

Trends Analysis and Evaluation of Water Quality in the Main Stream of the Yangtze River in 2004-2016

Qiyue Zhang

Wuhan No. 2 Middle School, Wuhan Hubei
Email: 2584575718@qq.com

Received: Feb. 13th, 2019; accepted: Feb. 28th, 2019; published: Mar. 7th, 2019

Abstract

Based on years of water quality data, the STL (Seasonal-Trend Decomposition using LOESS), seasonal Mann-Kendal test, Hurst index method and water quality index (WQI) were used to analyze the current status and trends of the Yangtze River mainstream water quality. The results showed that the water quality trends along the mainstream were different. The dissolved oxygen in Panzhihua, Chongqing, Yueyang and Jiujiang had a slight downward trend, while Yichang and Nanjing had a slight upward trend. The COD_{Mn} of Panzhihua, Yichang and Yueyang showed a significant downward trend, while COD_{Mn} in Chongqing, Jiujiang and Nanjing showed a significant upward trend. Nanjing ammonia had a significant upward trend and the remaining points had dropped significantly. The above single water quality indicators had smaller variations. The water quality of the main stream of the Yangtze River fluctuated between good and very good; the water quality in Nanjing showed a significant deterioration trend; while Yueyang had a significant improvement trend, the other points were flat and the persistence intensity was strong. As Nanjing is at the most downstream, the decline in water quality may be caused by economic development and human activities, and should be highly valued by relevant government departments.

Keywords

Water Quality Trends, Water Quality Index, Seasonal Mann-Kendal Test, Hurst Index

2004~2016年长江干流水质变化趋势及评价

章启月

武汉市第二中学, 湖北 武汉
Email: 2584575718@qq.com

收稿日期: 2019年2月13日; 录用日期: 2019年2月28日; 发布日期: 2019年3月7日

摘要

依据多年水质数据,采用STL (Seasonal-Trend Decomposition using LOESS)、季节性肯达尔检验、Hurst指数法和水质综合指数(WQI)等,分析了长江干流水质现状、变化趋势等。结果表明:沿程水质变化趋势不一,攀枝花、重庆、岳阳、九江等溶氧有轻微下降趋势,宜昌和南京则有轻微上升趋势。攀枝花、宜昌和岳阳等高锰酸盐指数有显著性下降趋势,而重庆、九江和南京等COD_{Mn}则有显著性上升趋势。南京氨氮有显著性上升趋势,其余各点显著下降。以上单项水质指标变幅均较小。长江干流水质在较好和非常好之间波动;南京水质有显著恶化趋势;而岳阳则有显著改善趋势,其余各点持平,持续性强度均较强。南京水质下降可能与其处于最下游,受经济发展和人类活动影响较大有关,应引起有关政府部门的高度重视。

关键词

水质趋势, 水质综合指数, 季节性肯达尔检验, Hurst指数

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着我国社会经济的高速发展,水环境污染问题越来越引起高度重视。虽然近年来长江经济带的生态环境保护工作已引起了党中央、国务院高度重视,出台了一系列重要文件,但历经多年的传统经济发展方式仍未根本改变,长江生态环境状况仍然形势严峻。随着长江流域经济社会的发展、城市化进程的加快,长江水生态环境特征不断发生变化。

据《长江经济带生态环境保护规划》,长江流域近20年城镇面积增加了39.03%,部分大型城市城镇面积及人口增加显著,资源环境超载问题严重。2005年,长江流域废污水排放量为296.4亿吨,2015年为346.7亿吨(不含火电厂直流式冷却水和矿坑排水368.5亿吨,不含西藏废污水排放量),与上年度同比增加7.9亿吨,增幅2.4%,至2015年,总增幅达17.0%,呈逐年增加趋势。此外长江三角洲、长江中游等地区存在集中连片污染问题;部分支流水质较差,湖库富营养化未得到有效控制;城镇和农村集中居住区普遍存在黑臭水体。据《2017年中国生态环境状况公报》,长江干流水质为优,无IV类、V类和劣V类。与2016年相比,II类水质断面比例下降10.1个百分点,III类上升15.2个百分点,IV类下降5.1个百分点,其他类均持平。虽然近年来生态环境部公布的《全国地表水水质月报》和长江流域水资源保护局公布的《长江流域水资源质量公报》中数据显示长江干流水质基本处于良好状态,但长江干流作为上述问题的最终载体,其水质状况仍不可轻视。

