

安徽省气候变化特征与旱涝区域响应*

唐宝琪, 延军平, 曹永旺, 刘永林
(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710119)

摘要: 基于安徽省15个气象站点1961-2013年逐月降水数据统计资料, 运用线性趋势分析、Mann-Kendall突变检验、小波分析以及Z指数, 对安徽省气候和旱涝的时空变化特征进行分析。结果表明: ①近53 a安徽省气候经历了冷干-冷湿-暖湿-暖干的转变, 整体呈现暖湿化特征, 但21世纪以来则逐渐转变成暖干化。②四季降水不同步, 夏季和冬季降水呈上升趋势, 春季和秋季降水则呈下降趋势, 其中夏季降水增加对安徽省降水变化的贡献率最大。降水周期振荡规律显著, 存在28, 22, 14和4 a时间尺度上的震荡周期。③近53 a安徽省旱涝事件整体上表现为下降趋势, 存在涝-旱-涝的循环交替过程, 且年代际变化比较明显。④安徽省多年平均降水在空间分布上呈现南多北少的格局, 干旱主要发生在皖西大别山北麓地区, 而洪涝主要发生在淮河一带和长江水系下游区。

关键词: 气候变化; 旱涝; Z指数; 安徽省

中图分类号: P429 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2016)05-0127-08

Climatic change and drought-flood regional responses in Anhui

TANG Baoqi, YAN Junping, CAO Yongwang, LIU Yonglin

(College of Tourism and Environmental, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Based on the meteorological data of 15 stations in Anhui province, influences of different disaster inducing factors on drought and flood were analyzed by using linear regression, Mann-Kendall test method, wavelet analysis and Z index to explore the trend of drought and floor in this province under global warming condition. The results showed that: ① Anhui has experienced a series of climate phase transformation from cold-dry to cold-wet, warm-wet, and warm-dry during recent 53 years, with warming and wetting trend on the whole, but warming and drying since the 21th century. ② The summer and winter precipitation shows an upward trend, while the autumn and spring precipitation decreases; summer precipitation increase makes the largest contribution to the precipitation changes. On the time scale, there are 28, 22, 14 and 4 year oscillation cycles. ③ Droughts and floods in recent 53 years present a seriously overall downward trend, with alternation of floods and droughts and an obvious inter-decadal variation. ④ In the aspect of spatial distribution, droughts mainly occur at the juncture of Wanxi area, while floods mainly occur in the Huaihe River and the Yangtze River downstream.

Key words: climate change; drought-flood; Z index; Anhui province

IPCC第5次评估报告指出, 未来气候系统的变化仍将受全球气候变暖的影响^[1], 全球地表平均气温相对于1986-2005年, 在2016-2035年将

上升0.3~0.7℃, 2081-2100年将上升0.3~4.8℃^[1-2]。在全球气候持续变暖的背景下, 极端降水事件增多^[3], 加剧了旱涝灾害事件发生的频

* 收稿日期: 2015-09-14

基金项目: 国家重点社会科学基金资助项目(14AZD094)

作者简介: 唐宝琪(1991年生), 女; 研究方向: 区域开发与城乡发展及自然灾害预测等; 通讯作者: 延军平;
E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

率与强度,对人类生存和农业经济的发展造成严重影响,由此引起国内学者的广泛关注。黄荣辉等^[4]在全球变暖的背景下对中国旱涝气候灾害的演变特征及发展趋势进行分析,得出华北和华南地区夏季降水明显变强,洪涝灾害增多。齐冬梅等^[5]运用 Z 指数对四川地区旱涝时空变化特征进行研究,认为旱涝发生受高原季风的影响。施雅风等^[6]提出我国西北气候可能从 20 世纪的暖干型向暖湿型转变。此外,学者们也分别对华东^[7]、宁夏^[8]、四川^[9]和辽宁^[10]等地的旱涝进行了研究。

安徽省位于暖温带与亚热带的过渡区域,季风气候显著,降水时空分布不均且年际变化大,全省灾害频繁,旱涝灾害是该区域常见气象灾害之一,对人们生产生活等造成严重影响,尤其是对农业生产影响甚大。近 53 a 安徽省气温以 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速度上升,与华东地区平均变暖率基本一致 ($0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),降水以 $10.69\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速度上升,整个区域出现暖湿化,与华东暖湿化气候特征相一致^[7],但 21 世纪以来降水减少,逐渐转变成与西北等地区相同的暖干化现象^[7-9],因此对安徽省旱涝灾害特征分析具有重要意义。目前,针对安徽省旱涝研究主要集中在气候对农业的影响^[11-12]、单一气象要素变化特征^[13]等,而缺乏对安徽省各分区的对比分析,以及气候突变后旱涝的变化研究。暨此,本文综合运用线性趋势等数理统计方法、Mann-Kendall 突变检验^[14]和 Morlet 小波、Z 指数法对安徽省近 53 a 气候变化特征和旱涝事件进行分区分析,并探讨了旱涝变化对气候变化的响应,以期为该地区的社会经济发展、生态建设提供若干理论依据。

