

安徽省旱涝受灾时空特征及与降水关系研究

朱国良¹, 严 韬², 秦粮朋¹, 蒋跃林^{1*}, 甘瑞杰³

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2. 福建省泉州市气象局, 泉州 362000;

3. 江西省南昌市气象局, 南昌 330038)

摘 要:旱涝灾害是安徽省主要的气象灾害,对农业生产有着重要的影响。研究安徽省旱涝灾害变化特征对降低灾害损失十分重要。基于安徽省2000—2017年旱涝受灾面积数据、降水数据,利用M-K突变检验、趋势分析法和相关性分析方法研究了安徽省旱涝受灾情况以及降水对其的影响。结果表明:安徽省旱涝受灾面积年际变化较大,且干旱受灾面积要高于洪涝受灾面积;旱涝受灾情况分别在2013年和2007年存在明显的突变,通过突变前后区域受灾情况对比可知,旱灾受灾率有明显的下降趋势,洪涝受灾率大部分呈下降趋势,但长江下游区以及长江-东南诸河区呈上升趋势;旱灾受灾面积整体都有下降趋势,南方地区下降趋势尤其显著,洪灾受灾面积南方呈上升趋势,北方呈下降趋势,且旱涝受灾面积的升降趋势与降水存在一定的关系;在3个极端降水指数中,强降水日数与旱涝受灾面积的关系最为密切。

关键词:旱涝灾害;降水;M-K突变检验;趋势分析;相关性分析

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2020)06-0971-08

Study on the spatial and temporal characteristics of droughts and floods in Anhui Province and their relationship with precipitation

ZHU Guoliang¹, YAN Tao², QIN Liangpeng¹, JIANG Yuelin¹, GAN Ruijie³

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Meteorological Bureau of Quanzhou, Fujian Province, Quanzhou 362000;

3. Meteorological Bureau of Nanchang, Jiangxi Province, Nanchang 330038)

Abstract: Droughts and floods are the main meteorological disaster in Anhui Province, which have an important impact on agricultural production. It is very important to study the characteristics of drought and flood disasters change in Anhui Province to reduce disaster losses. The paper based on the drought and flood damage area data and precipitation data from 2000 to 2017 in Anhui Province, the Manner-Kendall, trend analysis method and correlation analysis were used to study the drought and flood damage in Anhui Province and the influence of precipitation on it. The results showed that: the drought and flooding affected areas in Anhui Province have a large interannual variation, and drought affected areas are higher than the flooded areas. The situation of drought and flood disasters were significantly changed in 2013 and 2007, respectively. According to the comparison of the regional disaster situation before and after the mutation, the drought disaster rate has a significant downward trend, and most of the flood disaster rates have a downward trend, but the lower Yangtze River area and the Yangtze River-southeast rivers area are increasing. The drought disasters area as a whole has a downward trend, and the decreasing trend is especially significant in the south. The flood disasters area has an upward trend in the south and a downward trend in the north. The rise or fall of the drought disasters area has a certain relationship with precipitation. Among the three extreme precipitation indexes, the number of days of heavy rainfall is most closely related to the drought and flood disasters area.

Key words: drought and flood disasters; precipitation; Manner-Kendall; trend analysis; correlation analysis

收稿日期: 2019-11-13

基金项目: 国家重点研发计划项目课题(2018YFD0300905)资助。

作者简介: 朱国良, 硕士研究生。E-mail: 1449659464@qq.com

* 通信作者: 蒋跃林, 教授。E-mail: jiangyuelin239@163.com

旱涝灾害是主要的自然灾害之一,受气候变化影响巨大。在全球气候变暖背景下^[1],自然降水的时空分布正逐渐发生变化,极端降水事件的发生日趋频繁,旱涝灾害的影响也越来越广,对农业生产造成的损失也越来越大。因此,对受灾情况以及与灾害有关的气象因素的研究就显得尤其必要。