长江水质相关研究较多,主要归纳为以下几个方面:1)长江水质主要影响因素和模型模拟。1993年,长江开始兴建世界上最大的水利枢纽工程:三峡工程。诸多学者就三峡工程的建设对长江水质造成的影响进行了大量的研究[1]。三峡工程运行后在枯水期增加了下泄流量,提高了长江中下游河段枯水期沿程水位与平均流量,改变了中下游河段污染物排放的水动力扩散特性,进而对河道的水质产生了一定的影响[2]。三峡工程运行后,由于流量年内分布趋于均匀化,各个不同时期的污染物扩散范围总体呈现减小趋势[2]。汪金成等对长江委水文局所属长江干流水质站,对2000~2007年以来长江干流水质趋势进行了分析,指出

干流水质总体较好,但污染并未得到有效遏制,未来有恶化趋势[3]。王小焕等对 2004~2014 年间三峡水库入出库水质进行评价,发现入出库水质均介于 I、II 类间;年均入库水质变化明显呈现良好趋势,而出库水质变化趋势基本不变[1]。胡宏昌等基于 17 个观测站近两年的观测数据,应用 Markov 模型对未来 10 年长江水质变化趋势进行了预测,指出未来 10 年 I、II、III、IV 类水将逐年减少,而 V、劣 V 类水将逐年增加[4]。基于实测数据对长江干流整体趋势分析的研究目前还没有,具有极大的现实意义。本文依据多年监测数据,对长江干流水质现状进行分析,并探讨了 2004~2016 年来长江干流水质变化趋势。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源与处理

水质数据来源于主要流域重点断面水质自动监测周报。该周报由生态环境保护部数据中心(<http://datacenter.mep.gov.cn/>)以周为时间单元发布(从 2004 年第 1 周至今)。本文选取了长江干流数据基础好且时间跨度相对较长的 6 各断面,按上下游关系依次为:攀枝花、重庆、宜昌、岳阳、九江、南京(见表 1)。由于 2017、2018 两年缺失数据较多,本文选取 2004~2016 年的数据进行分析。主要指标为溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})和氨氮(NH₃-N),单位均为 mg·L⁻¹。水环境质量评价标准执行《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)。

Table 1. Sample sites information

表 1. 样点信息

省市	断面	纬度	经度	备注
攀枝花	龙洞	26.59728	101.50657	位于观音岩电站和攀枝花市之间,在攀枝花市上游约 40 km 处
重庆	朱沱	28.99944	105.85080	接近川渝界,位于重庆城区上游约 180 km 处
宜昌	南津关	30.76081	111.27319	位于三峡大坝以下,宜昌城区上游边界处
九江	河西水厂	29.72943	115.98112	九江市,鄱阳湖与长江交汇口上游约 30 km
岳阳	城陵矶	29.44979	113.14870	位于洞庭湖与长江交汇口下游约 1 km 处
南京	林山	31.88643	118.52390	接近安徽、江苏省界,位于南京市上游约 30 km

2.2. 研究方法

由于河流生态系统生态过程具有明显的周期性变化,河流水质受季节、流量等周期性变化影响很大。简单的时间变化分析不能识别水质变化趋势,必须考虑排除干扰误差,考虑变化过程中固有的周期性和随机性特征。STL (Seasonal-Trend Decomposition using LOESS)采用局部加权回归法进行拟合,是可以处理非线性、局部趋势的非参数统计方法,并被逐步用于水质评价中[5]。季节性肯达尔检验能对水质参数在不同年份相同月(季)间进行比较,避免了季节性的影响[6]。运用季节性肯达尔检验的统计量可判断水质趋势的升降,还可运用与检验相伴随的季节性肯达尔检验的斜率估计方法,对水质变化趋势的大小进行定量分析,但无法预测未来的发展趋势[6]。