1 资料与研究方法

1.1 资料来源

本文气象数据来自于中国气象科学数据共享网《中国地面气候资料月值数据集》,在保证数据完整,台站分布均匀的条件下,最终选取了安徽省 15 个气象站(图 1) 1961-2013 年的逐月气温和降水数据,数据具有较好的连续性和代表性。文中季节按 3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季,12 月-次年 2 月为冬季。

1.2 研究方法

1.2.1 Z 指数 Z 指数是表示旱涝的空间分布和程度的一种数学方法,通过对降水量进行处理而得到的服从标准正态分布的序列,消除了降水量平均值不同的影响,对旱涝程度具有一定的反映能力^[15]。

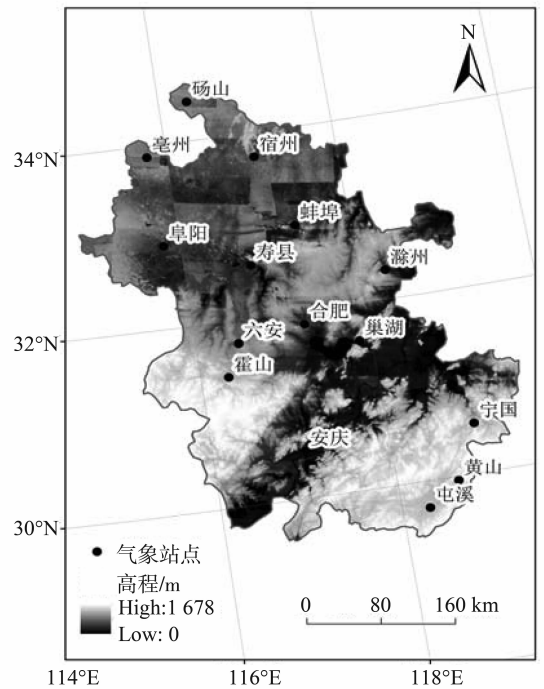


图 1 研究区范围及气象站点分布

Fig. 1 Location of the study area and distribution of meteorological station

由于某一时段的降水量一般并不服从正态分布,现假设月、季降水量服从 Person III 曲线中的 Γ 分布,其概率密度分布为^[16]:

$$P(x) = [\beta\gamma(\gamma)]^{-1} \left[\frac{x-\alpha}{\beta} \right] \exp[-(x-\alpha)/\beta] \quad (1)$$

对降水量 X 进行正态化处理,可将概率密度函数 Person III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布,其转换公式为^[17]:

$$Z_i = \frac{6}{|C_s|} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{|C_s|} + \frac{|C_s|}{6} \quad (2)$$

式(2)中 C_s 为偏态系数, φ_i 为标准变量,均可由降水资料序列计算求得,即:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3}, \quad \varphi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

式中 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。

根据上述公式和 Z 变量的正态分布曲线,划分为 7 个旱涝等级并确定其相应的 Z 值阈值,作为单站各级旱涝等级指标,并根据该指标划分的各级旱涝等级实际频率和累积频率法进行适当修正 Z 值阈值(表 1)。

1.2.2 区域旱涝指数 区域旱涝指标的宗旨是表

征旱涝的空间分布，反映旱涝的轻重程度^[18]。

以 Z 指数划分的历年单站旱涝等级为基础，根据旱涝等级权重的适当调整而得出更适用于度量区域旱涝的指标：

$$I = \frac{2n_1 + n_2 + n_3}{n} \quad (3)$$

$$L = \frac{n_5 + n_6 + 2n_7}{n} \quad (4)$$

式中 $n_1 - n_7$ 分别为该区域内 Z 指数为 1 - 7 级的站数， n 为区域总站数， I, L 分别为雨涝指标和干旱指标。区域旱涝指数^[19]：

$$HL = (I - L) \cdot 100\% \quad (5)$$

根据上式计算出 HL 值作为区域旱涝指数进行区域旱涝等级的划分（表 1）。

表 1 修正的 Z 指数旱涝等级和区域旱涝指数

Table 1 Drought and flood grades of modified Z index and regional drought index

等级	Z 值	类型	区域旱涝指数
N1	$Z > 1.65$	重涝	$HL \geq 75$
N2	$1.04 < Z \leq 1.65$	大涝	$50 \leq HL < 75$
N3	$0.53 < Z \leq 1.04$	偏涝	$25 \leq HL < 50$
N4	$-0.53 \leq Z \leq 0.53$	正常	$-25 < HL < 25$
N5	$-1.04 \leq Z < -0.54$	偏旱	$-50 < HL \leq -25$
N6	$-1.66 \leq Z < -1.04$	大旱	$-75 < HL \leq -50$
N7	$Z < -1.65$	重旱	$HL \leq -75$

2 结果与分析

2.1 气温变化特征

2.1.1 气温的年际变化 1961 - 2013 年安徽省气温在波动中呈明显的上升趋势（图 2），上升速率为 $0.22 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ ，与华东地区平均变暖率基本一致