近年来,许多学者从不同的角度对旱涝灾害进行了研究,有的通过各种旱涝评价指标来研究旱涝灾害的时空分布,如 Loukas 等^[2]利用 SPI 指数分析了希腊色萨利地区干旱时空特征,结果表明色萨利地区普遍发生中度和重度干旱;韩冬梅等^[3]利用标准化降水指数(SPI)研究了东北地区近50年来旱涝时空分布特征,指出东北地区发生干旱次数较洪涝频次多,且旱灾影响面积大;张余庆等^[4]利用标准化蒸散指数(SPEI)研究了赣江流域旱涝时空分布,得出了重涝主要分布在赣江流域南部,而重旱主要分布在西南地区的结论;Hao 等^[5]将多变量标准化干旱指数(MSDI)与其他干旱指数进行对比并用来说表征加利福尼亚和北卡罗来纳州多个气候分区的干旱状况,结果表明 MSDI 表现出更严重的干旱情况;汪左等^[6]利用作物蒸散指数(CWSI)研究了安徽省干旱时空特征以及影响因素,指出了2000—2014年间安徽省CWSI整体上呈现弱增加趋势,具有较强的空间分异性且具有明显的季节性差异;除此之外,还有对旱涝受灾情况进行分析,顾西辉等^[7]利用1961—2010年旱涝受灾数据对国家旱涝受灾情况进行分析,指出中国大部分省份农业旱涝灾害具有明显的突变和趋势特征;杜张颖等^[8]分析了安徽省旱涝受灾情况及其对农业胁迫变化,指出安徽省旱涝灾害对农业的胁迫指数空间分异明显。

目前虽有学者研究了安徽省旱涝灾害情况,但大多倾向于从旱涝指标方面出发,研究旱涝分布,从受灾情况方面的研究还较少,本研究利用安徽省旱涝受灾面积数据以及降水数据,分析安徽省旱涝受灾情况时空分布以及旱涝受灾与极端降水指数的关系。

1 研究区概况及数据来源

安徽省位于我国华东地区 29°41'~34°38' N、114°54'~119°37' E 之间,是我国南北方过渡地区。区域内地形地貌复杂多样,地势由平原、丘陵、山地构成,整体表现为西南高、东北低。安徽省地处暖温带与亚热带过渡地区,淮河以北属暖温带半湿润季风气候,淮河以南为亚热带湿润季风气候,主要特点为季风明显,四季分明。全省年平均气温为

14~17℃,年平均降水在 773~1 670 mm 之间,年平均蒸散量在 647.5~730.5 mm。安徽省是我国重要的农业生产基地之一,农业生产在经济发展中占据重要地位,但由于地处南北气候过渡带,自然灾害频发,农业产量极不稳定。

本研究所采用的气象数据为中国气象局气象数据中心提供的安徽省分布均匀的 23 个气象站点 1980—2016 年逐日降水数据,旱涝灾害受灾面积与播种面积数据则来源于安徽省统计局官网所提供的年鉴资料,为保证数据连续性,选取安徽省 2000—2017 年所有作物的播种面积以及受旱涝灾害影响作物的受灾面积数据。所选择的数据均经过严格的质量控制。由于所选择的年限内安徽省市县级行政区划变动较大,为方便数据的处理,参考安徽省水资源分区,在保证区划完整的前提下,对安徽省进行如图 1 所示分区。

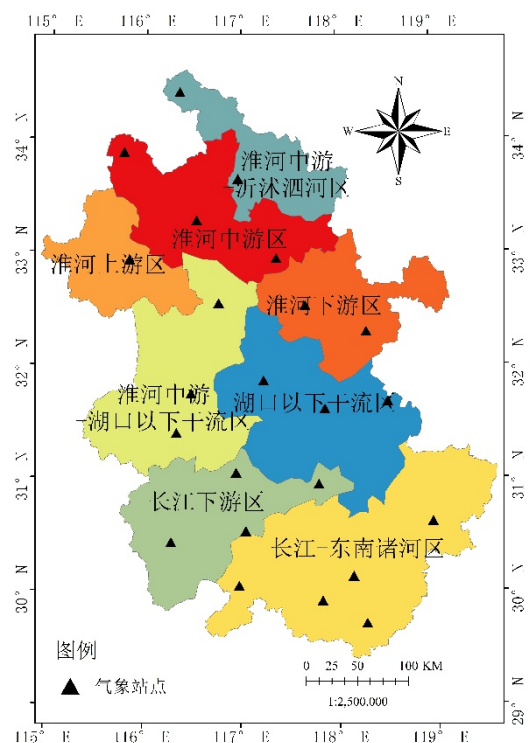


图 1 安徽省分区及气象站点分布

Figure 1 Distribution and meteorological station of Anhui Province

2 分析方法

2.1 MK 突变检验

MK 突变检验法是一种非参数统计检验方法,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适用于类型变量和顺序变量,计算也比较简便,可对突变发生的时间、次数以及显著性进行检验^[9-12]。对于具有 n 个样本量的时间序列 x , 构造一秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, k = 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} +1, & \text{当 } x_i > x_j \\ 0, & \text{当 } x_i \leq x_j \end{cases}, j = 1, 2, \dots, j \quad (2)$$

