河干流主要污染因子突变诊断曲线

Fig.5 Mann-Kendall diagnostic curves for each primary pollutant in Huaihe River

2.3.2 年内变化特征 根据趋势变化中总磷突变时间点,将淮河干流水质变化划分为 1999 - 2012 年和 2013 - 2019 年 2 个阶段进行探讨。2 个阶段淮

河干流 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 、 COD 和 TP 浓度月均值见图 6。

1999 - 2012 年,各指标年内波动幅度较大,其

中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 年内波动最大, 各指标最大浓度值均分布在非汛期的 1-2 月, 总体上汛期水质优于非汛期; 2013-2019 年, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 和 COD 年内变

化趋于平缓, 而 TP 年内变化幅度大, 汛期 TP 浓度明显高于非汛期, 除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 外, 各指标最大浓度值均分布在汛期的 7 月, 总体上非汛期水质优于汛期。

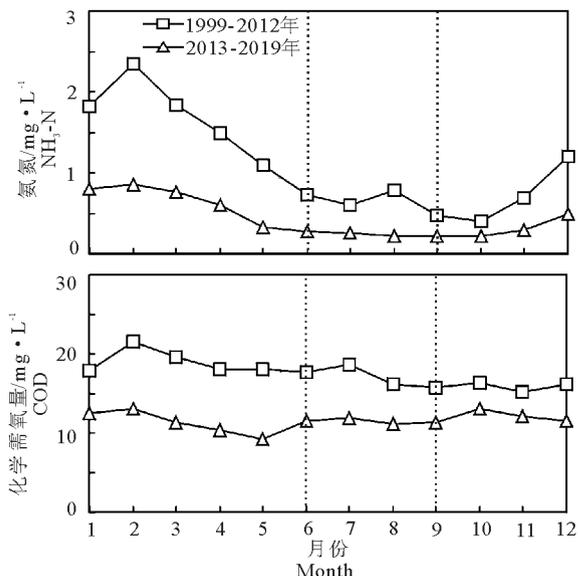


图 6 淮河干流主要污染因子浓度月均值年内分布

Fig.6 Monthly mean concentrations of the primary pollutants in Huaihe River

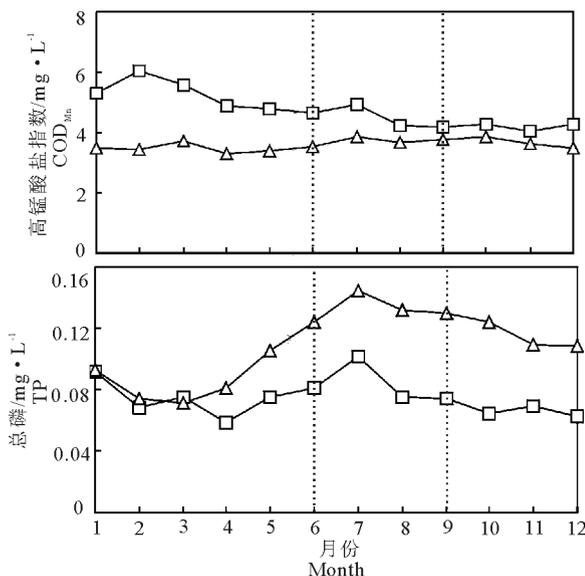


图 7 淮河干流汛期和非汛期水质污染指标

Fig.7 Box plot of the primary water pollution indices in Huaihe River during flood season and non flood season

2.3.3 汛期和非汛期水质变化 由于淮河流域降水年内分布极不均匀, 淮河汛期水质与非汛期水质存在差异。运用箱图方法对淮河干流汛期和非汛期

主要水质指标及综合污染指数的波动变化进行分析, 结果见图 7。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 非汛期波动幅度大, 汛期波动幅度小, 非汛期中位值明显高于汛期, 汛期以

