

太湖平原河网地区水文要素变化特征

罗 爽¹, 尤迎华², 何玉秀¹, 童 建³, 陶娜麒², 刘 涛²

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210033; 2. 江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 江苏 南京 210029;
3. 江苏省水土保持生态环境监测总站, 江苏 南京 210041)

摘要:根据 1971—2020 年太湖平原武澄锡虞区和阳澄淀泖区的水文气象资料, 计算近 50 年来该地区降水、潮位和水位的变化趋势, 分析其变化的空间分布特征。结果表明: 太湖平原河网地区降水、潮位及水位均呈上升趋势, 空间分布特征上, 阳澄淀泖区年降水增速较大, 而武澄锡虞区年均水位增速较大。

关键词:太湖平原; 水文要素; 变化趋势; 空间分布

中图分类号: TV882.9

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2022)12-0030-0004

Variation characteristic of hydrological factors in Taihu Plain river network area

LUO Shuang¹, YOU Yinghua², HE Yuxiu¹, TONG Jian³, TAO Naqi², LIU Tao²

(1. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210033, China;
2. Flood and Drought Disaster Prevention and Control Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;
3. Jiangsu Soil and Water Conservation Eco-environmental Monitoring Station, Nanjing 210041, China)

Abstract: Based on the hydrometeorological data of Wuchengxiyu(WCXY) and Yangchengdianmao(YCDM) district of Taihu Plain from 1971 to 2020, variation trends of precipitation, tide level and water level in this area in recent 50 years are studied, and the spatial distribution characteristics of their changes are analyzed. The results show that the precipitation, tide level and water level in the Taihu Plain River network area show an upward trend. In terms of spatial distribution characteristics, the annual precipitation in YCDM district increased significantly, while the annual average water level in WCXY district increased significantly.

Key words: Taihu Plain; hydrological factors; variation trends; spatial distribution

1 概 述

城市地区是自然环境与人类活动相互影响及交互作用最强烈的区域。城市地区水文过程变化

不仅受气候变化、地形要素的影响, 更受人类活动导致的土地利用类型及河湖水系改变等对陆地作用机制的调节^[1-2]。首先, 城镇化引起降水的显著变化, 具体表现为城镇化进程快速推进, 人类活动改

收稿日期: 2022-07-12

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021010)

作者简介: 罗爽(1998—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水文水资源。E-mail: 1695272856@qq.com

变下垫面的糙率,增加空气中的凝结核,使得城市中心形成特殊的局地气候模式,产生“雨岛效应”^[3]。其次,在平原河网地区,河道水位则具有洪水指示和灾情预警的社会实际意义,而城镇化进程引起的下垫面变化对水位有一定的影响^[4-5]。另外,感潮河段的河道水位会受到自上而下的河道径流和自下而上外江(海)潮汐顶托的双重影响^[6]。考虑到洪水过程的突发性和多变性,平原河网地区水动力变化过程的研究将更为复杂。因此,开展城市化地区降水、水位等水文气象要素演变趋势检验和变化特征分析的研究十分重要,有利于探究人类活动对区域水文过程的影响以及揭示区域面临的洪涝风险^[7-9]。

太湖流域的平原河网地区为经济十分发达的高度城镇化地区,下垫面变化使得地区的水文要素受到影响而显著改变。本研究选择太湖流域的武澄锡虞区和阳澄淀泖区2个水利片区,包括了常州市、无锡市和苏州市的大部分辖区,且均为长三角典型的平原河网地区,河湖交错、水网密布,通过分析城镇化背景下太湖平原河网地区近50年来的降水、水位和潮位等水文要素的变化趋势,为地区的防洪减灾和水资源及水环境管理提供一定参考。

2 研究数据与方法

2.1 研究数据

水文要素数据来源于水文年鉴的1971—2020年逐日统计资料,降水和水位数据选择常州、无锡、苏州、陈墅、青旻、常熟、瓜泾口、平望、湘城等共9个气象水文站的记录,潮位数据选择定波闸、张家港闸、望虞闸、浏河闸等共计4个潮位站的记录。