水质未来的变化趋势可用 Hurst 指数法分析方法确定。Hurst 指数法用于定量描述时间序列的持续性,属于非参数分析方法,事先不必假定数据的分布特征,一般采用 R/S 分析法计算 Hurst 指数[7]。Hurst 指数(H 值)可以反映持续效应的强度,其取值有 3 种形式:① 若 $0.5 < H < 1$,表明该指标在时间尺度上的

变化具有持久性，过去的一个增量对应未来的一个增量，即时间序列前后正相关；② 若 $H = 0.5$ ，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”；③ 若 $0 < H < 0.5$ ，表明该指标的时间序列数据具有反持续性，过去变量与未来趋势呈负相关，序列有突变跳跃特性。 H 值越接近 0，其反持续性越强； H 值越接近 0.5，时间序列的随机性越强；越接近 1，其持续性越强[1]。第 1 种和第 3 种形式可以进一步按由弱到强分为 5 级[1] (见表 2)。因而引入 Hurst 指数法分析方法与季节性肯达尔检验相结合，分析与预测长江干流水质趋势。

Table 2. Classification of Hurst index
表 2. Hurst 指数分级表

等级	Hurst指数值域	持续性强度	等级	Hurst指数值域	持续性强度
1	$0.5 < H \leq 0.55$	很弱	-1	$0.45 < H < 0.50$	很弱
2	$0.55 < H \leq 0.65$	较弱	-2	$0.35 < H \leq 0.45$	较弱
3	$0.65 < H \leq 0.75$	较强	-3	$0.25 < H \leq 0.35$	较强
4	$0.75 < H \leq 0.8$	强	-4	$0.20 < H \leq 0.25$	强
5	$0.8 < H \leq 1$	很强	-5	$0 < H \leq 0.2$	很强

采用水质指数法(Water quality index, WQI)对水体质量进行评价。该法依据各评价指标的相对重要程度，对各分指数赋以不同的权重值，并体现在综合指数的计算式中，在评价指标不多时可使用此法。WQI 值计算公示如下[8]：

$$WQI_{sub} = k \frac{\sum_i C_i P_i}{\sum_i P_i} \quad (1)$$

其中， k 代表对水质的主观判断值，对良好水质赋值 1，严重污染的水体赋值 0.25； C_i 代表标准化的水质参数；标准化依据参见 Pesce 发表的文章[8]。 P_i 代表水质参数的权重值，pH 赋权 1，DO 赋权 4， COD_{Mn} 和 NH_3-N 均赋权 3 [8]。此次研究设置 k 值为 1，WQI 值在 0~25 之间代表水质非常差，26~50 代表水质差，51~70 代表水质中等，71~90 代表水质较好，91~100 代表水质非常好[9]。本文所有制图和分析均使用 R3.5.1 完成。

3. 结果与分析

3.1. 水质基本情况

研究区域水质因子时空变化范围见图 1，整体而言水体呈弱碱性，根据《地表水环境质量标准》基本项目评价标准，研究区域水体全年均达到地表水水环境质量 III 类水标准，其中 6~8 月南京溶氧达到 III 类水标准，其他站点偶有指标达到 III 类水标准，整体水质状况较好。就 pH 而言，时间上看岳阳和南京季节变化明显；空间上看攀枝花相对较高，而九江 pH 相对较低。就 DO 而言，时间上看所有样点均有明显季节变化；空间上看攀枝花季节波动较小，岳阳、九江和南京波动较大，且观测值呈降低趋势。就 COD_{Mn} 而言，攀枝花、重庆和宜昌季节波动明显，但波动幅度依次降低；非汛期攀枝花实测值明显低于其他样点，但汛期与其他样点基本持平，甚至超出。就 NH_3-N 而言，攀枝花和宜昌季节波动较小，其余样点具有明显季节变化；同时攀枝花和宜昌观测值总体较小，重庆和岳阳相对较高。

