

Temporal Evolution of Water Environment in Huaihe Eco-Economy Belt under Global Warming

Ling Zheng, Jun Wang, Huaijun Wang*, Yingping Pan, Yun Zhang

Department of Urban and Environment Science, Huaiyin Normal University, Huai'an Jiangsu
Email: *wanghj@ms.xjb.ac.cn

Received: Apr. 29th, 2018; accepted: May 22nd, 2018; published: May 29th, 2018

Abstract

Based on the meteorological and water resources data of Huaihe basin from 1960 to 2014, this paper analyzes the hydrological changes and evolution characteristics of water quality in Huaihe eco-economy zone. The main conclusions are as follows: 1) Temperature increased significantly, and precipitation did not change obviously. The cold extremes showed a significant decrease trend, warm extremes being an increase trend, and the precipitation extreme showed no obvious change. There was no significant change in drought/flood indices at the annual and seasonal scale; 2) The total amount of water resources was fluctuated with the change of precipitation. The quantity of wastewater emissions showed a significant increasing trend, while the COD emissions have reduced. The proportions of I, II and III have increased, while the proportions of IV and V water have decreased, which indicated that the water quality has become better. While the pollution is still serious, the proportion of IV and V water is still more than 50%.

Keywords

Water Environment, Temporal Evolution, Climate Change, Huaihe Basin

气候变暖背景下淮河生态经济带水环境演变特征

郑玲, 王军, 王怀军*, 潘莹萍, 张云

淮阴师范学院城市与环境学院, 江苏 淮安
Email: *wanghj@ms.xjb.ac.cn

*通讯作者。

文章引用: 郑玲, 王军, 王怀军, 潘莹萍, 张云. 气候变暖背景下淮河生态经济带水环境演变特征[J]. 地理科学研究, 2018, 7(2): 148-156. DOI: 10.12677/gser.2018.72020

收稿日期：2018年4月29日；录用日期：2018年5月22日；发布日期：2018年5月29日

摘要

本文基于1960~2014年气象数据以及1998~2014年淮河流域水资源公报数据，对淮河生态经济带水文情势和水质演变特征进行了分析。主要结论如下：1) 气温表现为显著上升趋势，降水量变化不显著。冷极值呈显著下降，暖极值呈波动上升趋势，降水极值表现为不显著变化；年与季节旱涝指数无显著变化趋势；2) 水资源总量随降水变化呈波动变化。废水排放量呈显著增长趋势，化学需氧量(COD)排放量减少。I、II、III类水的比重增加，IV和V类水的比重减少，水质总体向好，但污染仍然较为严重。

关键词

水环境，时间演变，气候变化，淮河流域

Copyright © 2018 by authors 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

全球气候变暖一直是科学家关注的研究热点[1] [2]。IPCC 第五次评估报告指出，全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势，2003~2012 年比 1850~1990 年的平均温度平均升高了 0.78℃ [3]。自 1913 年以来，我国的地表温度已上升了 0.91℃，特别是最近 50 年来气温上升尤为明显[4]。在全球气候变化和人类活动双重影响的大背景下，淮河流域水环境发生了重大变化[5]。研究指出，淮河流域社会经济进入快速发展期，水安全将面临更大的压力与挑战[6]。淮河中下游地区与沭河中下游地区水生态系统脆弱[7]，河流多处于病态。随着淮河流域城市化、工业化以及农业现代化的快速推进，流域人口增加、经济实力增强、工业和生活废水排放量持续增加，以及农业化学品的大量投入，导致流域水环境急剧恶化[8]。淮河流域各地市水污染防治能力普遍较低，且呈现显著空间差异性，流域水污染防治能力整体呈现干流高于支流，下游高于中游，中游高于上游的梯级趋势；流域经济发达地区防治能力明显高于欠发达地区，省会城市防治能力远高于普通地级市[8]。此外，淮河流域由于其比较特殊的地域特征，旱涝灾害非常容易发生[9]，“大雨大灾，小雨小灾，无雨旱灾”成了淮河流域的一个明显特点。自进入 21 世纪以来，夏季的多雨带高频率的出现在淮河流域，2003 年、2005 年以及 2007 年这三年期间淮河流域发生了后果严重的暴雨以及洪涝灾害，仅 2003 年期间淮河流域发生的暴雨灾害就造成了 181.7×10^8 元的直接经济损失[10]。

广义的水环境包括水量与水质两个方面[11]。在全球变化背景下，水文要素的变化直接影响水质的变化，如温度和降水的变化直接控制着水体的生态环境和径流变化，从而影响着水体内污染物的迁移转化过程。开展水环境对全球气候变化的响应研究，对减少气候变化对河流水环境的不利影响具有重要的意义。本文系统分析了淮河流域水环境(水量和水质)的演变规律，以期为保护现在的生态环境和积极应对未来气候变化提供决策参考。