2.2 研究方法

本文采用较为常用的基于最小二乘法的线性回归拟合方法和非参数 Mann-Kendall 统计检验法(简称 M-K 方法)对水文要素时间序列进行趋势分析。M-K 方法对变量分布具有很强的适用性并能定量反映变化趋势的显著性^[10],通过斜率表示时间序列的所有记录组合的中值,正值则表示增长趋势,值的大小代表趋势明显与否,反之亦然。若通过置信度 90%、95%、99% 的显著性检验,则分别对应显著性置信水平为 0.1、0.05、0.01。

3 结果与分析

利用常州、无锡、苏州、陈墅、青旻、常熟、瓜泾口、平望、湘城等气象水文站的逐日降水实测数据,建立起太湖平原河网地区 1971—2020 年期间年际降水、水位和潮位变化时间序列。使用 M-K 趋势检验方法对各序列数据进行计算,所得结果如表 1 所示。同时,利用最小二乘法进行线性拟合所得结果如图 1 所示。

3.1 降水变化特征

由表 1 可知,各站 1971—2020 年期间降水量均呈上升趋势,常熟站的年降水量变化率最大,达到 6.5 mm/a,同时其汛期降水量变化率也是最大的,达到 4.4 mm/a。各站的年、季降水量变化显著性存在差异,除常州、青旻和平望站外,其他站点的年降水量变化是显著的,而常熟站、瓜泾口汛期和非汛期降水量均通过了 0.1 的显著性水平检验。由图 1 可知,除平望站外,其他站点年降水量的线性回归趋势斜率都不小于 4.0 mm/a,其中无锡、陈墅、常熟、瓜泾口、湘城年降水量的递增趋势均通过了 0.05 的显

表 1 太湖平原河网地区 M-K 趋势检验结果

站点	降水/(mm·a ⁻¹)			水位/(m·a ⁻¹)			站点	潮位/(m·a ⁻¹)		
	年均	汛期	非汛期	年均	汛期	非汛期		年均	汛期	非汛期
常州	3.09	1.57	0.48	0.0097***	0.0087***	0.0108***				
无锡	4.05**	3.44	1.50	0.0153***	0.0154***	0.0152***	定波闸	0.0154***	0.0125***	0.0193***
苏州	4.53*	2.22	2.92***	0.0102***	0.0144***	0.0114***				
陈墅	5.16**	3.85	1.70	0.0168***	0.0083***	0.0189***	张家港闸	0.0172***	0.0133***	0.0216***
青旻	3.47	1.88	0.86	0.0148***	0.015***	0.0165***				
常熟	6.54**	4.42**	2.33**	0.0131***	0.0132***	0.0153***	望虞闸	0.0195***	0.0170***	0.0220***
瓜泾口	5.01**	2.95*	2.25**	0.011***	0.0094***	0.0121***				
平望	3.72	1.92	1.77*	0.0112***	0.011***	0.0113***	浏河闸	0.0166***	0.0153***	0.0190***
湘城	4.36**	2.07	2.45**	0.0121***	0.0105***	0.0141***				

注:表中*、**、***分别表示变化趋势通过了 $P=0.1$ 、 $P=0.05$ 、 $P=0.01$ 的置信度检验。

著性水平检验。常州、无锡、陈墅、青旻、常熟及瓜泾口都表现出汛期降水量增量占年降水量总增量较大比例的态势,如常州站汛期线性斜率为3.4 mm/a,非汛期仅为0.6 mm/a。非汛期降水量变化幅度较小,但也整体呈上升趋势。尽管M-K方法和线性趋势方法分析结果有略微差别,但总体而言各站点降水量年际涨幅均在3 mm/a以上,汛期和非汛期降水量均呈现上升趋势。

3.2 潮位变化特征

1971—2020年太湖平原河网地区的定波闸、张家港闸、望虞闸、浏河闸潮位均值时间变化序列如图1所示,可知年均潮位、汛期潮位、非汛期潮位均呈较为明显的上升趋势,并且均通过了0.01的显著性水平检验。4个潮位站年均潮位每10 a变化速率分别为0.16 m、0.17 m、0.20 m、0.17 m,汛期潮位每10 a变化速率分别为0.13 m、0.13 m、0.17 m、0.15 m,非汛期潮位每10 a变化速率分别为0.19 m、0.21 m、0.22 m、0.19 m。总体而言,望虞闸上升趋势最显著且年、季潮位涨幅最大,而各站年均潮位10 a涨幅均在0.15 m以上。