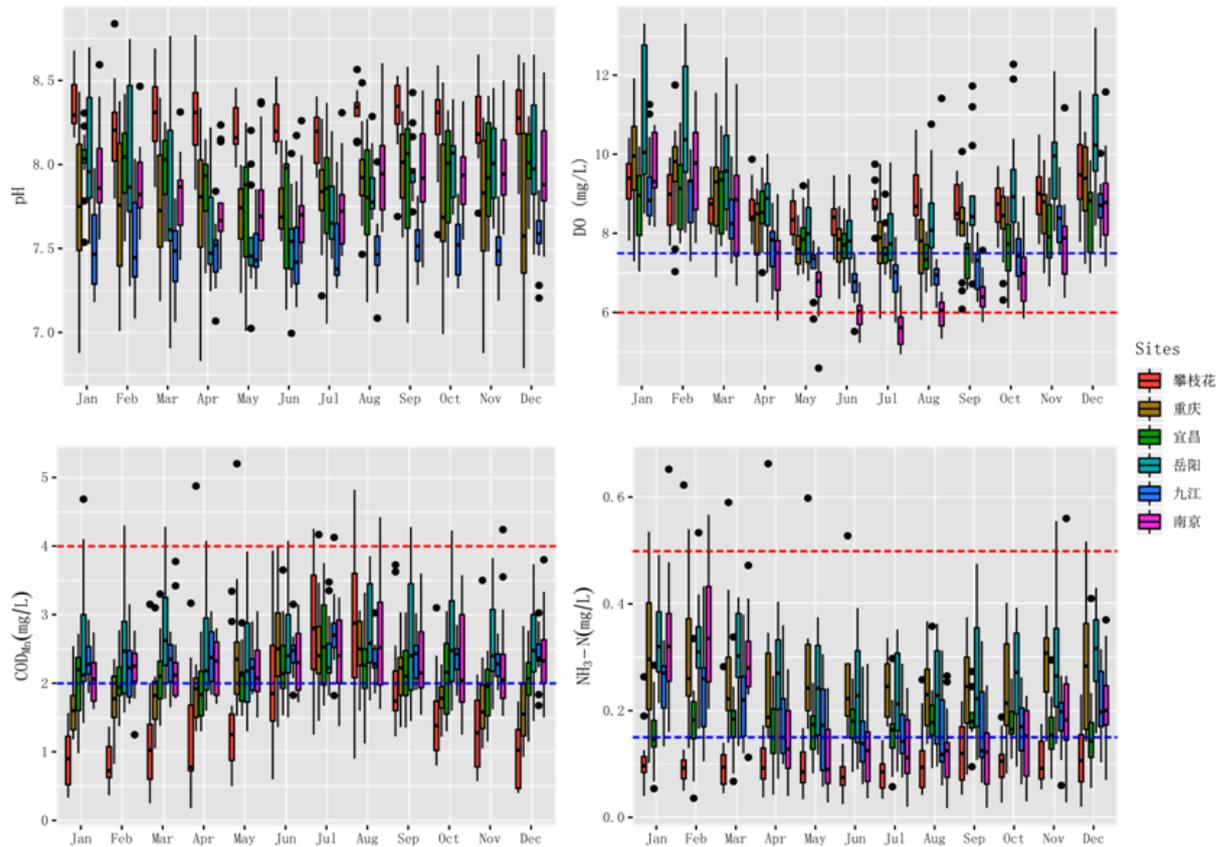


Figure 1. Spatio-temporal dynamic boxplot of water quality parameters of various samples (The blue and red horizontal dotted lines in the figure correspond to Class I and Class II water quality standards respectively)

图 1. 各样点水质参数时空动态箱线图(图中蓝色、红色水平虚线分别对应 I 类、II 类水质标准)

3.2. 水质变化趋势

选择 pH、DO、COD_{Mn} 和 NH₃-N 等 4 项水质参数,采用季节性肯达尔检验和季节性肯达尔斜率估计,对长江干流 6 个监测断面的水质变化趋势进行了分析。结果见表 3。

就各区域 pH 趋势分析结果表明:重庆、南京 pH 有小幅上升趋势,攀枝花、宜昌、岳阳和九江 pH 有小幅下降趋势。季节曼肯达尔显著性检验结果表明,重庆 pH 变化趋势不显著,其余各点 pH 变化趋势显著。通过季节性 sen's 斜率判断,宜昌 pH 变化速率较快,其余各点较慢。从持续性强度来看,宜昌 Hurst 指数高于 0.75,持续性强度强,其余各点 Hurst 指数均位于 0.65~0.75 之间,变化趋势持续性较强。同时季节曼肯达尔自相关检验结果表明,仅宜昌 pH 变化具有显著季节自相关性,这与宜昌 pH 变化持续强度最强互相呼应。