NH₃-N 评价的水质优于非汛期; COD_{Mn}、COD 和 BOD₅ 在汛期和非汛期尽管中位值接近, 但汛期的波动幅度小, 非汛期波动幅度大; 而 TP 在中位值上, 汛期偏大, 汛期的波动幅度大, 非汛期波动幅度小, 非汛期以 TP 评价的水质优于汛期。综合污染指数表现为非汛期波动幅度大, 汛期波动幅度小。

为进一步探讨淮河干流汛期和非汛期主要污染因子的年际变化特征, 分别对 2003 - 2019 年主要污染因子汛期和非汛期质量浓度进行趋势分析, 详见表 2。结果表明, 非汛期 TP 的秩相关系数 r_s 为 0.377、小于临界值 0.414, 汛期 TP 的秩相关系数 r_s 为 0.691、大于临界值 0.414, 说明 TP 在非汛期变化稳定, 汛期显著上升; 非汛期 COD_{Mn} 的秩相关系数 r_s 为 -0.674, 汛期秩相关系数 r_s 为 -0.194, 说明 COD_{Mn} 在非汛期呈显著下降趋势, 汛期变化稳定; 而 NH₃-N、COD 和 BOD₅ 汛期和非汛期的秩相关系数 r_s 均为负值, 且绝对值大于临界值 0.414, 说明 NH₃-N、COD 和 BOD₅ 全年均呈显著下降趋势。

表 2 汛期和非汛期主要污染因子浓度年际变化

Tab.2 Annual variation trend of the primary pollution factors in flood season and non flood season

水质指标	非汛期		汛期	
	秩相关系数 r_s	水质变化趋势	秩相关系数 r_s	水质变化趋势
氨氮	-0.949	显著下降	-0.490	显著下降
化学需氧量	-0.765	显著下降	-0.578	显著下降
高锰酸盐指数	-0.674	显著下降	-0.194	变化稳定
五日生化需氧量	-0.804	显著下降	-0.561	显著下降
总磷	0.377	变化稳定	0.691	显著上升

3 讨论

3.1 淮河水质变化特征

20 世纪 80 年代后期, 淮河流域水污染凸显, 进入 90 年代水污染加剧。1995 年, 国务院发布我国第一部流域水污染防治法规《淮河流域水污染防治暂行条例》, 拉开了淮河流域水污染综合治理的序幕。2000 年开始调整工业结构, 排入流域内的污染物总量明显降低, 淮河水质有所改善, 2004 年由于突发高浓度污水下泄事故, 淮河水质再次发生恶化。2005 年以来, 通过开展淮河水污染联防联控, 淮河干流再未发生大范围突发性水污染事故。随着国家对淮河流域水污染治理的投入, 通过连续实施水污染防治的五年规划, 工业污染源达标治理逐步取得成效, 城镇污水处理厂建设规模不断扩大, 淮河流域点源污染逐步得到控制, 全流域入河排污量明显减少。2018 年淮河流域主要污染物 COD 入河排放量

20.69 万 t, NH₃-N 入河排放量 1.77 万 t, 比 2000 年的 94.7 万 t 和 8.7 万 t, 分别减少了 78.2% 和 79.7%。

1999 - 2019 年, 淮河干流水质逐步改善, 从 1999 年的 V 类及劣 V 类水为主提升到常年保持在 II 类和 III 类水的水平, 总体上综合污染指数明显下降, 淮河主要污染因子 NH₃-N、COD、COD_{Mn} 指数等浓度显著下降。