秩序列 s_k 是第 j 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下, 定义统计量

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中 $UF_1, E(s_k), \text{var}(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差, 在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立, 且有相同连续分布时, 可以由下式算出:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4} \\ \text{var}(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \end{cases} \quad (4)$$

UF_i 为标准正态分布, 它是按时间序列 x 顺序 x_1, x_2, \dots, x_n 计算出的统计量序列, 给定显著性水平 α , 查正态分布表, 若 $|UF_i| > U_\alpha$, 则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 x 逆序 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 , 再重复上述过程, 同时使 $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots)$, $UB_i = 0$ 。

绘出两个统计量的曲线图, 若 UF_k 或 UB_k 的值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时, 表明上升或下降趋势显著。若两条曲线在临界线之间出现交点, 那么交点对应的时刻便是突变时间。

2.2 累积距平

累积距平是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法。对于序列 x , 其某一时刻 t 的累积距平表示为

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), t = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

其中,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

将 n 个时刻的累积距平值全部算出, 即可会出累积距平曲线进行分析。

累积距平曲线呈上升趋势, 表示距平值增加, 呈下降趋势则表示距平值减小。从曲线明显的上下起伏, 可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化, 甚至还可以诊断发生突变的大致时间^[13-15]。

2.3 趋势检验

利用统计检验方法中的非参数统计检验方法可以有效地评价序列的趋势。

$$r_i = \begin{cases} +1, & \text{当 } x_j > x_i \\ 0, & \text{当 } x_j \leq x_i \end{cases}, j = i+1, \dots, n \quad (7)$$

r_i 是 i 时刻以后的数值 $x_j (j=i+1, \dots, n)$ 大于该时刻值 x_i 得样本个数。

计算统计量

$$Z = \frac{4}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} r_i - 1 \quad (8)$$

对于递增直线, r_i 序列为 $n-1, n-2, \dots, 1$, 这时 $Z=1$, 对于递减直线 $Z=-1$, Z 值在 $1 \sim -1$ 之间变化。 $|Z| > Z_{0.05}$

给定显著性水平 α , 假定, 则 $\alpha=0.05$ 判据

$$Z_{0.05} = 1.96 \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}} \quad (9)$$

若 $|Z| > Z_{0.05}$, 则认为变化趋势在 $\alpha=0.05$ 显著性水平下是显著的。

2.4 受灾率

为了使受灾程度具有可比性, 采用受灾率对安徽省受灾情况进行深入研究, 公式如下:

$$X = \frac{h}{H} \quad (10)$$

式中: X 表示受灾率, h 表示当年旱灾或涝灾受灾面积, H 表示当年农作物播种总面积。

表 1 极端降水指数定义

Table 1 Definition of extreme precipitation index

项目 Item	指数名称 Index name	解释 Explain	单位 Unit
R10	强降水日数	每年日降水量 ≥ 10 mm 的总日数	d
SDII	普通日降水强度	降水量 ≥ 1 mm 的总量和日数之比	mm·d ⁻¹
CDD	持续干燥指数	日降水量 < 1 mm 的最大持续日数	d

2.5 极端降水指数

为了更好地描述降水与旱涝灾害的关系, 选取三个极端降水指数与旱涝受灾情况进行相关性分析。研究中选取的极端降水指数均为世界气象组织

(WMO)确定的“气候变化检测及指标”, 依据世界气象组织规定将极端事件划定为大于 90%分位点或小于 10%分位点的事件, 以此增强温度和降水事件变化趋势的空间可比性, 该方法对量级很小的资料也

同样适用^[16-17]。

3 结果与分析

3.1 旱涝受灾面积年际变化

利用安徽省每年旱涝灾害受灾面积数据，绘制如图2所示的受灾面积年际变化曲线。由图2可知，受旱灾影响最严重的年份为2001年，受灾面积达到 $3\,357.21 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，2007、2015年影响最低，几乎未对农业生产产生影响，旱灾面积在2001—2002年期间急剧降低，2002—2013年又呈现一定的上升趋势，2013年后又大幅度下降；而受洪灾影响最为严重的年份则是2003年，受灾面积达到 $2\,863.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，影响最低的年份为2017年，为 $155.12 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，除2003年外，受灾面积的变化幅度不大，并且在洪涝受灾严重的年份，干旱受灾基本较低。总体来看，安徽省农业受干旱影响更为严重，干旱受灾面积高于洪涝受灾面积。