2. 研究区、数据和方法

淮河流域位于我国东部地区，介于 30°55'~36°36'N，111°55'~121°25'E 之间，流域面积 27 万 km² (图 1)。

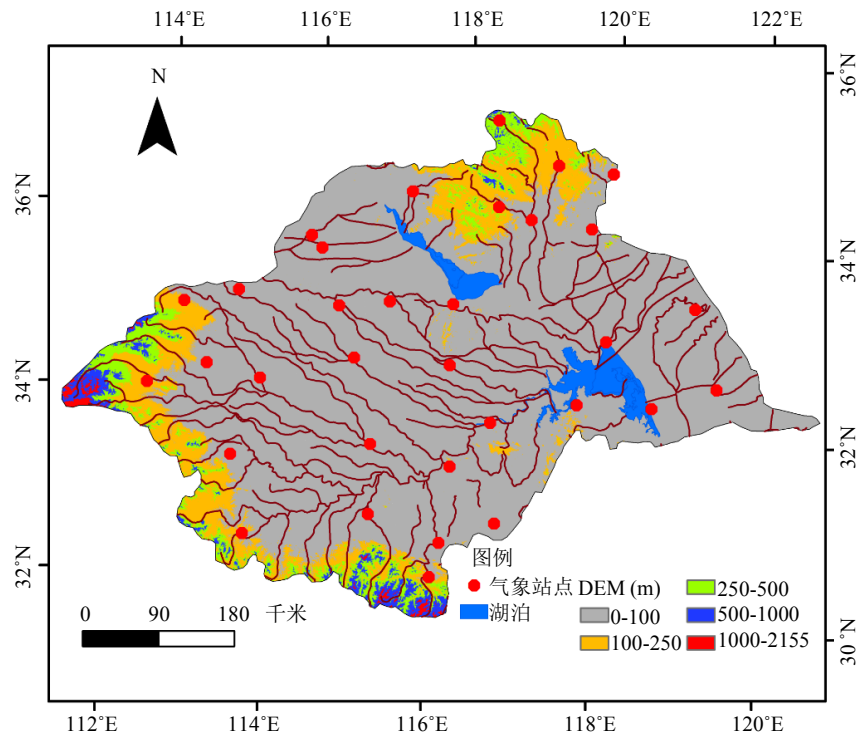


Figure 1. Distribution of meteorological stations in the Huaihe Basin

图 1. 淮河流域及流域内气象站点分布图

流域包括鄂、豫、皖、鲁、苏五省 40 个地(市) 181 个县(市), 流域内总人口 1.65 亿人, 平均人口密度居各大江大河流域人口密度之首, 为 611 人/平方公里。淮河流域 1956~2000 年多年平均地表水资源量 595 亿 m^3 , 人均占有量仅为全国的 1/4, 属严重缺水地区[12]。淮河流域地处我国南北方的过渡地带, 气候类型属于暖温带半湿润季风气候, 气候较温和。同时, 淮河流域的发展在我国社会经济发展中具有重要的战略地位, 主要工业形式有煤炭工业、电力工业及以农副产品作为原料的食品工业、轻纺工业。近年来, 淮河流域在国家各项政策的支持下, 以及受东部长江三角洲地区的辐射带动, 经济持续平稳增长, 产业结构不断升级优化, 产业结构层次不断提高。当前, 流域正处于城镇化、工业化和农业现代化快速发展时期, 水环境压力大, 2010 年水质 IV 类及以上监测断面占监控断面总数的 68.4%, 水环境污染防治任务艰巨[8]。

本文选用的气候数据来源于中国气象局国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn>), 选用的时段为 1960~2015 年, 站点数据为 33 个, 站点的算数平均值代表整个区域的气候变化。气候极值通过 RclimDex 软件包进行分析, 选用的气候极值指数包括: 霜冻日数(FD0, 日最低气温 $< 0^\circ\text{C}$ 的全部日数), 结冰日数(ID0, 日最高气温 $< 0^\circ\text{C}$ 的全部日数), 暖夜日数(TN90p, 日最低气温 $> 90\%$ 分位值的日数), 暖昼日数(TX90p, 日最高气温 $> 90\%$ 分位值的日数), 1 日最大降水量(RX1day, 每月最大 1 日降水量), 强降水量(R95p, 日降水量 $> 95\%$ 分位值的总降水量)。旱涝指数的表征主要采用标准化降水蒸散指数(SPEI) [13]。水资源总量数据和水质数据来源于淮河流域 1998~2014 年水资源公报。