$(0.21 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ a})$ ^[20]。多年平均气温为 $15.10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，年均气温最低值出现在 1969 年，为 $14.09 \text{ } ^\circ\text{C}$ ；而最高值出现在 2007 年，为 $16.23 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，两者相差 $2.15 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。通过对安徽省近 53 a 气温进行 Mann-kendall 突变检验分析发现（图 2），1994 年气温发生突变。1961 - 1994 年原序列 UF 多在 0 值以下，说明此时段气温呈波动下降趋势，1994 年后 $UF > 0$ ，气温回暖，上升速率加快，并于 2001 年超过了置信线，气温呈极显著增加趋势^[21]。气温突变前后，年平均气温升高了 $0.81 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，突变前气温呈缓慢下降趋势，全省处于一个较长的冷期，突变后气温快速上升，全省处于气温较高的暖期。

2.2 降水量的变化

2.2.1 降水的年际变化 1961 - 2013 年安徽省降水量总体呈波动上升趋势（图 3），上升速率为 $10.69 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。近 53 a 平均降水量为 1167.01 mm ，年降水量最大值出现在 1991 年，为 1587.32 mm ，最小值出现在 1972 年，为 702.8 mm ，相差 884.52 mm 。根据年代降水量，1960 年代之后降水呈波动上升趋势，21 世纪以来则降水呈波动下降趋势。

综合气温和降水安徽省气候大致可以划分为 4 个阶段：① 1961 - 1970 为冷干期，年气温呈下降趋势，多年平均气温为 $14.84 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，多年平均降水量为 1105.94 mm ；② 1971 - 1994 为冷湿期，年气温呈下降趋势，多年平均气温为 $14.80 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，多年平均降水量为 1183.882 mm ；③ 1995 - 2000 为暖湿期，年气温呈显著上升趋势，多年平均气温为 $15.53 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，多年平均降水量为 1207.75 mm ；④ 2001 - 2013 为暖干期，年气温呈上升趋势，增温

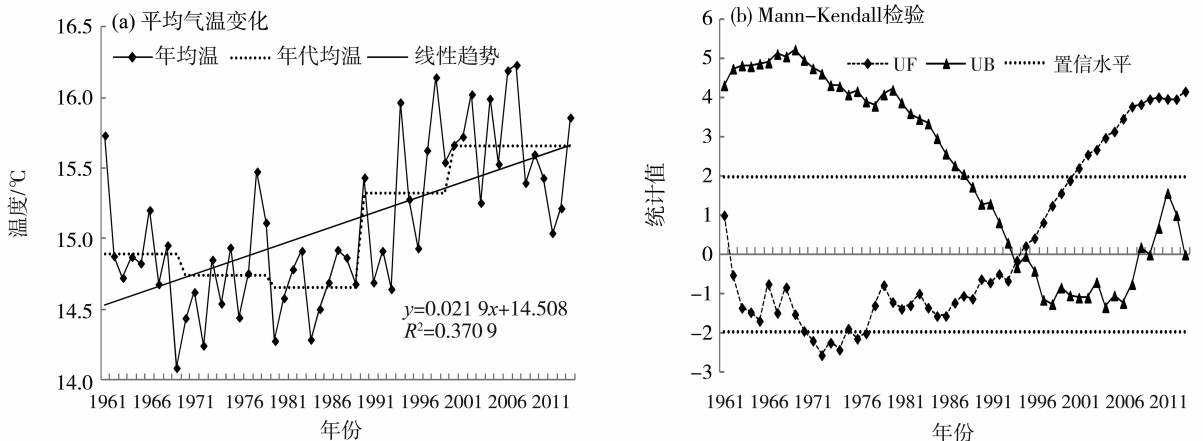


图 2 1961 - 2013 年安徽省平均气温变化特征和 Mann-Kendall 检验

Fig. 2 The characteristics of annual temperature change and Mann-Kendal test in Anhui during 1961 - 2013