就各区域 DO 趋势分析结果表明:攀枝花、重庆、岳阳、九江有一定下降的趋势,宜昌和南京有一定的上升趋势。显著性检验结果表明仅攀枝花和南京的趋势有显著性。通过季节性 sen's 斜率判断,南京和岳阳 DO 变化速率较快,宜昌和九江变化速率较慢。Hurst 指数结果表明:攀枝花、重庆、宜昌和南京 DO 变化持续性处于较强等级,而九江和岳阳处于较弱等级。各样点自相关结果均不显著。

就各区域 COD_{Mn} 趋势分析结果表明:攀枝花、宜昌和岳阳有显著性下降趋势,而重庆、九江和南京则有显著性上升趋势。岳阳和宜昌变化速率较快,攀枝花和重庆变化速率较慢。Hurst 指数结果表明:重庆延续性强度较弱,岳阳延续性强度强,其余各点延续性较强。宜昌、岳阳和九江具有显著季节性自相关。

就各区域 $\text{NH}_3\text{-N}$ 趋势分析结果表明：攀枝花、重庆、宜昌、岳阳和九江均有轻微下降趋势，其中除重庆外，其余各点变化趋势均显著；南京具有显著性上升趋势。从季节性 sen's 斜率可以看出，所有区域变化速率均较微弱。而从 Hurst 指数可以看出，重庆延续性强度较弱，岳阳延续性强度强，其余各点处于较强水平。自相关检验结果表明宜昌、岳阳和南京具有显著自相关，其余各点自相关不显著。

Table 3. Analysis of the trend of individual water quality parameters in mainstream of the Yangtze River
表 3. 长江干流各样点单项水质指标变化趋势分析

水质指标	分析方法与参数	攀枝花	重庆	宜昌	岳阳	九江	南京
pH	季节性曼肯达尔检验	0.00**	0.39	0.00**	0.01*	0.00**	0.00**
	季节性曼肯达尔自相关检验	0.07	0.67	0.04*	0.11	0.19	0.11
	Hurst 指数	0.71	0.73	0.77	0.66	0.75	0.69
DO	季节性 sen's 斜率	(0.02)	0.01	(0.04)	(0.01)	(0.01)	0.02
	季节性曼肯达尔检验	0.01*	0.06	0.83	0.13	0.21	0.00**
	季节性曼肯达尔自相关检验	0.20	0.43	0.89	0.48	0.50	0.06
COD _{Mn}	Hurst 指数	0.70	0.71	0.70	0.60	0.58	0.65
	季节性 sen's 斜率	(0.04)	(0.04)	0.01	(0.05)	(0.02)	0.07
	季节性曼肯达尔检验	0.03*	0.01*	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**
NH ₃ -N	季节性曼肯达尔自相关检验	0.21	0.09	0.00**	0.01*	0.03*	0.14
	Hurst 指数	0.66	0.62	0.73	0.77	0.73	0.73
	季节性 sen's 斜率	(0.03)	0.03	(0.09)	(0.12)	0.04	0.04
NH ₃ -N	季节性曼肯达尔检验	0.02*	0.57	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**
	季节性曼肯达尔自相关检验	0.08	0.73	0.00**	0.00**	0.21	0.00**
	Hurst 指数	0.65	0.64	0.76	0.80	0.75	0.70
NH ₃ -N	季节性 sen's 斜率	(0.00)	(0.00)	(0.01)	(0.02)	(0.01)	0.01