3.2 淮河污染物结构的转变

1999 - 2019 年, 淮河干流污染因子 NH₃-N、COD、COD_{Mn} 和 BOD₅ 浓度均呈显著下降趋势, 但总磷浓度呈显著上升趋势, 淮河污染物结构发生重大转变, 从 NH₃-N、COD、COD_{Mn} 逐渐转变为 TP, TP 浓度在非汛期变化稳定、汛期显著上升。研究表明, 淮河沉积物中 TP 主要受到农业面源污染的影响(刘振宇等, 2018; 郝永飞等, 2020)。随着社会经济的发展, 淮河流域工业污染源达标治理及城镇污水处理厂建设规模的不断扩大, 淮河水污染防治工作逐步取得成效, 点源污染得到有效控制(陈博文等, 2017; 朱霞林, 2021), 淮河污染源结构发生了重大变化, 面源污染已经成为淮河流域地表水体污染的主要来源之一(马静, 2013; 周涛等, 2013)。

近年来, 我国面源污染的比重在日益提高, 主要农业面源污染指标——化肥施用量和畜禽养殖业产生的 COD、TP 和 NH₄⁺-N 在 1999 - 2018 年均呈先上升后趋于平稳或有下降的趋势(高福等, 2021)。据《第二次全国污染源普查公报》结果显示, 种植业、畜禽养殖业等农业源污染物排放量在全国水污染物排放量中占较大比重, 农业源污染物 COD、TN 和 TP 排放分别占全国水污染物排放量的 49.8%、46.5% 和 67.2%。从排放量和排放强度来看, 淮河流域 COD、TN 和 NH₃-N 等污染物的排放量较大, 单位水资源的污染物排放强度大。淮河流域耕地面积占全国的 12%, 粮食产量约占全国总产量的 1/6, 第一产业比重大, 当前农业面源污染的控制已成为改善淮河流域水环境的重要任务。

参考文献

- 陈博文, 任志安, 2017. 淮河流域经济增长、FDI 与工业污染排放的时空研究[J]. 嘉兴学院学报, 29(5): 119 - 127.
- 褚金庭, 朱华康, 1996. 淮河干流汛期水污染事故的形成及防御措施[J]. 水资源保护, (2): 9 - 13.
- 党伟, 焦利民, 2018. 淮河上游水质污染特征及其综合评价[J]. 水土保持研究, 25(5): 358 - 363, 370.
- 董广霞, 毛剑英, 2005. 淮河流域污染“久治不愈”原因浅析及

- 治理措施建议[J].中国环境监测,21(6):75-78.
- 高福,冯棣,孙池涛,等,2021.农业面源污染指标与地表水质量的相关性研究[J].灌溉排水学报,40(6):119-124.
- 高伟,陈岩,徐敏,等,2013.抚仙湖水质变化(1980-2011年)趋势与驱动力分析[J].湖泊科学,25(5):635-642.
- 郭学士,2017.2010-2016年彰武南海水库水质变化趋势分析[J].海河水利,(4):17-19.
- 郝永飞,金光球,唐洪武,等,2020.淮河干流典型污染物时空分布特性分析[J].河海大学学报(自然科学版),48(4):291-299.
- 吉婷婷,王细元,2019.淮河生态经济带不同水文时期水质的时空特征研究[J].中国农业资源与区划,40(8):103-112.
- 李萍,2021.罗时江水质的时空变化特征分析[J].环境科学导刊,40(1):30-35.
- 刘振宇,唐洪武,肖洋,等,2018.淮河沉积物总磷和重金属沿程变化及污染评价[J].河海大学学报(自然科学版),46(1):16-22.
- 马静,2013.淮河流域面源污染特征分析与控制策略研究[D].北京:清华大学.
- 佟玲玲,2016.河流综合水质评价方法比较研究[J].黑龙江科技信息,(15):113.
- 王淑丽,李志萍,赵贵章,等,2021.2005-2018年涡河玄武河段水质演变趋势分析[J].人民长江,52(5):13-17.
- 吴春霞,彭博,滕晓楠,2015.淮河干流蚌埠闸上近14年水质变化特征[J].水利科技与经济,21(1):59-60.
- 许凯,王惠英,李永丽,2017.淮干上游56年水质演变过程及污染趋势分析[J].环境工程,35(12):163-165,24.
- 于紫萍,许秋瑾,魏健,等,2020.淮河70年治理历程及“十四五”展望[J].环境工程技术学报,10(5):746-757.
- 张翔,2021.综合污染指数评价法在北洛河上的研究应用[J].水利技术监督,(3):8-10,18.
- 周森,李维刚,易灵,等,2016.四种水质评价方法的特点分析与比较研究[J].环境科学与管理,41(12):173-177.
- 周涛,刘文清,张晓玲,等,2013.浅谈淮河流域农业面源污染的成因与防治[J].治淮,(12):4-5.
- 朱龙腾,陈远生,燕然然,等,2012.1951年至2010年北京市降水 and 气温的变化特征[J].资源科学,34(7):1287-1297.
- 朱霞林,2021.淮河流域水环境污染与经济增长的关系研究[J].蚌埠学院学报,10(1):122-128.
- Fraga M, Silva D, Reis G B, et al, 2021. Temporal and spatial trend analysis of surface water quality in the Doce River basin, Minas Gerais, Brazil[J]. Environment, Development and Sustainability, 23(8):12124-12150.
- Hossain M, Patra P K, 2020. Water pollution index—A new integrated approach to rank water quality[J]. Ecological Indicators, 117: 106668. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106668
- Luo P, He B, Takara K, et al, 2011. Spatiotemporal trend analysis of recent river water quality conditions in Japan. [J]. Journal of environmental monitoring, 13(10):2819-2829.
- Yenilmez F, Keskin F, Aksoy A, 2010. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 36(5/6):135-140.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Temporal and Spatial Variation of Water Quality and Pollution Trend of Huaihe River

