

Analysis of the Spatial-Temporal Characteristics of Waterlogging in Chaohu Basin

Yuxiang Fan¹, Jinyin Ye^{2*}, Yuhong Wang¹, Hao Wang², Zuxiang Yang²

¹Chaohu Lake Meteorological Service, Chaohu Anhui

²Anhui Meteorological Observatory, Hefei Anhui

Email: *ljnw@sina.com

Received: Oct. 4th, 2017; accepted: Oct. 13th, 2017; published: Oct. 20th, 2017

Abstract

Based on the Daily precipitation data of 7 national weather stations in Chaohu Basin during 1961 to 2000, the Pearson-III distribution curve, trend analysis and moving average method were used to analyze the temporal and spatial distribution characteristics and change rules of waterlogging. The main results were summarized as follows: (1) Monthly variation of annual maximum daily precipitation in 4 sub units of Chaohu River Basin shows a typical normal distribution. The distribution of annual maximum daily precipitation in each sub unit of Chaohu River Basin is fitted by Pearson-III distribution curve. The daily rainfall of 4 recurrence periods, such as 5a, 10a, 20a, 50a and so on, is calculated, which showed the characteristics of decreasing from south to north. (2) 4 sub-units of Chaohu Basin are subjected to waterlogging, and the frequency of waterlogging decreases from southeast to northwest. As for the seasonal features of distribution, the period when waterlogging disaster occurs with the highest frequency, and the widest range of Chaohu Basin is in summer. In addition, there was no waterlogging disaster happened in winter before, while more disasters occurred in autumn than spring. Summer is the most centralized season of water logging disaster in various subunits, and the rate has reached or exceeded 15%. Summer is the most concentrated season of waterlogging in each sub unit, which had reached or exceeded 15%. (3) The climate trends rate of waterlogging in Chaohu Basin is 0.79/10 years, which shows obvious characteristics of decadal evolution. It shows an obvious increasing trend in the first stage from the middle of 1960s to 1980s, which reaches the peak in the mid-1980s, and the second stage from 1990s to 2010s is not significantly increased.

Keywords

Precipitation, Return Period, Waterlogging, Spatiotemporal Characteristics, Change Rules, River Basin

巢湖流域雨涝时空特征分析

范裕祥¹, 叶金印^{2*}, 王玉红¹, 王皓², 杨祖祥²

作者简介: 范裕祥(1973-), 男, 高级工程师, 研究方向: 天气预报。

*通讯作者。

文章引用: 范裕祥, 叶金印, 王玉红, 王皓, 杨祖祥. 巢湖流域雨涝时空特征分析[J]. 水资源研究, 2017, 6(6): 602-609.

DOI: 10.12677/jwrr.2017.66070

¹安徽省巢湖气象局, 安徽 巢湖

²安徽省气象台, 安徽 合肥

Email: *ljinw@sina.com

收稿日期: 2017年10月4日; 录用日期: 2017年10月13日; 发布日期: 2017年10月20日

摘 要

利用巢湖流域7个国家气象站1961~2016年逐日降水量资料, 用频率分析、Pearson-III型分布曲线、趋势分析和滑动平均等方法分析了近56a来巢湖流域雨涝的时空分布特征和变化规律。结果表明, (1) 巢湖流域4个子单元的年最大日降水量的月际变化均表现为典型的正态分布; 用Pearson-III型分布曲线拟合巢湖流域各子单元年最大日降水量的分布, 得出5a、10a、20a、50a等4个重现期下日降雨量, 并且呈自南向北减小的特点。(2) 巢湖流域4个子单元均遭受过雨涝, 流域雨涝频率从东南向西北减少; 季节分布上, 夏季是巢湖流域雨涝灾害频率最高、范围最广的季节, 秋季多于春季, 冬季没有出现过雨涝; 各子单元雨涝最集中的季节都是夏季, 均达到或超过15%。(3) 巢湖流域雨涝站率气候趋势为0.79/10年, 但呈现比较明显的分段年代际演变特征, 第一阶段从1960年代中期到1980年代为明显增加趋势, 其中1980年代中期达到峰值, 第二阶段从1990年代到2010年代为不明显增加趋势。