趋势检验采用 Mann-Kendall 检验, 该方法经常应用于水文气象参数显著性检验的方法, 其优点在于不需要检验数据是否服从某种分布[14]。时间序列的自相关性会影响到 Mann-Kendall 检验的精度, 因此, 必须对序列的自相关进行处理, 消除时间序列的自相关成分。本文采用 Trend Free Pre-Whitening 方法对存在自相关性的序列去除时间序列的自相关性[15]。其具体步骤可参考[16]。

3. 结论与讨论

3.1. 气温和降水变化

年平均气温自 1960 年以来其趋势呈一种缓慢上升的状态, 变化幅度为 $0.022^{\circ}\text{C}/\text{a}$ (表 1)。气温的急剧上升多发生在 1993 年以后, 2007 年达到历史最高平均温度(图 2)。同年变化趋势一样, 季节气温表现为相同的增加趋势, 其中春季和冬季变化幅度最大, 达到 $0.036^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 和 $0.026^{\circ}\text{C}/\text{年}$ (表 1)。年平均降水量总体呈略微下降趋势, 变化幅度为 $-0.266 \text{ mm}/\text{a}$ ($p = 0.644$), 但并无较大的降水量变化现象。从季节变化来看, 春季和夏季降水减少, 夏季和秋季降水增加, 但变化趋势均不显著(图 2, 表 1)。

3.2. 极端温度和降水的变化

本文选取极端气温指标中霜冻日数(FD0)和冷夜日数(ID0) 2 个指标对冷极值进行分析。1960~2014 年间 FD0、ID0 均呈显著下降趋势(图 3, 表 1), 线性趋势的倾斜率分别为 $-0.414 \text{ d}/\text{a}$ 和 $-0.044 \text{ d}/\text{a}$ 。选取暖夜日数(TN90p)和暖昼日数(TX90p)为 2 个暖极值, 分析发现, 1960~2014 年间 TN90p 和 TX90p 均呈上升趋势, 线性趋势的倾斜率分别为 $0.199 \text{ d}/\text{a}$ 和 $0.061 \text{ d}/\text{a}$ (图 3, 表 1)。总的来说, TN90p (FD0)变化趋势比