3.3 水位变化特征

太湖平原河网地区各代表站水位均呈上升趋势,不论是年均水位还是汛期或非汛期平均水位,其变化都通过了置信度为0.01的显著性检验,上升趋势明显。从年均水位变化趋势来看,变化幅度较大的有无锡、陈墅、青旻及常熟站,4站每10 a的变化速率分别约为0.15 m、0.17 m、0.15 m、0.13 m,其他站点为0.10 m左右。对于汛期水位而言,整体上各站点增速小于非汛期,其中增速较大的仍是无锡、陈墅、青旻及常熟站,而汛期与非汛期增速相比差异较大的有陈墅、常熟及湘城站。

3.4 降水、潮位、水位空间变化特征

根据各代表雨量站、水位站及潮位站对应的年降水量、年均水位和年均潮位的变化趋势空间分布结果可知,全部站点年降水量变化呈增加趋势,超一半站点呈显著增加趋势。城市站点中仅无锡站通过了置信度为0.05的显著性检验,降水量增速最大的是位于阳澄淀泖区的常熟站,超过6.5 mm/a,最小的则为常州站。总体来看,以苏州市为主体的阳澄淀泖区年降水增速大于以常州市和无锡市为主

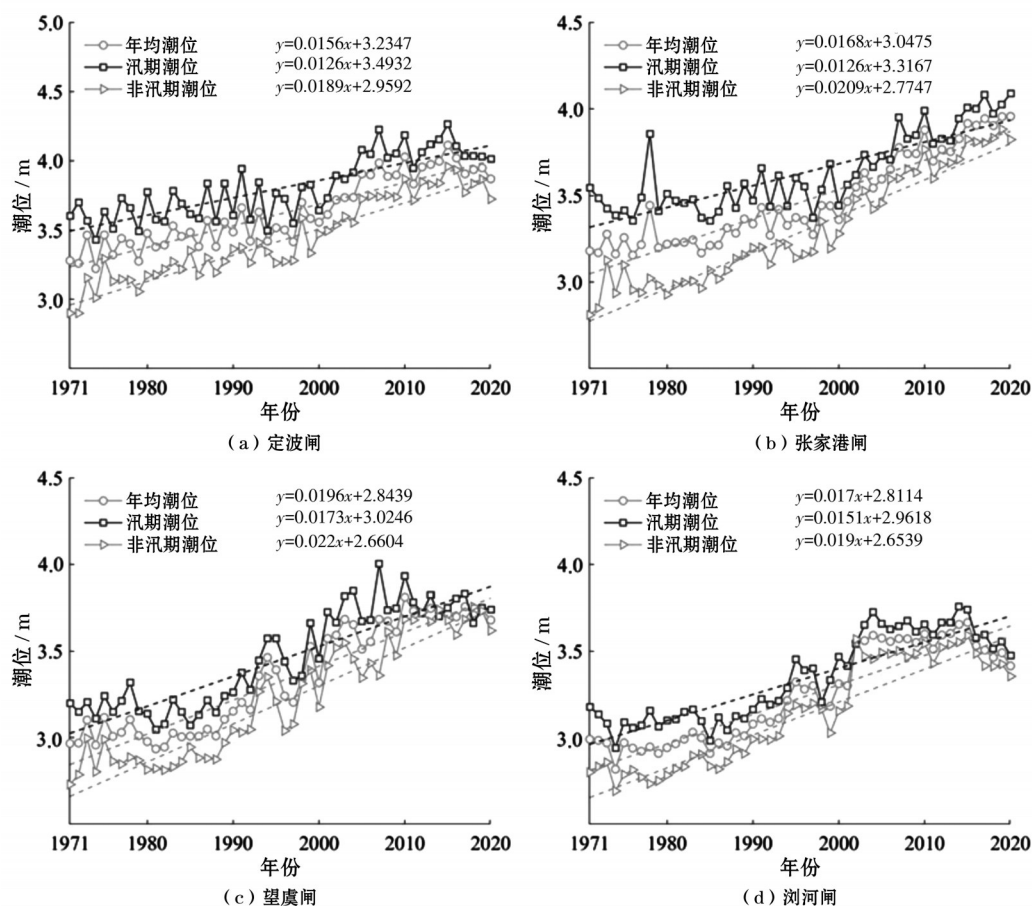


图1 各代表站潮位时间变化序列

体的武澄锡虞区。相比于降水,水位、潮位上升趋势则更为明显,没有较大的空间差异,全部站点均呈显著增加趋势。其中,年均水位增速最大的为陈墅站,达每10 a 0.17 m,除常州和苏州外其他站点水位增速都在每10 a 0.10 m以上。与此同时,4个潮位站的年均潮位增长趋势都是十分显著的,增长速度较为一致。从降水、水位、潮位的变化趋势来看,地区面临降雨型洪水和河道型洪水隐患增强,且外江潮位对其河流水的顶托作用带来的区域防洪压力也逐渐增强。