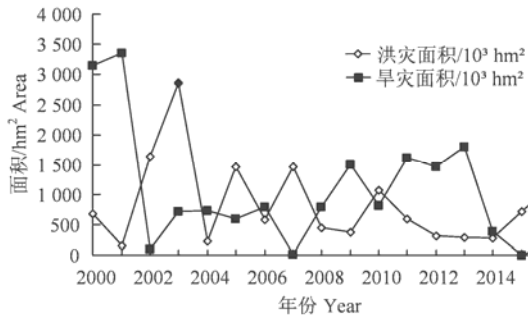
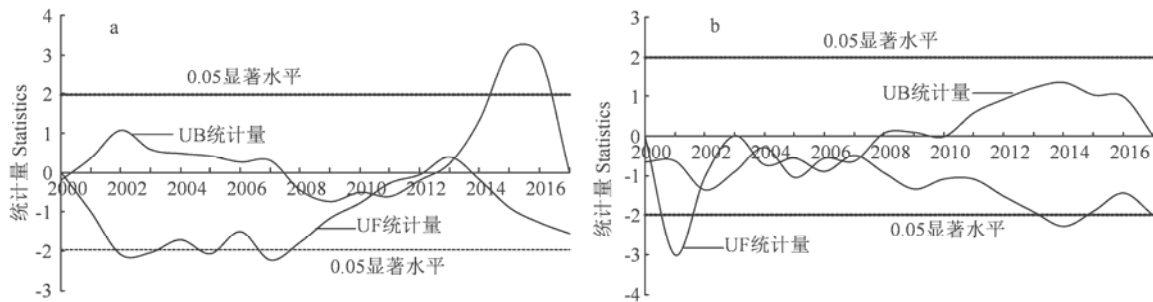


图2 2000—2017年安徽省旱涝灾害面积变化趋势

Figure 2 Change trend of drought and flood area in Anhui Province from 2000 to 2017

3.2 突变检验

利用M-K突变检验寻找旱涝灾害突变时间，绘



a.旱灾受灾面积M-K突变检验曲线；b.涝灾受灾面积M-K突变检验曲线。

a. M-K statistics curve of drought affected area; b. M-K statistics curve of flood affected area.

图3 安徽省旱涝灾害受灾面积M-K统计量曲线

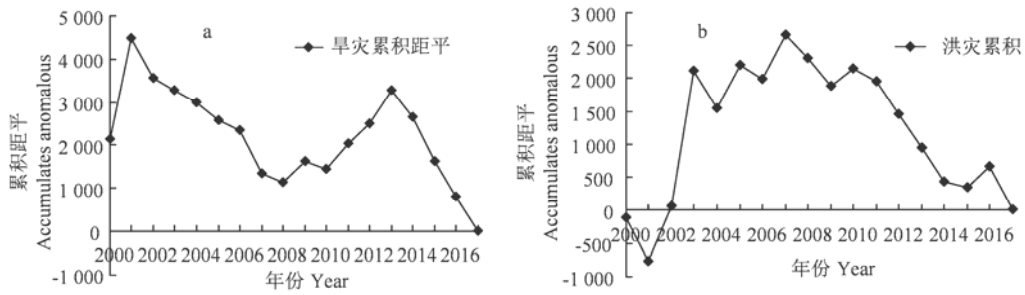
Figure 3 M-K statistics curve of drought and flood affected area in Anhui Province