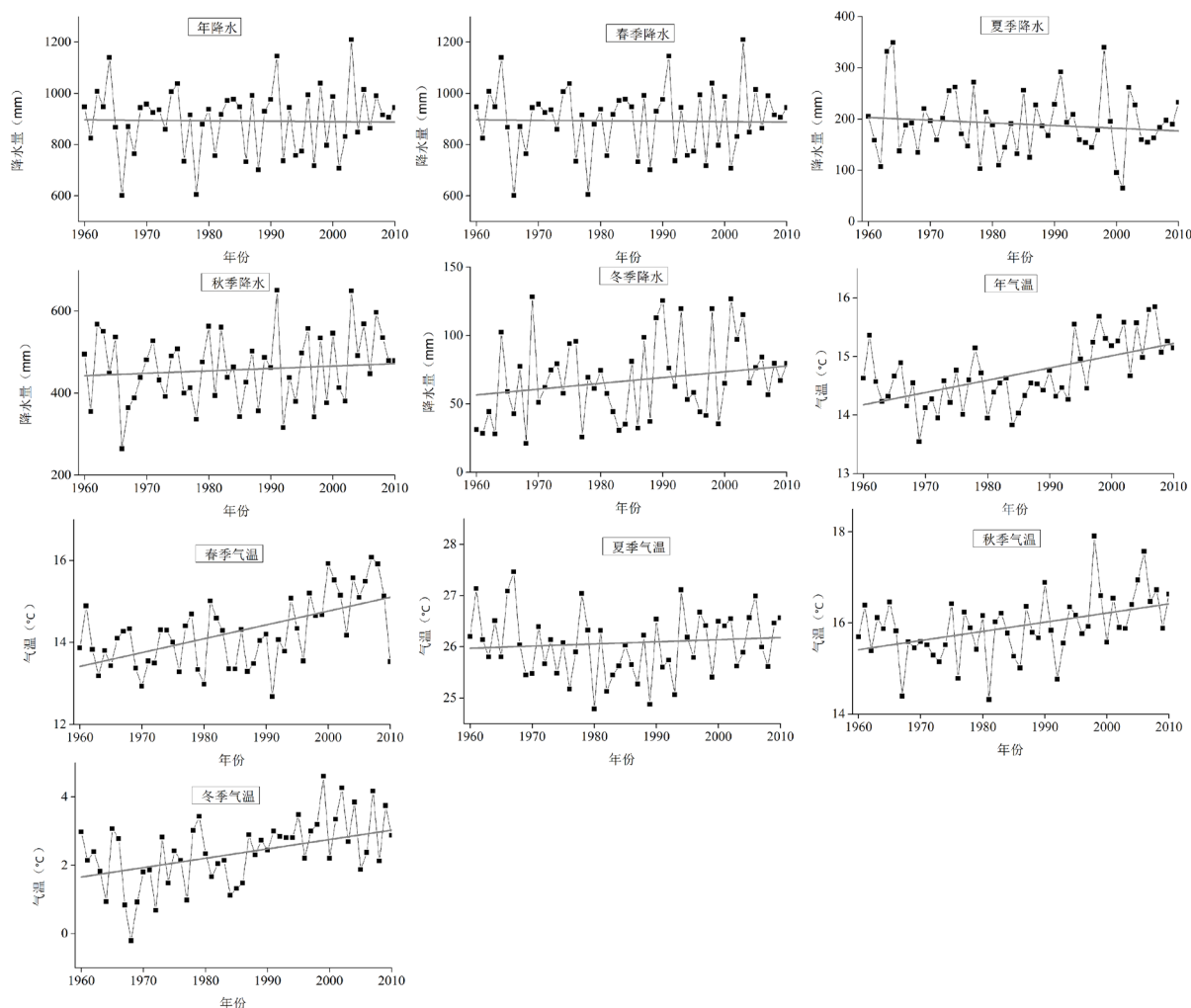


Figure 2. Time series of annual and seasonal precipitation and temperature

图 2. 平均气温和降水变化时间序列

Table 1. The results of trend test of main climatic variables
表 1. 主要气候指标趋势检验结果

降水	年	春	夏	秋	冬		
趋势	-0.266	-0.253	0.370	-0.703	0.436		
显著度 p	0.644	0.676	0.317	0.270	0.101		
气温	年	春	夏	秋	冬		
趋势	0.022	0.036	0.005	0.018	0.026		
显著度 p	0.000	0.000	0.347	0.000	0.001		
极值	FD0	ID0	TN90P	TX90P	R1day	R95p	
趋势	-0.414	-0.044	0.199	0.061	0.072	-0.037	
显著度 p	0.000	0.031	0.000	0.263	0.303	0.654	
SPEI	年	春	夏	秋	冬		
趋势	0.011	-0.012	0.018	-0.003	0.017		
显著度 p	0.081	0.257	0.003	0.846	0.076		