4 结 语

根据研究结果可知,1971—2020年期间太湖平原河网地区年降水、水位及潮位均呈上升趋势。各站点年降水量年际涨幅均在3 mm/a以上,各时期降水量均呈上升趋势,除平望站外,其他站点降水量的线性斜率都不小于4.0 mm/a。年均、非汛期与汛期平均潮位都呈显著上升趋势(置信度为0.01),年均潮位变化幅度在每10 a 0.15 m以上。各站点年均、汛期与非汛期平均水位也呈现显著上升趋势,年均水位增加幅度约每10 a 0.1 m。在空间分布特征上,阳澄淀泖区年降水增速大于武澄锡虞区,而武澄锡虞区年均水位增速大于阳澄淀泖区。总体而言,降水、水位和潮位呈现增长趋势,区域面临的洪涝风险加剧。

长江三角洲城市群当中,太湖流域的平原河网地区作为规模较大、城镇化程度较高的典型区域,在经历了几十年的快速发展之后,城市陆地面物理属性、产汇流环境、能量收支不可避免地发生了重大改变,这对地区的气温、降水、水位等气象水文要素之间的响应关系产生重要影响。一方面,在城镇化的作用下,天然的水循环过程受到人类活动的影响,区域水文气象要素呈现显著的增长趋势,尤其是苏州、无锡、常州这些高度城市化地区的降水和水位由于“雨岛效应”的增强而显著上升。另一方

面,沿江沿海城市是受海平面上升、临江(海)潮位上涨、河道型洪水及极端降水相互作用最为剧烈的区域之一,因此潮位的变化也变得尤为明显,而优越的地理位置带来人口和经济集聚效应致使承灾体暴露性和危险性与日俱增,洪涝风险将会不断增加,为此需进一步深入开展新形势下洪涝防御研究工作。

参考文献:

- [1] ZHONG S, QIAN Y, ZHAO C, et al. A case study of urbanization impact on summer precipitation in the Greater Beijing Metropolitan Area: Urban heat island versus aerosol effects [J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2015, 120(20): 10903–10914.
- [2] 罗鑫玥, 陈明星. 城镇化对气候变化影响的研究进展[J]. *地球科学进展*, 2019, 34(9): 984–997.
- [3] 俞烜, 杨贵羽, 周祖昊, 等. 天津夏季降水演变规律及其城市效应[J]. *地理科学进展*, 2008(5): 43–48.
- [4] 尹义星, 许有鹏, 陈莹. 太湖最高水位及其与气候变化、人类活动的关系[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(7): 609–614.
- [5] 黄国如, 陈易恩. 高度城镇化背景下珠三角地区降雨结构时空演变特征分析[J]. *水资源保护*, 2022, 38(1): 82–90.
- [6] 王文才, 李一平, 杜薇, 等. 长江感潮河段潮汐变化特征[J]. *水资源保护*, 2017, 33(6): 121–124.
- [7] BEVACQUAE, MARAUN D, VOUSDOKAS M I, et al. Higher probability of compound flooding from precipitation and storm surge in Europe under anthropogenic climate change[J]. *Science Advances*, 2019, 5(9): 5531.
- [8] 张建云, 宋晓猛, 王国庆, 等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——城市水文效应[J]. *水科学进展*, 2014, 25(4): 594–605.
- [9] 徐宗学, 李鹏. 城市化水文效应研究进展: 机理、方法与应对措施[J]. *水资源保护*, 2022, 38(1): 7–17.
- [10] TABARI H, SOMEI B S, ZADEH M R. Testing for long-term trends in climatic variables in Iran[J]. *Atmospheric Research*, 2011, 100(1): 132–140.