3.3 突变前后受灾率分析

根据安徽省各市区划旱涝受灾面积数据以及农作物播种面积数据，求出各区域突变前后旱涝受

制旱涝受灾面积M-K检验曲线，结果如图3所示，图3a旱灾受灾面积突变检验中，UF和UB曲线在显著水平内存在三个交点，分别为2000年，2010年以及2013年，结果均通过了显著性检验，但由于发生在两端的突变需忽略不计，因此，旱灾面积可能存在2010年，2013年两个突变时间。图3b所示的洪灾受灾面积突变检验中，UF、UB曲线在2000—2008年间存在多个交点，且均通过了显著性检验。因此，洪灾面积在2008年前可能存在多次突变。为了寻找最佳突变时间，利用累计距平曲线对旱涝受灾面积进行进一步分析，结果如图4a、b所示。图4a为旱灾面积累积距平曲线，由图可知，曲线的极大值出现在2001年，2013年，极小值出现在2008年，整个曲线呈现上升-下降-上升-下降的变化趋势，由此可见旱灾面积与距平曲线有相应的变化趋势，结合M-K突变检验结果可知，安徽省2000—2017年旱灾面积最佳突变时间点为2013年。结合资料可知，2013年我国西南、西北大部及长江中下游部分地区发生了冬春旱，江淮、江南大部以及西南地区发生了夏伏旱^[18]，安徽省夏季高温为1961年以来最强。由图4b洪灾面积累积距平曲线可知，曲线的极小值出现在2001年，说明在2001年旱灾面积可能出现突变，2001年后，极大值出现在2007年，在2007年两边，曲线呈现先上升后下降的倒v形变化趋势，所以，由洪灾面积累积距平曲线看出，突变点可能为2001年与2007年。结合MK突变检验曲线可知，洪灾面积的最佳突变时间点为2007年。通过实际资料可知，2007年淮河流域发生了新中国成立以来仅次于1954年的第2位流域性大洪水，因涝致灾突出，因此，通过分析得出的突变时间是比较准确的^[19]。

灾率，结果如图5所示。图5a、b为突变前后旱灾受灾率分布图，可以看出，安徽省整体旱灾受灾率在2013年前均在0.1~0.18之间，突变后受灾率明

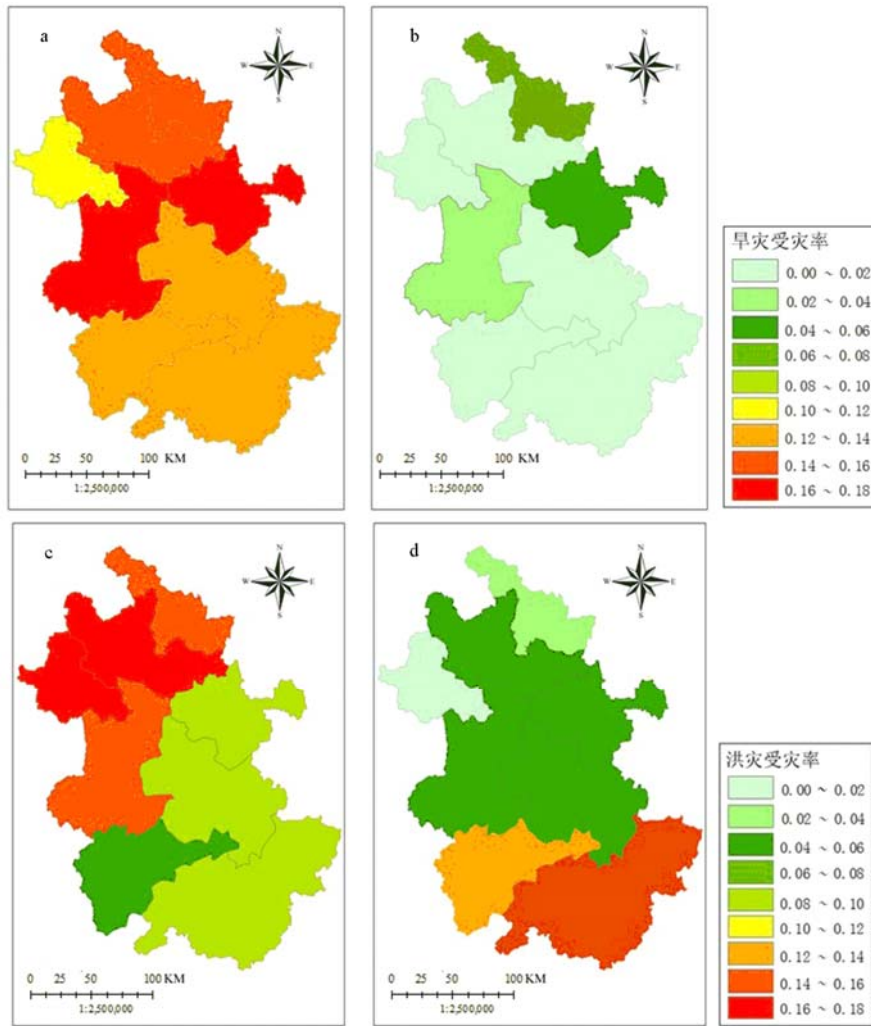


a.旱灾受灾面积累积距平曲线; b.洪灾受灾面积累积距平曲线。

a. Accumulates anomalous curve of drought affected area; b. Accumulates anomalous curve of flood affected area.