注：* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$ ；()中加粗数字表示降低。

4. 水质综合评价

计算 WQI 值对所有样点进行水质评价，结果见图 2。攀枝花江段水质较稳定，各月份 WQI 均大于 90，水质非常好，明显高于其他各点；季节性曼肯达尔检验结果表明有显著季节变化，季节性 sen's 斜率接近 0，长期水质比较稳定，Hurst 指数表明未来延续性强度较强(表 4)。重庆江段水质波动较大，WQI 值多低于 90，水质较好，季节性曼肯达尔检验表明无显著性季节变化；季节性 sen's 斜率接近 0，长期水质比较稳定，Hurst 指数表明未来延续性强度较强(见表 4)。宜昌江段 WQI 值多接近 90，在非常好和较好间波动，2004 年~2015 年间水质有上升趋势，2016 年内波动较大，且后期有较明显下降；从季节性 sen's 斜率看，长期水质趋于平稳，且持续性强度强。岳阳江段 2010 年前 WQI 多低于 90，2010 年后多高于或接近 90，季节性 sen's 斜率为 0.34，上升趋势明显，Hurst 指数表明其持续性强度较强(见表 4)。九江江段 WQI 值多低于 90，水质主要处于较好状态，有一定波动，从季节性 sen's 斜率看，长期水质趋于平稳，持续性强度较强。南京江段 WQI 值多低于或接近 90，水质处于较好状态，但季节性 sen's 斜率为-0.34，表明水质有显著性下降趋势，Hurst 指数表明其持续性强度较强。

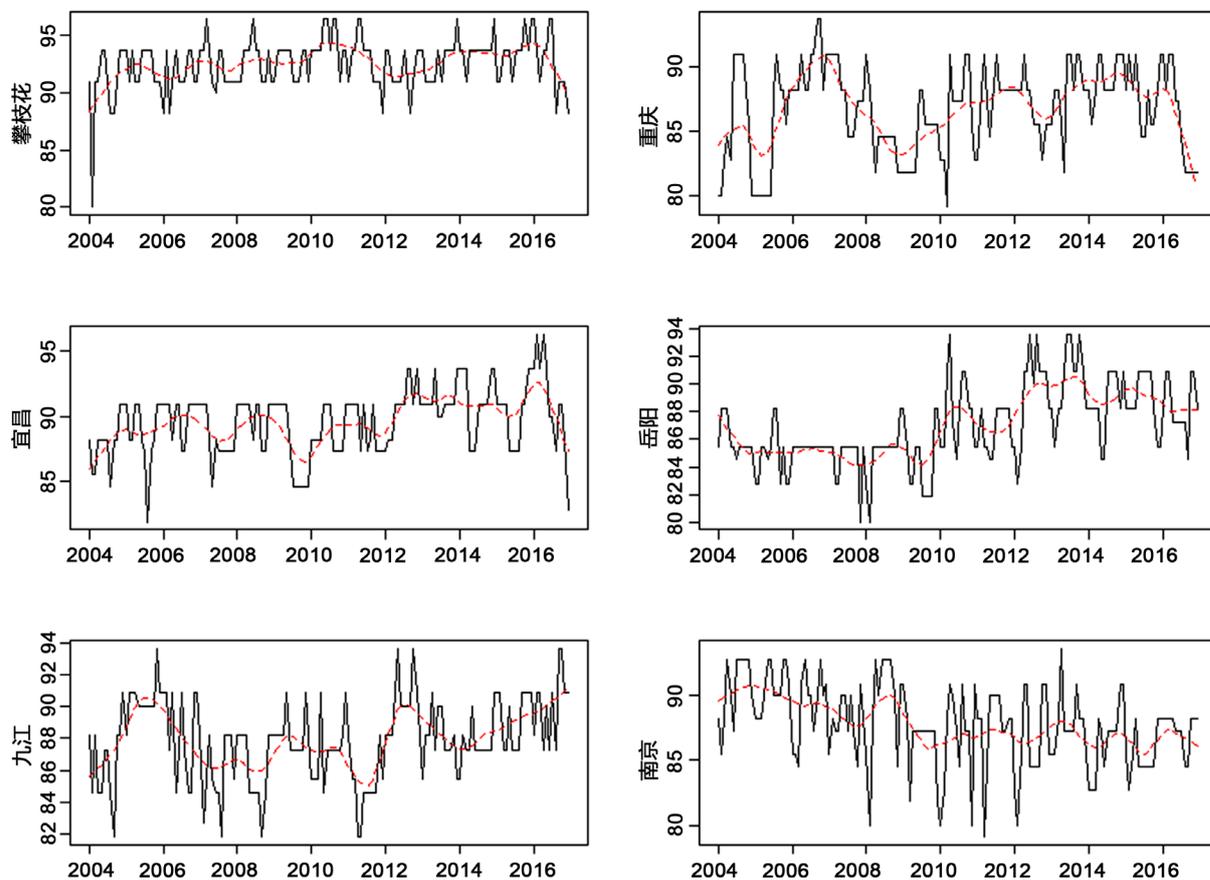


Figure 2. Changes and trends of water quality index of the main stream of the Yangtze River (The red dotted line in the figure is the trend line decomposed by the STL method)