趋势明显, 多年平均气温为 15.65 °C, 多年平均降水量为 1 164.02 mm。

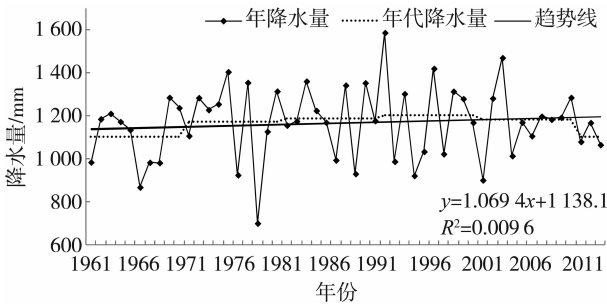


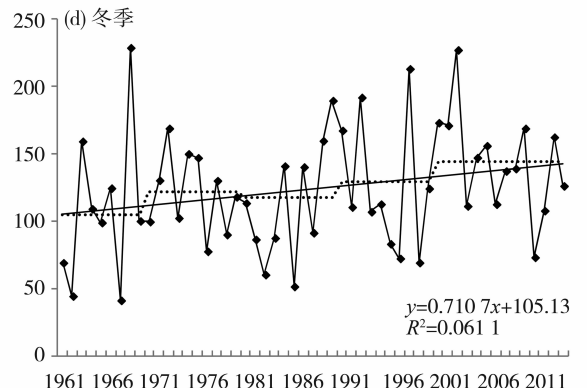
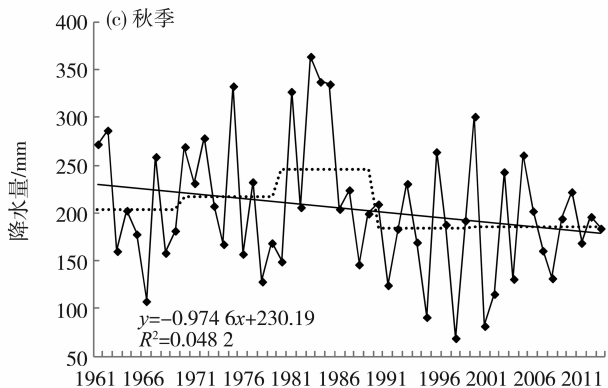
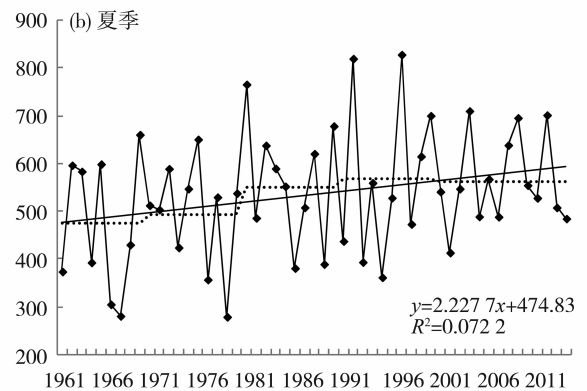
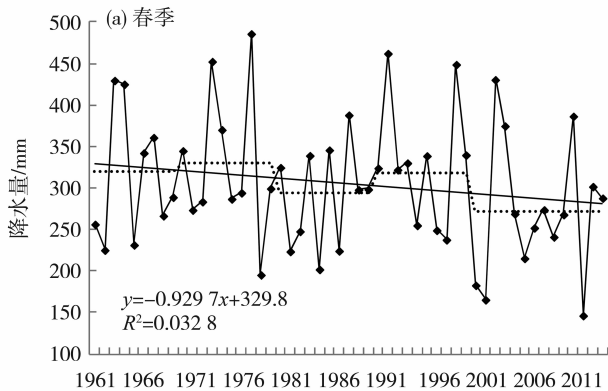
图 3 1961 - 2013 年安徽省降水变化特征

Fig. 3 The characteristics of precipitation change in Anhui during 1961 - 2013

2.2.2 降水的季节变化 对安徽省近 53 a 季节降水进行分析, 结果表明夏、冬两季的降水均呈上升的趋势, 而春秋两季的降水量则呈下降趋势。其中夏季降水增加最为明显, 冬季降水略有增加, 说明近 53 a 来夏季降水增加对多年平均降水量的增加贡献率最大。1) 春季降水变化不稳定 (图 4a), 整体呈波动下降趋势, 波动特征明显, 下降速率为

9.3 mm/10 a, 1960 - 1970 年代降水小幅增加, 1980 年代降水呈下降趋势, 1990 年代降水稳步上升, 21 世纪以来降水持续下降。2) 夏季降水变化稳定 (图 4b), 近 53 a 均呈现稳步的上升趋势, 上升速率为 22.28 mm/10 a。3) 秋季降水变化幅度较大 (图 4c), 整体呈下降趋势, 下降速率为 9.75 mm/10 a, 其中 1960 - 1980 年代降水稳步递增, 1990 年代以来降水呈下降趋势。4) 冬季降水变化不明显 (图 4d), 整体呈现上升趋势, 上升速率为 7.11 mm/10 a, 主要表现为 1960 - 1970 年代降水平稳上升, 1980 年代降水小幅下降, 1990 年代以来降水缓慢上升, 总体略有增加。

2.2.3 小波分析 图 5 为安徽省 1961 - 2013 年降水小波系数的实部。图中正值用实线表示, 反映年均降水偏大的时期, 负值用虚线表示, 反映年均降水偏小时期, 0 值用加粗实线表示, 反映年均降水偏大偏小的转折。近 53 a 降水量存在 4 个峰值, 依次对应着为 28, 22, 14, 4 a 的时间尺度, 其中, 大尺度时间上 22, 28 a 周期震荡最强, 为年降水量变化的第一主周期; 中尺度时间上存在 14 a 周期震荡, 为年降水量变化的第二主周期; 小尺度