图 4 安徽省旱涝灾害受灾面积累积距平曲线

Figure 4 Accumulates anomalous curve of drought and flood affected area in Anhui Province



a.突变前旱灾受灾率; b.突变后旱灾受灾率; c.突变前洪灾受灾率; d.突变后洪灾受灾率。

a. Drought affected rate before abrupt changes; b. Drought affected rate after abrupt changes; c. Flood affected rate before abrupt changes; d. Flood affected rate after abrupt changes.

图 5 突变前后旱涝受灾情况空间分布

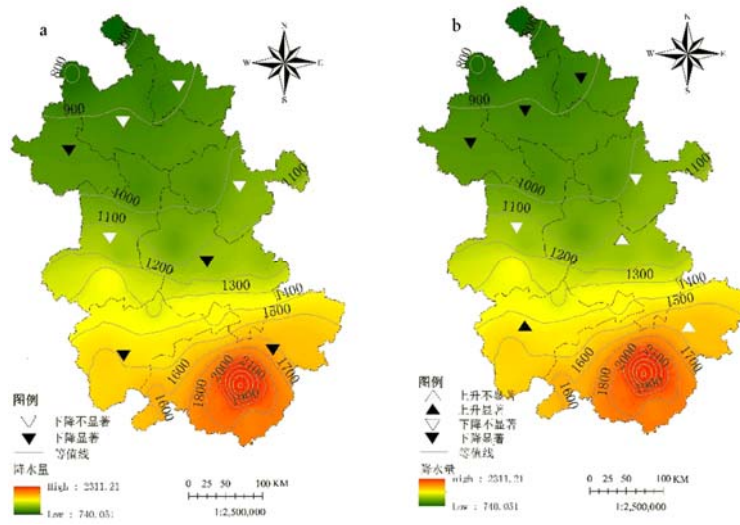
Figure 5 Spatial distribution of drought and flood before and after abrupt changes

显降低, 各区域受灾率均小于 0.1。局部受灾率突变前最高的区域为淮河流域-湖口以下干流区以及淮河下游区, 均处于 0.16~0.18 之间, 突变后受灾率最高的区域为淮河下游区, 处于 0.04~0.06 之间,

淮河流域中游区-湖口以下干流区受灾情况较之突变前则有明显的降低。干旱受灾率降低幅度最大区域为淮河流域中游区, 突变前后受灾率下降了 0.1。图 5c、d 为突变前后洪灾受灾率分布图, 可以看出, 突变前

后各区域受灾率虽有增有减，但总体仍有降低的趋势，长江下游区以及长江-东南诸河区洪灾受灾率有明显的增幅，除这两个区域外，受灾率均呈降低的

趋势，其中以淮河上游区受灾率降低幅度最为明显，突变前后受灾率下降了 0.16，而湖口以下干流区以及淮河下游区受灾率变化情况则不是非常明显。



a.旱灾; b.涝灾。a. Drought; b. Flood.

图 6 安徽省各分区受灾情况变化趋势图

Figure 6 Change trend of disaster situation in different districts of Anhui Province

表 2 旱涝受灾情况与极端降水指数相关性分析结果

Table 2 Correlation analysis results of drought and flood disaster situation and extreme precipitation index

项目 Item	R10	SDII	CDD
旱灾受灾面积 Drought affected area	0.584*	-0.613*	0.143
洪灾受灾面积 Flood affected area	0.637*	0.359	-0.254

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。Note: * indicates significant correlation at the 0.05 level (two-sided).