图 2. 长江干流各样点水质指数变化及其趋势(图中红色虚线为经 STL 方法分解得到的趋势线)

Table 4. Significance test and intensity analysis of water quality index change trend of the main stream of the Yangtze River
表 4. 长江干流各样点水质指数变化趋势显著性检验及强度分析

分析方法与参数	攀枝花	重庆	宜昌	岳阳	九江	南京
季节曼肯达尔检验	<0.01**	0.17	0.00**	0.01*	0.12	0.00**
季节曼肯达尔自相关检验	0.06	0.44	0.02*	<0.01**	0.50	<0.01**
Hurst 指数	0.71	0.73	0.77	0.66	0.75	0.69
季节性 sen's 斜率	0	0	0	0.34	0	(0.34)

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; ()中加粗数字表示降低。

5. 结论

水质问题关系着经济社会可持续发展,水质变化趋势分析是开展流域管理的基础。本文对从攀枝花到南京 6 个长江干流断面,2004 年到 2016 年共计 13 年的 pH、DO、COD_{Mn} 和 NH₃-N 等单项指标和 WQI 综合指标进行了变化趋势分析,初步得出以下结论:

- 1) 本文基于《地表水环境质量标准(GB 3838-2002)》和 WQI 指数发现,在本研究时间和空间范围,长江干流多数河段和月份单项水质优于 III 类,WQI 综合评价表明水质在较好和非常好之间波动。
- 2) 沿程各断面水质单项指标变化趋势不完全一致。攀枝花、重庆、岳阳、九江溶解氧(DO)有一定下降的趋势,宜昌和南京 DO 有一定的上升趋势。攀枝花、宜昌和岳阳等 COD_{Mn} 有显著性下降趋势,而重庆、

九江和南京等 COD_{Mn} 则有显著性上升趋势。南京 $\text{NH}_3\text{-N}$ 具有显著性上升趋势，其余各点显著下降。总体而言，以上水质指标在各断面的变化幅度均较小。

3) 就 WQI 变化趋势来看，南京有显著下降趋势；而岳阳有显著升高趋势，持续性强度均较强。南京水质下降可能与其处于最下游，受经济发展和人类活动影响较大有关，应引起有关政府部门的高度重视。

参考文献

- [1] 王小焕, 等. 三峡库区长江干流入库水质评价及其变化趋势[J]. 环境科学学报, 2017(2): 554-565.
- [2] 李林娟, 邓鹏鑫. 三峡工程运行前后长江中游河段水质变化模拟[J]. 人民长江, 2018(22): 51-56.
- [3] 汪金成, 卞俊杰, 陈新国. 2000 年以来长江干流水质变化趋势分析[J]. 湖北水力发电, 2009(2): 1-3.
- [4] 胡宏昌. 用 Markov 模型预测长江水质[J]. 长江流域资源与环境, 2006(6): 728-732.
- [5] 梁中耀, 等. 滇池水质时间序列变化趋势识别及特征分析[J]. 环境科学学报, 2014(3): 754-762.
- [6] 陈燕飞, 张翔. 汉江中下游干流水质变化趋势及持续性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015(7): 1163-1167.
- [7] Weron, R. (2002) Estimating Long-Range Dependence: Finite Sample Properties and Confidence Intervals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **312**, 285-299. [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(02\)00961-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(02)00961-5)
- [8] Pesce, S. (2000) Use of Water Quality Indices to Verify the Impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. *Water Research*, **34**, 2915-2926. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)
- [9] Kannel, P.R., et al. (2007) Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, **132**, 93-110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2334-3338, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ojswc@hanspub.org