关键词

降水量, 重现期, 雨涝, 时空特征, 变化规律, 流域

Copyright © 2017 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

自然灾害给人类带来巨大的经济损失, 气象灾害大约占各类自然灾害 70% 以上。我国每年受重大气象灾害影响的人口可达 4 亿人, 造成的经济损失可以占到国民生产总值的 1%~3% [1]。雨涝是指长时间降水过多或区域性的暴雨及局地性短时强降水引起江河洪水泛滥, 淹没农田和城乡, 或产生积水或径流淹没低洼土地, 造成农业或其他财产损失和人员伤亡的一种气象灾害。我国具有典型的季风气候特点, 雨涝灾害频发, 往往造成较大的人员伤亡和财产损失, 尤其是随着全球变暖, 极端强降水造成的雨涝灾害呈现多发趋势[2]。加强雨涝及其灾害研究为区域发展规划和防洪减灾规划提供科学依据, 具有较大的经济社会效益、生态效益和环境效益。我国雨涝灾害流域性特征明显, 许多城市和经济带密集分布于流域下游, 加强流域雨涝研究非常重要。

肖潺等[3]分析中国大陆雨涝时空特征时发现我国雨涝主要集中在夏季, 每年农作物雨涝受灾面积与每年雨涝站率有极好的正相关, 长江、珠江、淮河流域年雨涝站率较高; 钟晋阳等[4]研究了浙江省近 36a 雨涝灾害的时空分布特征时指出雨涝灾害发生等级、频率和降水量呈现正相关关系, 空间分布上存在一定的规律性; 陈峪等[5]分析了中国十大流域年降水量时空变化特征时发现中国北方流域降水量少, 年际变化大, 水资源缺乏且不稳定; 南方流域降水较多, 年际变化较小, 水资源相对充足且比较稳定; 任国玉等[6]分析了各流域的降水气候学特征, 指出长江流域总体表现为单峰型, 峰值出现在 6 月下旬和 7 月初, 淮河流域最大降水出现在 7 月上中旬; 张勇等[7]发现 20 世纪 80 年代末以来, 长江流域 80 年代初雨涝受灾面积和成灾面积显著增加。巢湖是中国

五大淡水湖之一，地处长江与淮河两大河流之间，属长江下游左岸水系，旱涝灾害十分频繁[8]。加强巢湖流域的雨涝研究可为巢湖流域洪水的风险评估、规划管理和防洪减灾提供有益参考。本文基于巢湖流域 7 个国家气象站 1961~2016 年逐日降水量资料，将巢湖流域划分为 4 个子单元，分析其雨涝的时空分布特征和变化规律，以期为巢湖流域防洪减灾规划提供依据。

2. 研究方法和数据

本文雨涝标准是连续 10 d 降水总量 250 mm 以上或连续 20 d 降水总量 350 mm 以上，符合国家气候中心使用的标准[9]。只要一年(季)中有一次雨涝过程出现，就将该年(季)算作一个雨涝年(季)。年(季)雨涝频率为雨涝年(季)数占总统计年(季)数的百分比。为了表征流域的雨涝情况，定义年(季)雨涝站率为流域内年(季)雨涝站数占流域总站数的百分比。

采用巢湖流域内的合肥、肥东、肥西、巢湖、无为、庐江和舒城等 7 个国家气象站 1961~2016 年具有完整记录的逐日(20~20 时)降水量资料。用频率分析、Pearson-III 型分布曲线、趋势分析和滑动平均等方法分析了近 56a 来巢湖流域降水特征和雨涝的时空分布特征及变化规律。

根据巢湖水系分布，将巢湖流域分为以主要支流命名的南淝河、裕溪河、白石天河和杭埠河等 4 个子单元(图 1)。4 个子单元内的支流名称及国家气象站名称见表 1。

3. 巢湖流域降水特征分析

3.1. 年最大日降水量的月际变化

统计合肥、舒城、巢湖和庐江等 4 个代表站各月出现的年最大日降水量次数占总统计年数的百分比，即月频率，分析年最大日降水量的平均月际变化特点(图 2)。从图 2 可以看出，巢湖流域 4 个子单元的年最大日降水量月际变化均表现为典型的正态分布，7 月为峰值，6 月为次大值(除南淝河子单元为 8 月)。夏季 6~8 月年最大降水日数频率占 73.7%，其中 7 月最大，为 33.6%，再次是 6 月，为 24.3%，8 月为 15.8%。雨带从 6~8 月由南向北推进，主要降水月份为 6~7 月，这种推进方式主要受副高位置及其强弱变化影响[10]。位于南部的裕溪河子单元、白石天河子单元 3 月份开始有最大日降水量分布，裕溪河子单元甚至 1 月份也有分布，其他子单元自 4 月份开始有分布。