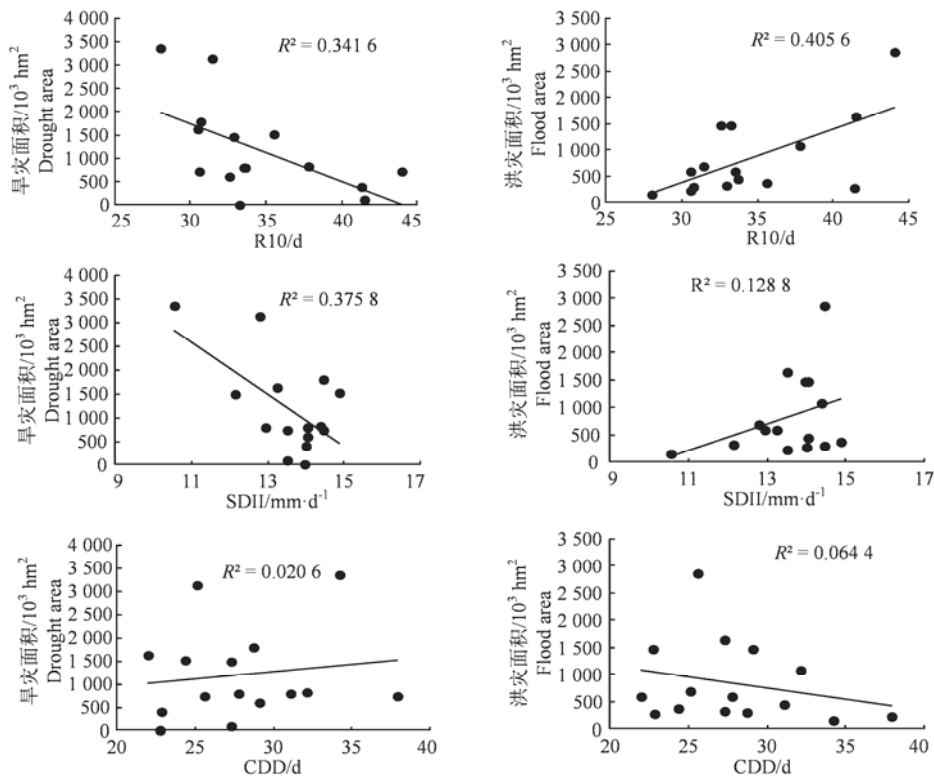


图 7 旱涝受灾面积与极端降水指数相关性

Figure 7 Correlation between drought and flood affected area and extreme precipitation index

3.4 旱涝受灾面积趋势检验

对安徽省各区域受灾情况进行趋势检验,并绘制如图 6 所示各区域受灾面积变化趋势图。图 6a 为安徽省旱灾受灾面积变化趋势图,由图可知,安徽省旱灾受灾面积整体呈现下降趋势,其中,淮河上游区,湖口以下干流区,长江下游区以及长江-东南诸河区下降趋势明显,其他区域虽有下降趋势,但趋势不明显,这些表明了旱灾对安徽省农业的影响正逐年减弱。图 6b 为安徽省洪灾受灾面积变化趋势图,由图 6 可知,洪灾受灾面积趋势有着较为明显的区域差异,偏南方的湖口以下干流区,长江下游区以及长江-东南诸河区洪灾受灾情况均呈上升趋势,其中长江下游区上升趋势最为显著,偏北方的淮河上游区,淮河中游区,淮河中游-沂沭泗河区,淮河中游-湖口以下干流区以及淮河下游区均呈现下降趋势,且越往北方下降趋势越显著。整体来看,安徽省北部区域的旱涝受灾面积均呈下降趋势,且淮河上游区尤其显著,南方受灾趋势则表现为旱灾受灾趋势上升,洪灾受灾趋势下降。结合安徽省年均降水分布情况可知,降水对旱涝受灾面积有一定的影响,在降水量较大的区域,旱灾受灾面积有着明显的下降趋势,洪灾受灾面积则呈上升趋势,在降水量较少的区域,洪灾受灾面积有着明显的下降趋势,旱灾受灾面积同样呈下降趋势,却不显著,从这个角度看,降水对洪灾的影响强于对旱灾影响。

3.5 旱涝受灾情况与降水的关系

为了进一步探究旱涝受灾情况与降水的关系,对三个极端降水指标与安徽省旱涝受灾面积进行相关性分析,结果如下所示。由表 2 可知, R10, SDII 与旱灾受灾面积均呈负相关,且皆通过了显著性检验,说明强降水日数越多或普通日降水强度越大,旱灾受灾面积就会相应地减少。洪灾受灾面积与 R10 呈显著正相关,与 SDII 虽呈正相关,却未通过显著性检验,说明洪灾受灾面积受强降水日数影响较大,受普通日降水强度的影响较小。CDD 与旱涝受灾面积的相关性均未通过检验,说明 CDD 与旱涝受灾面积的关系不大。