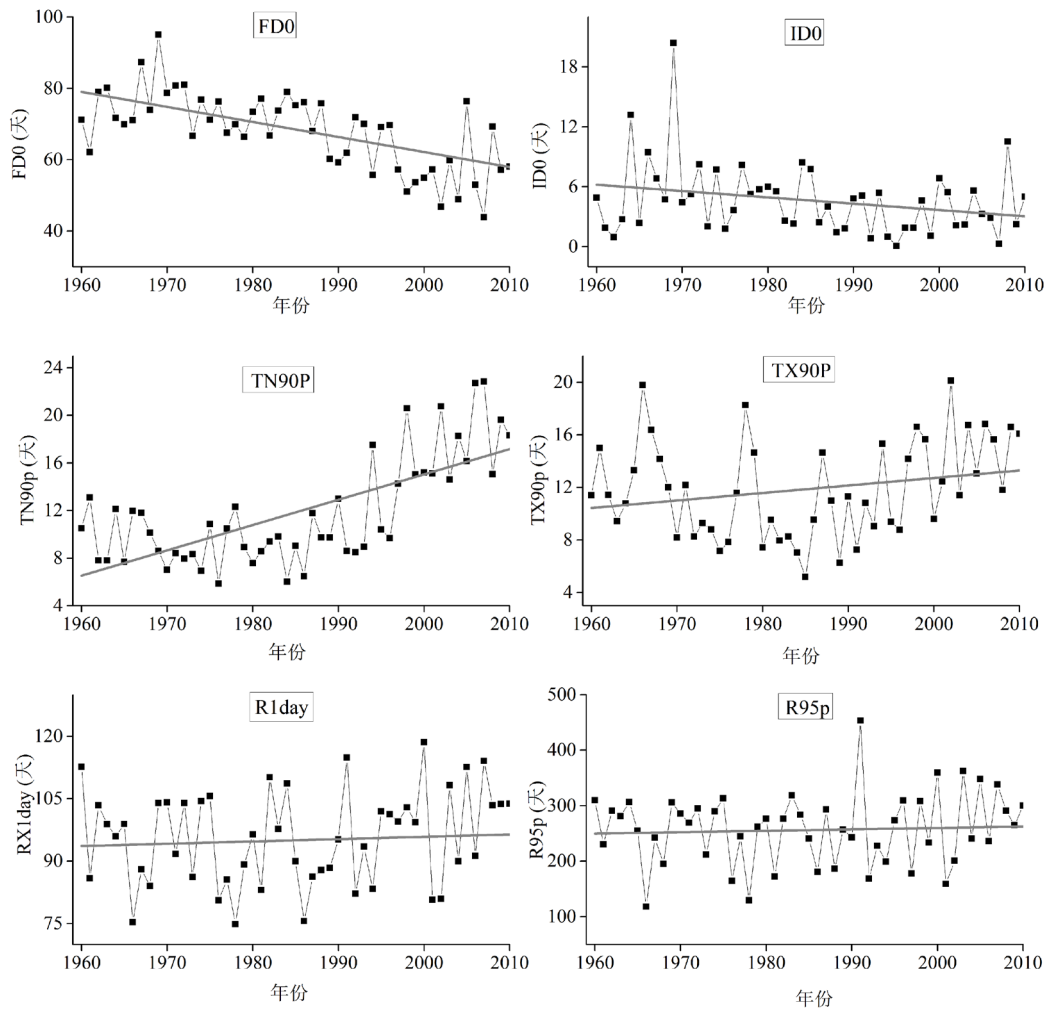


Figure 3. Time series of climate extremes
图 3. 气候极值时间序列

TX90p (ID0)更为显著, 这同样说明与最低气温相关的极值比与最高气温相关的极值变化幅度大。选取 R95p (强降水量)和 Rx1day (1 日最大降水量)这 2 个指标作为降水极值, 并对各个站点的数据进行算术平均, 得出各极端降水值的年际变化趋势。从 R95p 来看趋势线倾斜率为 -0.037 d/a , 大雨日数的变化总体呈下降趋势(图 3, 表 1)。从 Rx1day (连续 1 日最大降水量)来看趋势线倾斜率为 0.072 mm/a , 即大雨日数的变化总体呈上升趋势, 但趋势不显著。

3.3. 洪旱变化

标准化降水蒸发指数(英文全称, SPEI)是进行旱涝表征的重要指数, 计算了淮河流域 3 个月和 12 个月尺度的 SPEI 指数。SPEI3 中第 2 个月、第 5 个月、第 8 个月以及第 11 个月的数据分别表示冬、春、夏、秋季的干旱变化。SPEI12 中第 12 个月的数据表示年 SPEI 数据变化, 结果见图 4。年 SPEI 表现为上升趋势, 幅度为 0.011 d/a (图 4, 表 1), 此外, 夏季和冬季亦表现为上升趋势, 但仅有夏季表现为显著变化。SPEI 上升表示干旱减少, 洪涝的概率可能增加。春季和秋季表现为下降趋势, 表明在这两个季节干旱的强度在增加, 但这种变化并不显著。