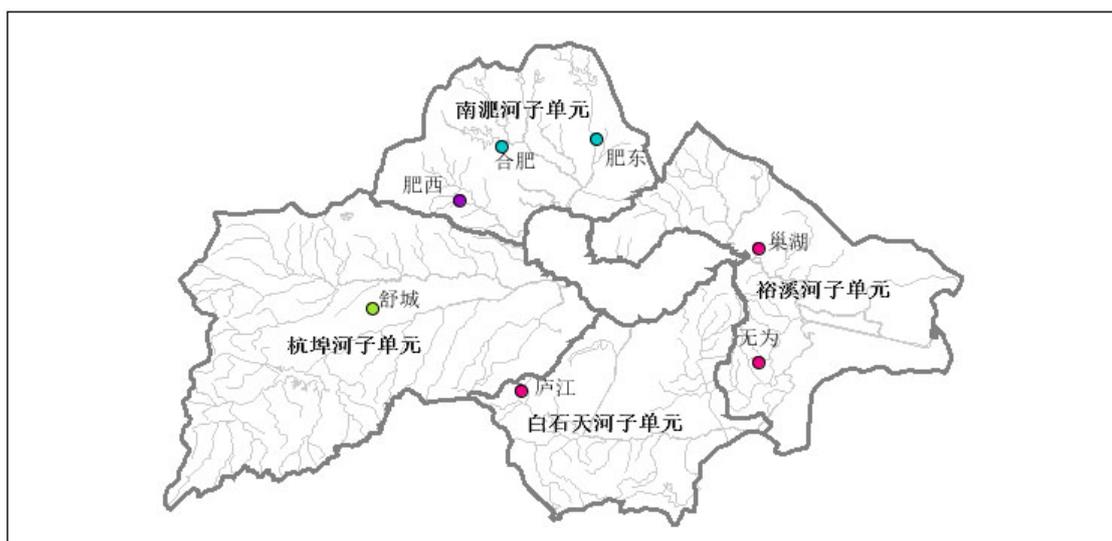


Figure 1. Distribution map of 4 sub-units and observation stations in Chaohu Basin
图 1. 巢湖流域 4 个子单元和观测站点分布图

Table 1. Main Rivers and meteorological stations of 4 sub-basins in Chaohu Basin
表 1. 巢湖流域 4 个子单元的主要河流及气象台站

子单元名称	主要河流	气象站
南淝河	南淝河、派河、十五里河、店埠河	合肥*、肥东、肥西
杭埠河	杭埠河、丰乐河	舒城*
裕溪河	裕溪河、柘皋河、清溪河、西河、牛屯河	巢湖*、无为
白石天河	白石天河、兆河	庐江*