ZENG Feng-lian, YANG Gang, WANG Ping, JIAO Hai-yan, ZHANG Ting-ting

(Eco-Environmental Monitoring and Scientific Research Center, Huaihe Valley Ecology and Environment Administration, Ministry of Ecology and Environment, Bengbu 233000, P.R.China)

Abstract: Studying the temporal and spatial trends in a river's water quality provides a scientific basis for protecting the ecology of the river system. In this study, using water quality data for the river from 1999 to 2019, we explored the spatiotemporal variations of water quality in the Huaihe River and variations in the concentration of each primary pollutant. Twenty-three surface water quality parameters, monitored at nine transects on the main stem of Huaihe River, were used to evaluate water quality over the 20 year period, using both the single factor method and the comprehensive pollution index (CPI). Spearman rank correlation and the Mann-Kendall test were used to analyze water quality trends and identify the primary pollutants. Results show that water quality in the Huaihe River improved significantly from 1999 to 2019. The percentage of transects meeting Class I–III water quality standards increased, and transects with water quality inferior to Class V accounted for 44.4% of those monitored in 1999, no transects with water quality of Class V or below occurred after 2007. The CPI of Huaihe River decreased continuously from 1.35 in 1999 to 0.42 in 2019. The Spearman rank correlation coefficient of the CPI for all transects decreased significantly, ranging from -0.694 to -0.977 . The concentration of the ammonia nitrogen (N-NH_3), chemical oxygen demand (COD_{Cr}), permanganate index (COD_{Mn}) and five-day biochemical oxygen demand (BOD_5) all decreased significantly, while total phosphorus (TP) increased significantly. TP was stable in the non-flood season but increased significantly in the flood season. Spatially, water quality in the Huainan Dagoujian and Wujiadu transects was relatively poor, with a large seasonal variation, and water quality in the Laobatou transect was better, with less seasonal variation. The Mann-Kendall test showed major changes in the composition of primary pollutants entering Huaihe River, from N-NH_3 and COD to TP. This indicates a reduction in point source pollution in the river basin and a gradual increase in non-point source pollution. Thus, control of agricultural non-point source pollution will be important for continued improvement of water quality in the Huaihe River basin.

Key words: Huaihe River; water environment quality; pollution characteristics; pollution factors; change trends