年份

图 4 1961 - 2013 年安徽省四季降水变化特征

Fig. 4 The characteristic of precipitation change in Anhui during 1961 - 2013

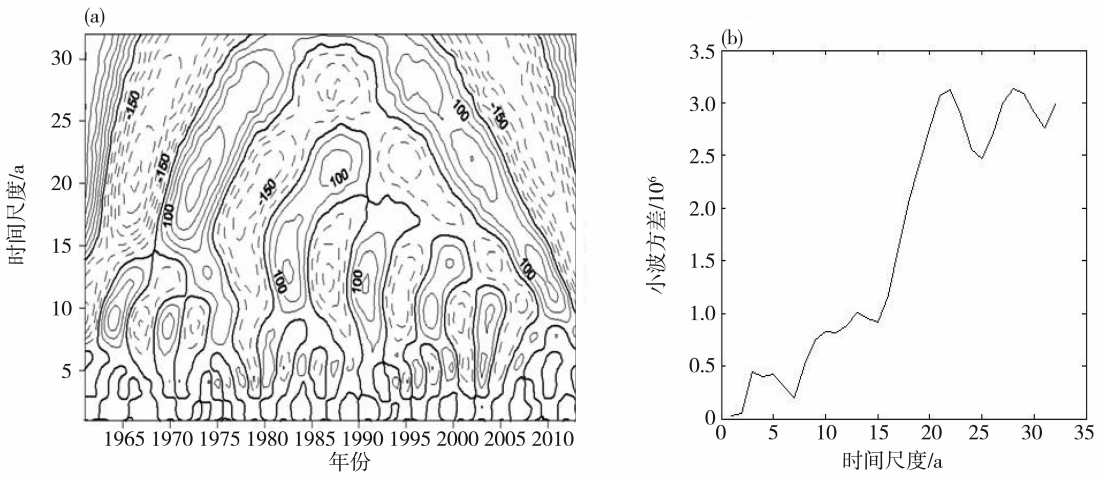


图 5 安徽省年均降水 Morlet 小波变换小波系数的实部 (a) 和小波方差 (b)

Fig. 5 Real part of Morlet wavelet analysis of the precipitation and wavelet variance in Anhui

时间上存在 4 a 周期震荡，为年降水量变化的第三主周期。各时间尺度在整个时间段上表现较为稳定，经历了涝 - 旱 - 涝 - 旱的交替变化，且年际变化明显。

2.3 降水的空间分布

近 53 a 安徽省多年平均降水在空间分布上整体呈现由南向北逐渐递减的规律，具有明显的纬度地带性，高值中心位于南部的黄山地区，最大值为 2 319.79 mm，主要受南部山地丘陵影响，多形成地形雨，降水多；低值中心位于淮河以北地区，最小值为 754.36 mm，主要受纬度位置和海陆位置影

响降水少（图 6）。

3 旱涝灾害的变化特征

3.1 旱涝灾害的时间变化特征

对安徽省 1961 - 2013 年降水量数据进行 Z 指数处理（图 7），结果显示：在时间尺度上，近 53 a 安徽省旱涝事件具有明显的区域差异，皖南地区的旱涝所占比率大，等级高，其次为皖北地区，江淮之间地区旱涝相对较少。表 2 为近 53 a 安徽省旱涝发生频率。

表 2 1961 - 2013 年安徽省旱涝灾害频率变化

Table 2 Drought and flood disaster frequency variation in Anju during 1961 - 2013

等级	皖北			江淮之间			皖南		
	频数	实际频率/%	旱涝频率/%	频数	实际频率/%	旱涝频率/%	频数	实际频率/%	旱涝频率/%
N1	9	17.0		1	1.9		10	18.87	
N2	4	7.5	35.85	6	11.3	24.53	8	15.09	41.51
N3	6	11.3		6	11.3		4	7.55	
N4	14	26.4	26.4	24	45.3	43.4	5	9.43	9.43
N5	7	13.2		12	22.6		10	18.87	
N6	4	7.5	37.74	2	3.8	30.19	9	16.98	49.06
N7	9	17.0		2	3.8		7	13.21	

1) 皖南地区旱涝强度大，发生次数多。1960 年代以偏旱为主，1970 年代到 20 世纪末旱涝事件交替发生，主要以洪涝为主，21 世纪以来以偏旱为主，仅 2010 年发生特大洪涝。近 53 a 皖南地区旱涝频发，旱涝发生率高达 91%，其中干旱频率 (49.06%) 高于洪涝发生频率 (41.51%)，干旱平均 2a 发生一次，洪涝平均 2.4 a 发生一次。

2) 江淮之间地区旱涝强度小，发生次数少。1960 年代以偏旱为主，仅 1967 年发生特大干旱，1970 - 1980 年代中期主要以正常年份为主，1980 年代中期到 20 世纪末旱涝灾害交替发生，且旱涝的等级低，多为偏涝、偏早年，21 世纪以来江淮之间地区基本处于正常年份，仅 2010 年发生严重洪涝。近 53 a 江淮之间地区干旱事件共发生 16