注：上标为*的气象站作为相应子单元的代表站。

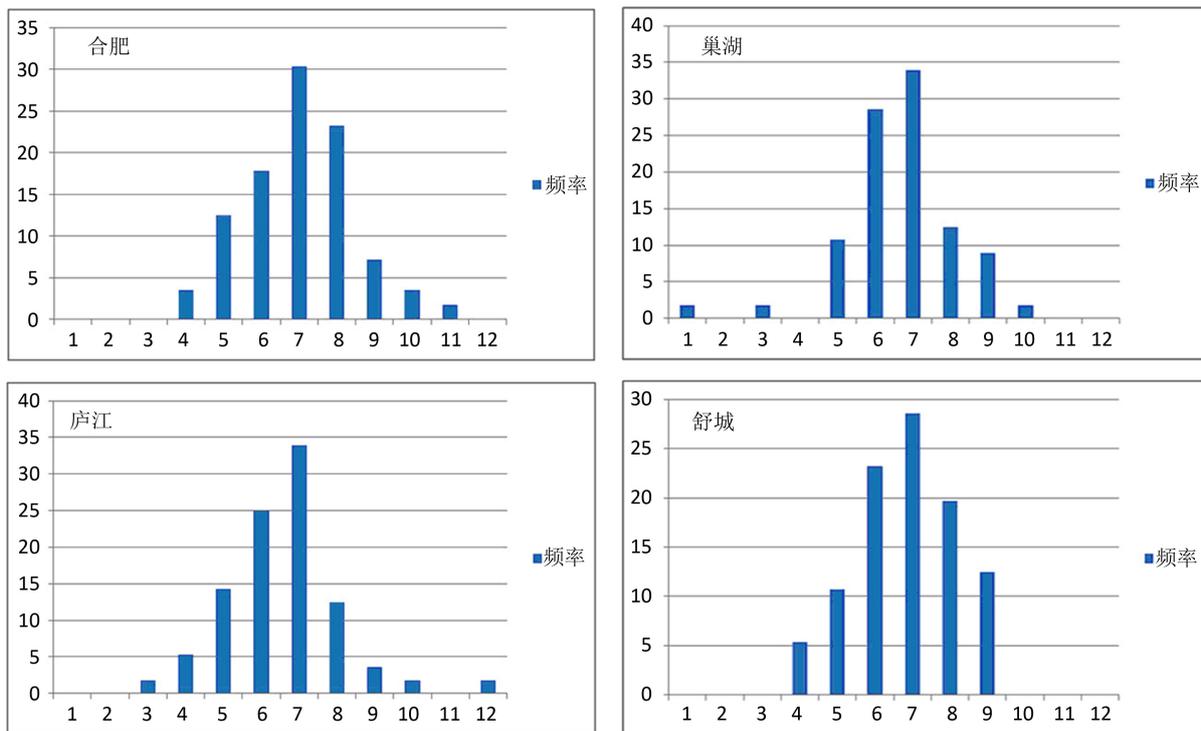


Figure 2. Monthly frequency distribution of annual maximum precipitation

图 2. 年最大降水量的月频率分布

3.2. 年最大日降水量的重现期分析

根据实测样本,拟合极值分布,推断 N 年一遇的重现期值,是极值统计的重要内容[11]。计算合肥、巢湖、庐江和舒城等 4 个代表站 1961~2016 年逐年最大日降水量,采用 Pearson-III 型频率分析方法[12]-[20]和适线法进行拟合,得出 4 个台站年最大日降水量频率曲线图(图 3)。

根据频率曲线分别查算频率 20%、10%、5%、2%对应的 5a、10a、20a、50a 重现期下的日降水量(表 2)。以巢湖站为例,裕溪河子单元 5 年一遇的年最大日降水量是 141 mm,10 年一遇的是 182 mm,20 年一遇的是 221mm,50 年一遇的则是 276 mm。裕溪河子单元有气象记录以来出现的最大日降水量 291 mm (2016 年 7 月 1 日),大约属于 54 年一遇的降水量;次日日降水量 251.8 mm (2008 年 8 月 1 日)大约属于 41 年一遇的降水量;第 3 大日降水量 221 mm (2011 年 7 月 17 日)大约属于 31 年一遇的降水量。如果日降水量是 160 mm,估算重现期是 7 年,实际上裕溪河子单元 56 年来共出现 9 次 160 mm 以上的日降水量,平均 6.2 年一次,基本接近估算的重现期。从表 2 看出,以庐江站为代表站的白石天河子流域的 5a、10a、20a、50a 重现期下的日降水量明显