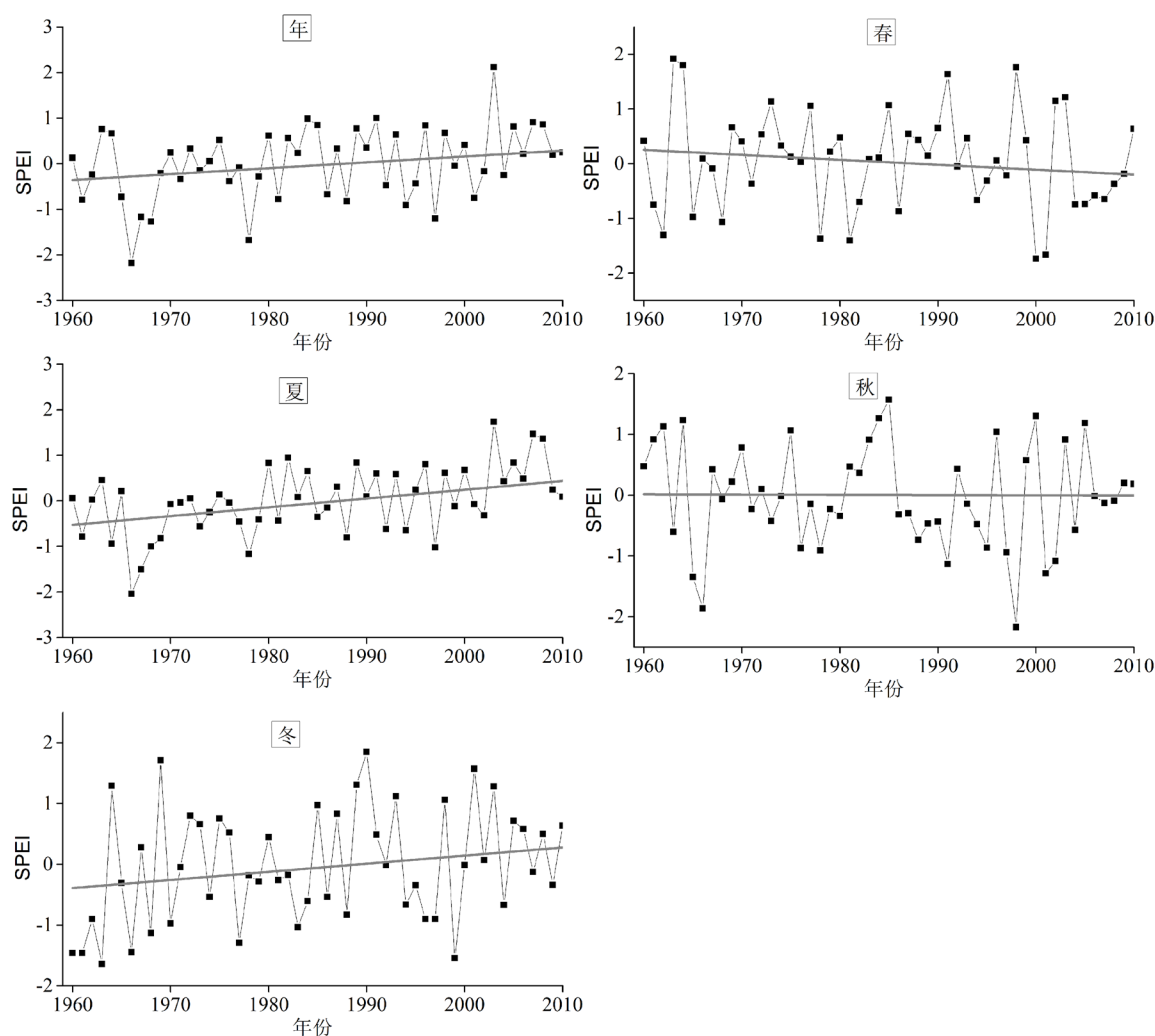


Figure 4. Annual and seasonal variations of SPEI time series

图 4. SPEI 指数年与季节变化

3.4. 水量和水质变化

水资源总量年际变化较大,随着降水深的增加而增加,随着降水深的减少而减少(图 5),这也说明淮河流域降水是水资源来源的主要形式。废水排放量呈显著增长趋势,从 2000 年的 48.69 亿吨增长到 2014 年 76.35 亿吨(表 2),十二年排放量增长了 57%。这可能与人口数量的不断增加、城市化进程的继续推进和人民生活水平的提高、生活污水排放量持续增长有关。化学需氧量(COD)排放量在持续减少(表 2),说明水体的污染情况在减轻。从淮河流域重点监测断面水质来看, I、II、III 类水的比重在不断增加(图 6),从 1999 年的 21.6%增长到 2014 年的 46.7%。V 类水的比例持续减少,从 1999 年的 63.6%减少到 2014 年的 25.3%。与此同时, IV 和 V 类水的比重持续减少,从 1999 年的 78.3%减少到 2014 年的 53.3%,说明淮河流域水环境总体上有向好趋势,但水污染形式依旧严峻, IV 和 V 类水的比重依然超过 50%。

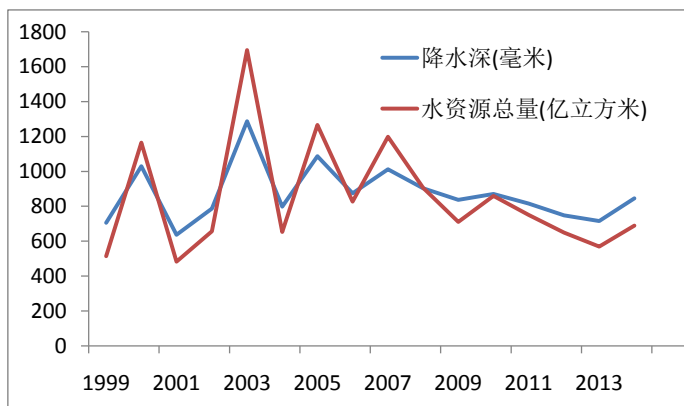


Figure 5. Depth of precipitation and the change of total water resources
图 5. 降水深与水资源总量变化图