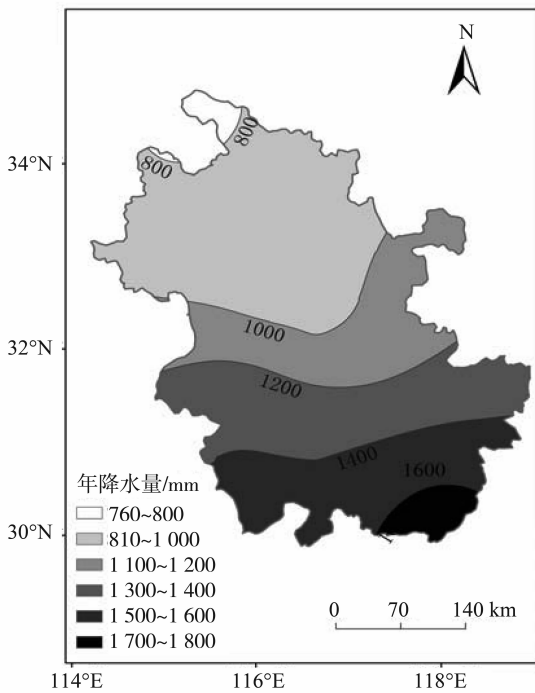


图 6 安徽省年降水量空间分布

Fig. 6 The spatial distribution of annual precipitation in Anhui

次, 平均 3.3 a 发生一次, 洪涝共发生 13 次, 平均 4 a 发生一次, 正常年份占 24 a, 频率为 43.4%。

3) 皖北地区旱涝事件发生强度大, 发生次数较多。1960 年代前 5 a 以偏涝为主, 后 5 a 以干旱为主; 1970 年代到 20 世纪末旱涝年份和正常年份交替出现, 大体相当; 21 世纪以来, 旱涝事件减少, 等级降低, 以干旱为主, 仅 2000、2003、2007 三年发生涝灾。近 53 a 来皖北发生旱涝事件 39 次, 旱涝发生率为 74.5%, 其中干旱共发生 20 次, 平均 2.65 a 发生一次旱灾, 涝灾共发生 19 次, 平均 2.79 a 发生一次涝灾, 正常年份占 26.4%。

3.2 气温突变后旱涝的时间变化特征

对气温突变前后旱涝发生频率进行对比分析 (表 3), 结果表明, 从区域角度看, 气温突变后旱涝整体呈下降趋势, 仅皖南地区洪涝略有上升, 其中, 江淮之间地区下降幅度最大, 皖南、皖北下降幅度小。

1) 皖南地区旱的比率由 50% 下降到 47.37%, 下降 2.63%; 涝的比率由 41.18% 变为 42.11%, 上升 0.93%; 正常年份比率由 8.82% 上升为 10.53%, 上升幅度为 1.71%。由此可知, 气温发生突变后, 皖南地区旱涝变化较小, 其中干旱事件

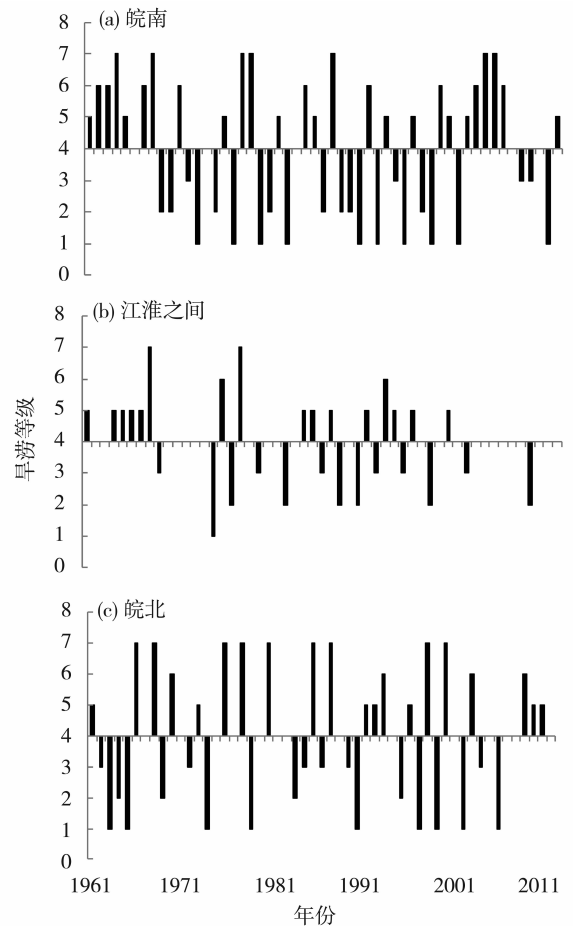


图 7 1961-2013 年安徽省旱涝等级

Fig. 7 Drought and flood level in Anhui during 1961-2013

略有下降, 而洪涝略有上升, 正常年份所占比率上升但整体仍以旱涝为主。

2) 江淮之间地区干旱事件比率由 38.24% 下降到 15.79%, 下降幅度高达 22.45%, 洪涝比率由 26.47% 下降到 21.05%, 正常年份比率由 35.29% 上升到 63.16%, 上升幅度高达 27.87%。气温发生突变后, 江淮之间地区旱涝事件急剧减少, 以旱灾下降最为显著, 正常年份比例快速上升。