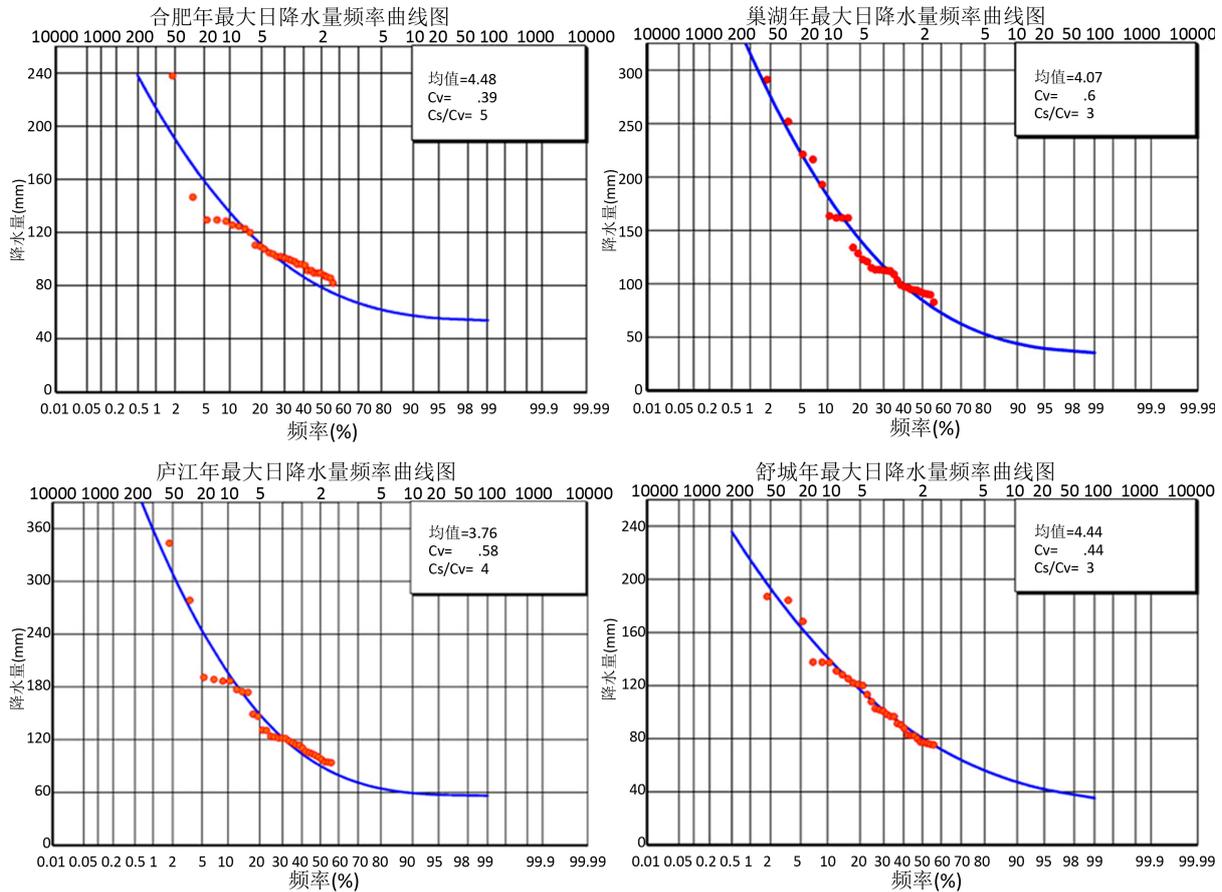


Figure 3. Maximum daily precipitation frequency curve of 4 representative stations in 1961-2016
 图 3. 4 个代表站 1961~2016 年最大日降水量频率曲线

Table 2. Daily rainfall in 4 recurrence periods at 4 stations
 表 2. 4 个台站 4 个重现期日降雨量(mm)

台站	5a	10a	20a	50a
合肥	114	129	160	189
舒城	117	137	169	193
巢湖	141	182	221	276
庐江	146	187	244	309

比以合肥站为代表的南淝河子流域大。巢湖流域 5a、10a、20a、50a 重现期下的日降水量呈自南向北减小的特点。

4. 雨涝特征分析

4.1. 雨涝季节特征

根据巢湖流域 7 个国家气象站 1961~2016 年逐日降水量资料，计算雨涝频率和各子单元雨涝站率。图 4 给出巢湖流域全年、春季、夏季和秋季的雨涝频率分布(巢湖流域冬季未出现过雨涝，不作讨论)。图 4(a)显示，全年，巢湖流域所有地区均遭受过雨涝，雨涝频率从东南向西北减少。流域多年平均雨涝频率为 24%，东南地区雨涝频率都在 20%以上，其中白石天河子单元、裕溪河子单元部分地区超过 30%，西北地区雨涝频率最少，南