Table 2. The changes of water resources and water quality

表 2. 水资源量和水质变化情况

	降水深(mm)	地下水(亿 m ³)	水资源总量(亿 m ³)	废水(亿吨)	COD (万吨)
1999	705.5	285.6	514.7	-	-
2000	1029.6	458.3	1164.7	48.69	-
2001	637	264.68	482.96	46	-
2002	787	317.25	656.58	52.01	-
2003	1287.5	519.65	1695.04	60.12	123.2
2004	797.8	330.31	653.2	56.15	107.68
2005	1087.2	439.06	1265.89	58.79	97.73
2006	874.7	341.71	826.44	62.08	85.18
2007	1012.3	410.78	1198.87	65.82	73.35
2008	903.6	363.35	905.34	67.05	52.62
2009	837	335.21	710.92	73.4	55.08
2010	871.2	353.6	859.6	76.34	49.95
2011	816	328.2	750.1	76.3	48.43
2012	748.6	294.9	649.4	76.4	51.4
2013	716	286	569	76.14	43.22
2014	846	315	689	76.35	41.3

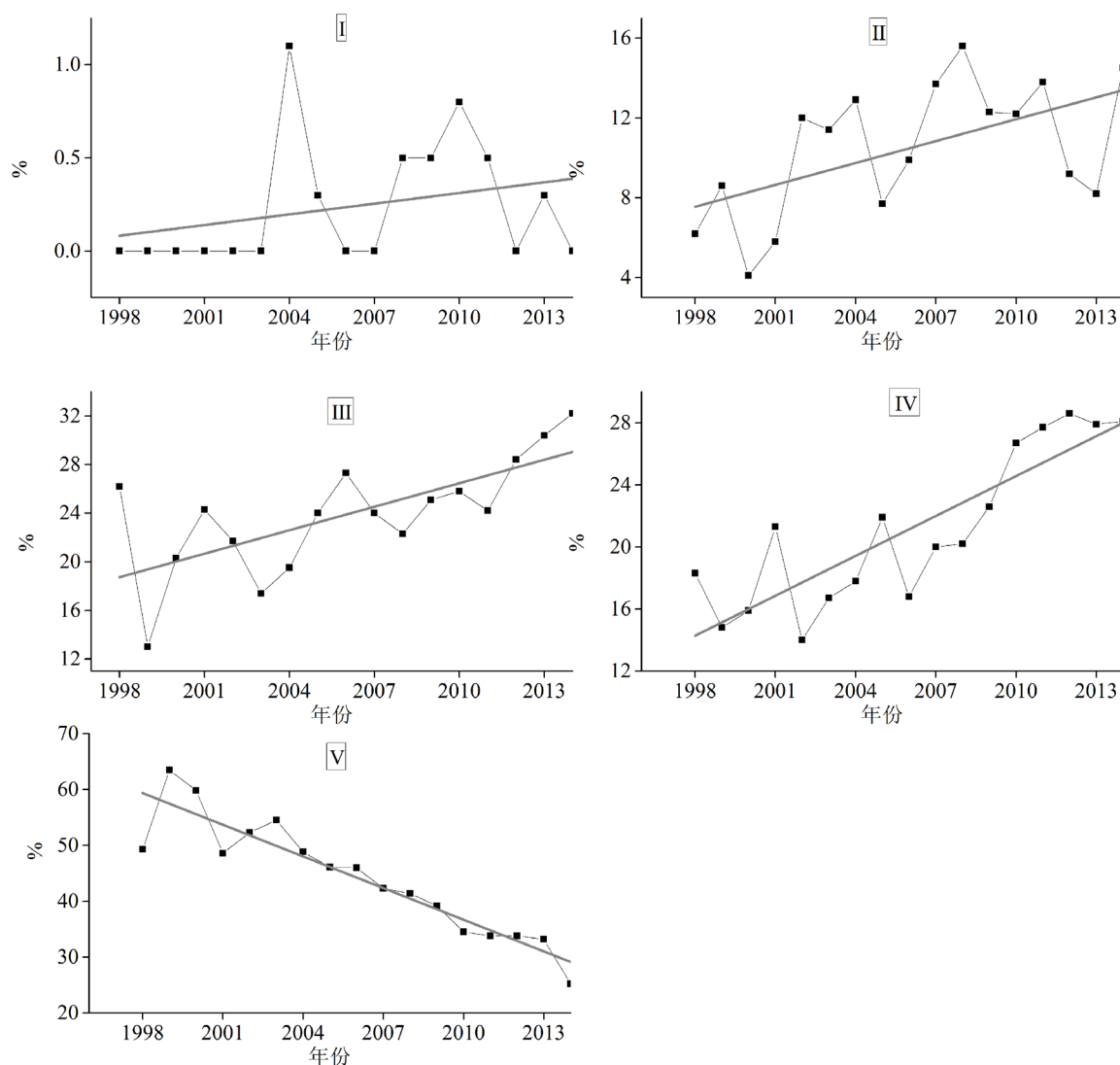


Figure 6. The proportion of water quality change of I, II, III, IV and V
图 6. I、II、III、IV、V 水质占比变化(纵坐标单位为%, 横坐标为年)