3) 皖北地区干旱事件比率由 38.24% 下降到 36.84%, 洪涝比率由 38.24% 下降到 31.58%, 正常年份比率由 26.42% 上升到 31.58%, 上升 5.16%。气温发生突变后, 皖北地区旱涝事件减少, 正常年份比率增加。

3.3 旱涝灾害的空间变化特征

对各站点的 Z 指数进行空间插值, 得到安徽省旱涝事件空间分布图。近 53 a 旱灾频率整体呈西高东低的格局 (图 8a), 高值中心位于皖西大别山地区和皖南黄山地区, 低值中心在巢湖的东侧。

表 3 1994 年前后安徽旱涝等级所占比例
Table 3 The proportion of drought and flood grade around 1994 in Anhui

年份	皖南			江淮之间			皖北		
	干旱频率	洪涝频率	正常年份	干旱频率	洪涝频率	正常年份	干旱频率	洪涝频率	正常年份
1961 - 2013	49.06	41.51	9.43	30.19	24.53	45.28	37.74	35.85	26.42
1961 - 1994	50.00	41.18	8.82	38.24	26.47	35.29	38.24	38.24	23.53
1995 - 2013	47.37	42.11	10.53	15.79	21.05	63.16	36.84	31.58	31.58

整体上皖南地区干旱频率差异不大，且干旱频率相对较高。江淮之间地区干旱频率区域差异大，呈西高东低的状态；皖北干旱区域差异较小，旱灾呈由南向北递减的趋势。

图 8b 为洪涝频率空间分布图，1961 - 2013 年安徽省洪涝频率高值中心位于淮河沿线，此外，在

安徽境内长江水系下游区形成次级中心，低值中心位于皖西大别山区和安徽北部碭山区。整体上皖南地区洪涝频率较高，洪涝频率基本一致；江淮之间地区洪涝频率较低，仅六安地区洪涝频率较高；皖北地区洪涝发生频率差异大，呈现自淮河流域逐渐向北递减的规律。

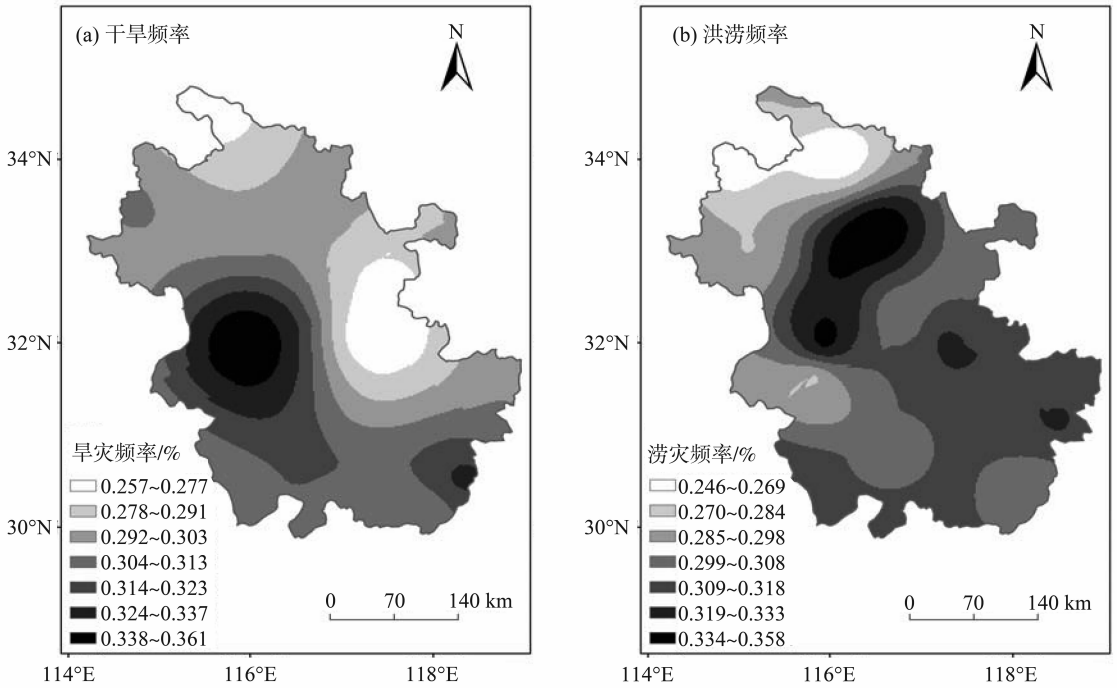


图 8 安徽省年尺度干旱和洪涝频率空间分布
Fig. 8 Spatial distribution of the annual drought (a) and flood (b) frequency in Anhui

4 结 论

本文利用 1961 - 2013 年安徽省月平均气温等资料，分析了在全球气候变暖的背景下安徽省旱涝的时空变化特征，发现安徽省旱涝严重，具有明显的区域性、周期性等特征。大致表现为：近 53 a 整体上呈暖湿化，21 世纪以来逐渐转变成暖干变化，与华东区域暖湿化趋势有所不同^[7]。主要结论如下：