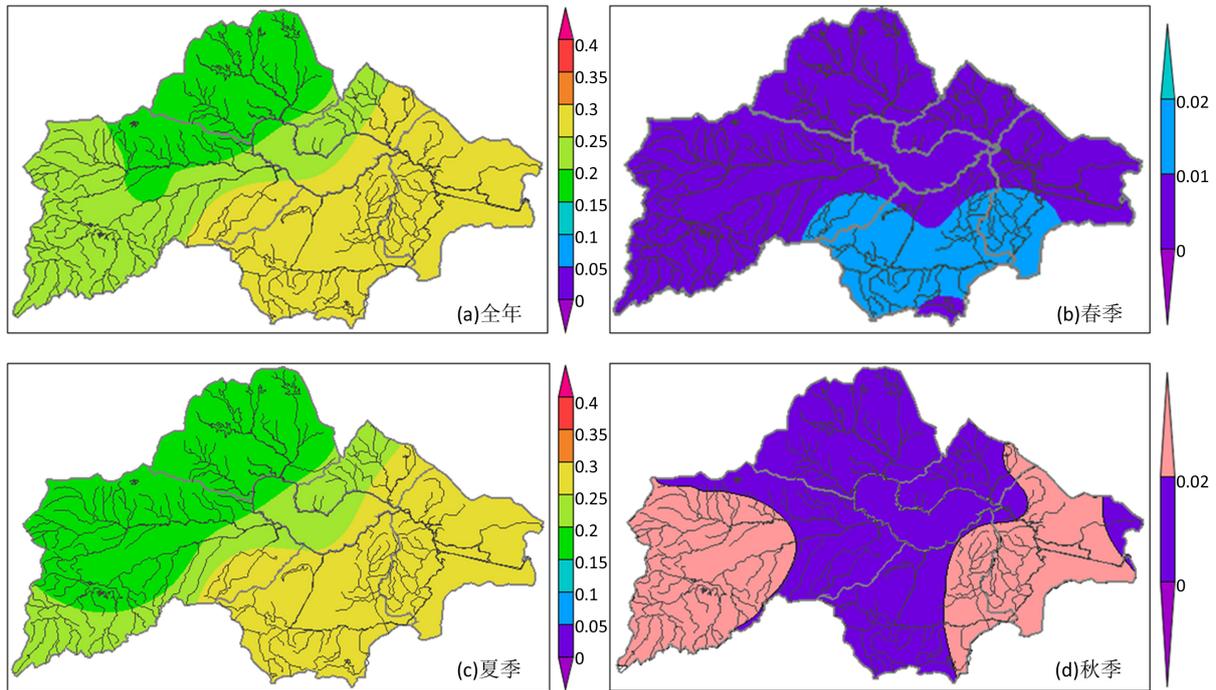


Figure 4. Waterlogging frequency distribution of Chaohu Basin in 1961-2016 (%)

图 4. 1961~2016 年巢湖流域雨涝频率分布

淝河子单元部分地区低于 15%。

春季(图 4(b))巢湖流域雨涝稀少,只有白石天河子单元、裕溪河子单元部分地区出现过雨涝,雨涝频率低于 2%,其他地区未出现雨涝。

夏季是巢湖流域降水最集中的季节,气候上对应于江淮梅雨期。夏季多年平均雨涝频率为 23%,是巢湖流域雨涝灾害频率最高、范围最广的季节。巢湖流域夏季雨涝频率(图 4(c)) 20%分界线的位置与全年雨涝频率 20%分界线的位置趋于一致,也表明夏季是巢湖流域雨涝发生最主要的季节。白石天河子单元、裕溪河子单元等地区雨涝频率超过 20%,雨涝频率最高的地区是白石天河子单元,超过 30%。

随着季节推进,雨带南移,秋季(图 4(d))巢湖流域出现雨涝的情况较少,只有巢湖流域的东部和西部出现过雨涝,最大出现在裕溪河子单元和杭埠河子单元,雨涝频率为 3%~4%。

针对巢湖流域的季节雨涝特征,计算出 4 个子单元 1961~2016 年多年平均的季节雨涝站率(图略)。4 个子单元雨涝最集中的季节都是夏季,均达到或超过 15%,最大的是白石天河子单元,达 30%,其次是裕溪河子单元为 28%,杭埠河子单元最小,为 15%。春季出现雨涝的情况极少,只有白石天河子单元出现低于 2%的雨涝,其他子单元均未出现雨涝。秋季出现雨涝的情况略高于春季,除南淝河子单元未出现雨涝,其他子单元雨涝站率均小于 2%。

4.2. 雨涝年(代)际变化

为了表征流域整体雨涝情况的逐年演变,绘出巢湖流域雨涝站率的逐年变化趋势图(图 5)。巢湖流域多年平均雨涝站率为 24%。就雨涝站率的演变趋势而言(图 5 中绿色线条),巢湖流域呈增加趋势,但没有达到 90% 信度水平。与趋势特征增加相比,巢湖流域雨涝站率呈现比较明显的年代际演变特征(图 5 中蓝色线条为 9 年滑动平均)。巢湖流域雨涝站率自 1960 年代后期以来,呈略下降趋势,1970 年代初期呈先增加后下降趋势,1970 年代中期呈明显增加趋势,到 1980 年代中期达到峰值,随后呈阶段性下降趋势,1980 年代末期开始回升,1990 年代、2000 年代呈波动式变化特征,2000 年代末期开始回升。总体来说,巢湖流域雨涝站率分为两个阶段,第

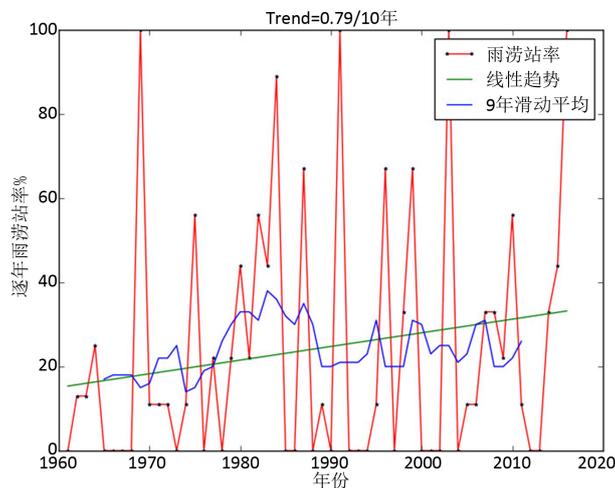


Figure 5. Waterlogging station rate (Red line), linear trend (green line) and 9 year sliding average (blue line) at Chaohu Basin in 1961-2016