4. 结论

本文采用 Mann-Kendall 趋势检验对淮河流域 1960 年至 2014 年共 33 个气象站点的气象数据和 1998~2014 年的水量和水质数据进行了分析, 研究结论如下:

1) 淮河流域年气温变化呈现显著上升趋势, 增温幅度分别为 $0.022^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。1960 年至 2014 年间, 年降水量变化在淮河流域表现为极其微小的下降趋势, 变化幅度为 $0.266 \text{ mm}/\text{a}$ 。1960~2014 年间淮河流域冷极值总体呈现波动下降趋势, 暖极值总体呈现波动上升趋势, 霜冻日数(FD0)变化趋势较大, 变化幅度为 $0.414 \text{ d}/\text{a}$ 。极端降水变化趋势不显著, 强降水量处于缓慢下降趋势, 连续 1 日最大降水呈缓慢上升趋势。此外, 年 SPEI 指数表现为上升趋势, 洪涝的概率可能增加, 但这种变化亦不显著。

2) 水资源总量年际变化较大, 与降水深密切相关。废水排放量呈显著增长趋势, 化学需氧量(COD)排放量减少。I、II、III 类水的比重在不断增加, IV 和 V 类水的比重持续减少, 淮河流域水环境总体上有向好趋势, 但水污染形式依旧严峻。

基金项目

国家自然科学基金(41701034)、大学生创业项目(201610323058X)、江苏省高校自然科学研究面上项目(16KJB170001)资助。

参考文献

- [1] 夏星辉, 吴琼, 牟新利. 全球气候变化对地表水环境质量影响研究进展[J]. 水科学进展, 2012, 23(1): 124-133.
- [2] 王汝雯, 徐晋, 李昂, 等. 基于短波红外波段吸收技术的 CO₂ 垂直柱浓度地基遥测反演方法研究[J]. 大气与环境光学学报, 2017, 12(1): 22-32.
- [3] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., *et al.* (2013) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Computational Geometry*, **18**, 95-123.
- [4] 韩翠华, 郝志新, 郑景云. 1951~2010 年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展, 2013, 32(6): 887-896.
- [5] 段玮娟, 王旭, 史璇. 洞庭湖三口河系地区水环境演变趋势研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012(s2): 132-137.
- [6] 王振龙. 淮河流域水资源问题与建议[J]. 水利水电技术, 2011, 32(8): 74-78.
- [7] 赵长森. 淮河流域水生态环境现状评价与分析[J]. 环境工程学报, 2008, 2(12): 1698-1704.
- [8] 周亮, 徐建刚, 蒋金亮, 等. 淮河流域水环境污染防治能力空间差异[J]. 地理科学进展, 2013, 32(4): 560-569.
- [9] 董全, 陈星, 陈铁喜, 等. 淮河流域极端降水与极端流量关系的研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2009, 45(6): 790-801.
- [10] 高辉. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化[J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 1-9.
- [11] 桑学锋, 周祖昊, 秦大庸, 等. 基于广义 ET 的水资源与水环境综合规划研究 II: 模型[J]. 水利学报, 2009, 40(10): 1153-1161.
- [12] 贾利, 郁丹英, 张晓玲. 淮河流域水生态系统现状存在问题及保护对策[J]. 治淮, 2015(1): 22-24.
- [13] Vicenteserrano, S.M., Beguería, S. and Lópezmoreno, J.I. (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, **23**, 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- [14] 王卫光, 邢万秋, 彭世彰, 等. 海河流域 50 年来参考蒸发量的时空变化规律及其影响原因[J]. 应用基础与工程科学学报, 2012, 20(2): 237-252.
- [15] Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., *et al.* (2002) The Influence of Autocorrelation on the Ability to Detect Trend in Hydrological Series. *Hydrological Processes*, **16**, No. 9. <https://doi.org/10.1002/hyp.1095>
- [16] 郝振纯, 杨荣榕, 陈新美, 等. 1960~2011 年长江流域潜在蒸发量的时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(2): 408-419.

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: 2168-5762, 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: gser@hanspub.org