1) 近 53 a 气温以 0.22 °C/10 a 的速度变暖，

年均气温在 1994 年发生突变，突变前气温呈缓慢下降趋势，全省处于一个较长的冷期，突变后气温快速上升，全省处于气温较高的暖期。

2) 近 53 a 降水量呈波动上升趋势，上升速率为 10.69 mm/10 a，1960 年代到 20 世纪末降水呈波动上升，21 世纪初降水呈波动下降趋势。四季降水不同步，夏季降水增加最为明显，冬季降水略有增加，而春秋两季降水均呈下降趋势。

3) 在时间上，近 53 a 安徽省旱涝事件具有区域差异，皖南地区的旱涝严重，且干旱频率高于洪

涝发生频率; 皖北地区旱涝次之, 但旱涝等级较高, 旱、涝发生率基本一致; 江淮之间地区旱涝灾害总体相对较轻, 正常年份居多。

4) 气温突变后, 旱涝事件呈下降趋势, 仅皖南地区洪涝略有上升, 其中江淮之间地区下降幅度最大。时间尺度上年降水存在 28, 22, 14, 4 a 的震荡周期。

5) 在空间上, 多年平均降水呈南多北少的格局, 主要受纬度位置和海陆位置影响。皖南地区旱涝频率高, 差异小; 江淮之间地区干旱频率差异大, 呈西高东低的规律, 洪涝发生频率较低, 仅六安地区频率较高; 皖北地区旱涝频率呈自南向北递减的规律。

参考文献:

- [1] 秦大河, 晓华, 高云, 等. IPCC 第五次评估报告第一工作组主要结论对《联合国气候变化框架公约》进程的影响分析[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 14 - 18.
- [2] IPCC. Summary for policymakers [M]//STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al, eds. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2013.
- [3] GROISMAN P Y, KARL T R, EASTERLING D R, et al. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climatic change [J]. Climatic Change, 1999, 42(1): 243 - 283.
- [4] 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.
- [5] 齐冬梅, 李跃清, 陈永仁, 等. 近 50 年四川地区旱涝时空变化特征研究[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 638 - 645.
- [6] 施雅风, 沈永平, 李栋梁. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 1170 - 1179.
- [7] 白爱娟, 刘晓东. 华东地区近 50 年降水量的变化特征及其与旱涝灾害的关系分析[J]. 热带气象学报, 2010, 26(2): 194 - 200.
- [8] 李双双, 延军平, 杨蓉, 等. 气候变暖背景下 1961 - 2010 年宁夏旱涝灾害空间分布特征和变化规律[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1552 - 1559.
- [9] 杜华明, 延军平. 四川省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2491 - 2500.
- [10] 韩晓敏, 延军平, 李敏敏, 等. 辽宁省旱涝灾害与太阳黑子活动的相关性[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 231 - 235.
- [11] 王胜, 石磊, 田红, 等. 安徽省台风降水气候特征及其对农业的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(3): 108 - 113.
- [12] 许信旺, 孙满英, 方宇媛, 等. 安徽省气候变化对水稻生产的影响及应对[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1755 - 1763.
- [13] 郝莹, 鲁俊, 温华洋, 等. 安徽省近 49 年短历时强降雨事件趋势变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(9): 1143 - 1147.
- [14] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482 - 493.
- [15] 张存杰, 王宝灵. 西北地区旱涝指标的研究[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 381 - 389.
- [16] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 27 - 34.
- [17] 鞠笑生, 邹旭恺, 张强. 气候旱涝指标方法及其分析[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 52 - 58.
- [18] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523 - 529.
- [19] 陈彦光. 地理数学方法: 基础和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 23 - 25.
- [20] 王红雷, 陈瑶, 梁艳, 等. 华东地区降水时频变化特征与 ENSO 事件关系[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012, 6(1): 36 - 40.
- [21] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 63 - 66.
- [22] 谢毅文, 李粤安. 基于小波变换的广东省年降水量序列多时间尺度分析[J]. 人民珠江, 2013, 3: 32 - 34.
- [23] 王胜, 鲁俊, 吴必文, 等. 安徽省夏季降水变化及其对旱涝的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(7): 2870 - 2873.
- [24] 蔡哲, 章毅之, 何拥凤, 等. 江西省干旱洪涝的时空变化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 144 - 149.
- [25] 谢五三, 田红, 王胜. 安徽省近 50 年汛期极端强降水量特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(Z2): 226 - 230.
- [26] 高金兰, 马晓群, 许莹. 安徽省气候变化背景下降水量对粮食产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(18): 112 - 118.
- [27] 杜华明, 延军平. 川滇地区气候特征与旱涝灾害变化趋势分析[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 146 - 150.
- [28] 李敏敏, 延军平. 全球变化下秦岭南北旱涝时空变化格局[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 638 - 645.