图 5. 1961~2016 年巢湖流域逐年雨涝站率(红线)

一阶段从 1960 年代中期到 1980 年代呈明显增加趋势，其中 1980 年代中期达到峰值；第二阶段从 1990 年代到 2010 年代呈不明显增加趋势。巢湖流域雨涝站率气候趋势为 0.79/10 年，从年代际变化特征上看，呈现波动式上升趋势，但没有通过 90% 的信度检验。

5. 结论与讨论

(1) 巢湖流域 4 个子单元的年最大日降水量的月际变化均表现为典型的正态分布。采用 Pearson-III 型分布拟合巢湖流域各子单元年最大日降水量的分布，得出 5a、10a、20a、50a 等 4 个重现期下的日降雨量，总体上拟合较好，对其不同重现期下的极值估计结果基本可信。巢湖流域 5a、10a、20a、50a 重现期下的日降水量呈自南向北减小的特点。

(2) 巢湖流域 4 个子单元均遭受过雨涝。巢湖流域雨涝频率从东南向西北减少，白石天河子单元、裕溪河子单元部分地区雨涝频率相对较大，超过 30%；季节分布上，夏季最多，秋季多于春季，冬季没有出现雨涝。各子单元雨涝最集中的季节都是夏季，均达到或超过 15%，最大的是白石天河子单元，达 30%，其次是裕溪河子单元，为 28%，杭埠河子单元最小，为 15%。

(3) 巢湖流域雨涝站率气候趋势为 0.79/10 年，但呈现比较明显的分段年代际演变特征。第一阶段从 1960 年代中期到 1980 年代呈明显增加趋势，其中 1980 年代中期达到峰值；第二阶段从 1990 年代到 2010 年代呈不明显增加趋势。从年代际变化特征上看，呈现波动式上升趋势，但没有通过 90% 的信度检验。

本文仅研究了巢湖流域雨涝的时空分布特征和变化规律。雨涝产生的灾害不仅与流域的气候状况有关，还与流域的高程、地形指数、人口密度等密切相关，巢湖流域地形地貌复杂，有待于进一步分析研究。

参考文献 (References)

- [1] 刘彤, 闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2): 90-95.
LIU Tong, YAN Tianchi. Main meteorological disasters in China and their economic losses. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(2): 90-95. (in Chinese)
- [2] 黄荣辉, 杜振彩. 全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J]. 自然杂志, 2010, 32(4): 187-195.
HUANG Ronghui, DU Zhencai. Evolution characteristics and trend of droughts and floods in China under the background of global warming. Chinese Journal of Nature, 2010, 32(4): 187-195. (in Chinese)
- [3] 肖潺, 叶殿秀, 陈昊明. 中国大陆雨涝时空特征[J]. 灾害学, 2016, 32(1): 85-89.

- XIAO Chan, YE Dianxiu and CHEN Haoming. Temporal and spatial characteristics of waterlogging over mainland China. *Journal of Catastrophology*, 2016, 32(1): 85-89. (in Chinese)
- [4] 钟晋阳, 王秀珍, 黄敬峰, 等. 浙江省雨涝时空分布特征研究[J]. *科学通报*, 2009, 25(1): 35-39.
ZHONG Jinyang, WANG Xiuzhen, HUANG Jingfeng, et al. Study on the spatial and temporal distribution of waterlogging indices in Zhejiang Province. *Bulletin of Science and Technology*, 2009, 25(1): 35-39. (in Chinese)
- [5] 陈峪, 高歌, 任国玉, 等. 中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征[J]. *自然资源学报*, 2005, 20(5): 637-643.
CHEN Yu, GAO Ge, REN Guoyu, et al. Spatial and temporal variation of precipitation over ten major basins in China between 1956 and 2000. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(5): 637-643. (in Chinese)
- [6] 任国玉, 战云健, 任玉玉, 等. 中国大陆降水时空变异规律——I. 气候学特征[J]. *水科学进展*, 2015, 26(3): 299-310.
REN Guoyu, ZHAN Yunjian, REN Yuyu, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over Mainland China. *Advances in Water Science*, 2015, 26(3): 299-310. (in Chinese)
- [7] 张勇, 张强, 叶殿秀, 等. 1951~2006 年黄河和长江流域雨涝变化分析[J]. *气候变化研究进展*, 2009, 5(4): 226-230.
ZHANG Yong, ZHANG Qiang, YE Dianxiu, et al. Analysis of rain-waterlogging in the Yellow River and the Yangtze River basins during 1951-2006. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(4): 226-230. (in Chinese)
- [8] 袁媛, 王心源, 李祥, 等. 巢湖流域旱涝时空特性分析[J]. *灾害学*, 2007, 22(2): 97-100.
YUAN Yuan, WANG Xinyuan, LI Xiang, et al. Analysis of the spatial-temporal characteristics of flood and drought in Chaohu Basin. *Journal of Catastrophology*, 2007, 22(2): 97-100. (in Chinese)
- [9] 中国气象局. 中国灾害性天气气候图集[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
China Meteorological Administration. Atlas of China's disastrous weather and climate. Beijing: Meteorological Press, 2007. (in Chinese)
- [10] 杨明, 宫宇, 吴晓娜, 等. 安徽省夏季暴雨时空分布特征的成因分析[J]. *暴雨灾害*, 2015, 34(2): 143-152.
YANG Ming, GONG Yu, WU Xiaona, et al. The analysis on possible causes of spatial-temporal characteristics of torrential rain in Anhui Province. *Torrential Rain and Disasters*, 2015, 34(2): 143-152. (in Chinese)
- [11] 简裕庚, 李叶新, 林晓亮, 等. 陈广东省年最高水位多年一遇的极值计算[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2003, 42(2): 97-101.
JIAN Yugeng, LI Yexin, LIN Xiaoliang, et al. Computation of extreme water levels for main rivers in Guangdong Province. *Journal of Sun Yat-sen University (NATURAL SCIENCE EDITION)*, 2003, 42(2): 97-101. (in Chinese)
- [12] 林两位, 王莉萍. 用 Pearson-III 概率分布推算重现期年最大日雨量[J]. *气象科技*, 2005, 33(4): 314-317.
LIN Liangwei, WANG Liping. Estimation of annual maximum diurnal precipitation for reappearance periods with Pearson-III distribution. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 33(4): 314-317. (in Chinese)
- [13] 张玉虎, 王琛茜, 刘凯利, 等. 不同概率分布函数降雨极值的适用性分析[J]. *地理科学*, 2015, 35(11): 1460-1466.
ZHANG Yuhu, WANG Chenxi, LIU Kaili, et al. Applicability of different probability distributions to estimated extreme rainfall. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(11): 1460-1466. (in Chinese)
- [14] 张婷, 魏凤英. 华南地区汛期极端降水的概率分布特征[J]. *气象学报*, 2009, 67(3): 442-451.
ZHANG Ting, WEI Fengying. Probability distribution of precipitation extremes during raining seasons in South China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009, 67(3): 442-451. (in Chinese)
- [15] 华东水利学院. 水文学的概率统计基础[M]. 北京: 水利出版社, 1981: 213-228.
East China Water Conservancy Institute. The basis of probability and statistics of hydrology. Beijing: Water Conservancy Press, 1981: 213-228. (in Chinese)
- [16] 陈敦隆. 海洋和科学研究中的概率与数理统计方法[M]. 北京: 海洋出版社, 1984: 151-315.
Chen Dunlong. Probability and mathematical statistics in ocean and scientific research. Beijing: Ocean Press, 1984: 151-315. (in Chinese)
- [17] 金光炎. 水文统计的原理与方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1958.
JIN Guangyan. The principle and method of hydrological statistics. Beijing: Water Conservancy and Electric Power Press, 1958. (in Chinese)
- [18] 屠其璞, 王俊德, 丁裕国, 等. 气象应用概率统计学[M]. 北京: 气象出版社, 1984: 196-225.
TU Qipu, WANG Junde, DING Yuguo, et al. Probability and statistics of meteorological applications. Beijing: Meteorology Press, 1984: 196-225. (in Chinese)
- [19] 刘艳群, 陈创买, 郑勇, 等. 韶关市年和月最大日降水量多年一遇的极值计算[J]. *广东气象*, 2008, 30(1): 33-39.
LIU Yanqun, CHEN Chuang, ZHENG Yong, et al. The extreme value calculation of the maximum annual precipitation in years and months in Shaoguan. *Guangdong Meteorology*, 2008, 30 (1): 33-39. (in Chinese)
- [20] 姚梦婷, 高超, 陆苗, 等. 1959~2008 年淮河流域极端径流的强度和频率特征[J]. *地理研究*, 2015, 34(8): 1535-1546.
YAO Mengting, GAO Chao, LU Miao, et al. The intensity and frequency characteristics of extreme runoff over the Huaihe River Basin during 1959-2008. *Geographical Research*, 2015, 34(8): 1535-1546. (in Chinese)