由图 7 可知,旱灾受灾面积随 R10 与 SDII 的增加而减少,随 CDD 的增加而增加,其中与 R10 及 SDII 有较强的相关性,与 CDD 的相关性则相对较弱;洪灾受灾面积随 R10 的增加而增加,随 CDD 的增加而减少,与 R10 的相关性较强,与 SDII 以及 CDD 的相关性相对较弱,与前面的研究结果一致。由研究结果可知,强降水日数与旱涝灾害发生关联紧密,在农业生产以及防灾救灾过程中,要注

意持续强降水的影响。

4 讨论与结论

本研究通过安徽省的旱涝受灾面积数据以及降水数据,分析了旱涝灾害受灾情况时空分布以及与降水的关系并得出以下结论:

2000—2017 年以来安徽省受旱灾影响最严重的年份为 2001 年,农业受灾面积达到 $3\,357.21 \times 10^3 \text{ hm}^2$,受洪灾影响最为严重的年份为 2003 年,受灾面积达到 $2\,863.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$;

由突变检验可得旱灾受灾面积最佳突变时间为 2013 年,洪灾最佳突变时间为 2007 年,突变前后旱涝受灾率对比表明,旱灾受灾率整体下降趋势明显,洪灾受灾率在长江下游区以及长江-东南诸河区洪灾受灾率有明显的增幅,除这两个区域外,受灾率均呈降低的趋势。

旱涝受灾面积趋势检验结果为:安徽省北部地区,即淮河上游区,淮河中游区,淮河中游-湖口以下干流区,淮河下游-沂沭泗河区以及淮河下游区这五个地区旱涝受灾面积均呈下降趋势;南方地区,即湖口以下干流区,长江下游区以及东南诸河区旱灾受灾情况呈下降趋势,而洪灾受灾情况呈上升趋势。

降水的区域差异性对旱涝灾害的发生有一定的影响。通过对极端降水指数与旱涝受灾面积的分析可知, R10 对旱涝面积的影响最大,其次为 SDII, CDD 虽有影响,但不显著。

综上所述,本研究详细分析了安徽省旱涝受灾情况时空分布特征,并进一步研究了降水对其的影响,能够为安徽省旱涝灾害预防以及农业生产提供依据,具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013:1535.
- [2] LOUKAS A, VASILIADES L. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece[J]. Nat Hazards Earth Syst Sci, 2004, 4(5/6): 719-731.
- [3] 韩冬梅, 杨贵羽, 严登华, 等. 近 50 年东北地区旱涝时空特征分析[J]. 水电能源科学, 2014, 32(6):5-8.
- [4] 张余庆, 项瑛, 陈昌春, 等. 赣江流域旱涝时空变化特征研究[J]. 气象科学, 2015(3):114-120.
- [5] HAO Z C, AGHAKOUCHAK A. Multivariate Standard-

- ized Drought Index: a parametric multi-index model[J]. *Adv Water Resour*, 2013, 57(9):12-18.
- [6] 汪左, 王芳, 张运. 基于 CWSI 的安徽省干旱时空特征及影响因素分析[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 853- 866.
- [7] 顾西辉, 张强, 张生. 1961-2010年中国农业洪旱灾害时空特征、成因及影响[J]. *地理科学*, 2016, 36(3):439-447.
- [8] 杜张颖, 陈松林. 安徽省旱涝灾害及其对农业胁迫变化[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2018, 13(4):78-84.
- [9] 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.
- [10] 段娜, 杨贵羽, 游进军.五指山市近 60 年降雨量时空演变规律分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(6): 64-71.
- [11] 张平, 延军平, 王文静, 等. 1960-2014 年淮河流域 5 省旱涝变化[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2017, 44(3): 345- 353.
- [12] 付伟, 许信旺, 刘蕾, 等. 安徽省近 50 年极端低温事件的变化特征和季节性差异[J]. *安徽农业大学学报*, 2014, 41(5): 895-904.
- [13] 郭文献, 李越, 王鸿翔, 等. 基于 IHA-RVA 法三峡水库下游河流生态水文情势评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(9): 116-123.
- [14] 李运刚, 何大明, 叶长青. 云南红河流域径流的时空分布变化规律[J]. *地理学报*, 2008, 63(1):41-49.
- [15] 袁新田, 徐光来, 徐国伟. 皖北地区的气温变率研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2012, 39(2):292-296.
- [16] 柏会子, 肖登攀, 刘剑锋, 等. 1965-2014 年华北地区极端气候事件与农业气象灾害时空格局研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2018, 34(5):105-111.
- [17] 朱大运, 熊康宁, 肖华等. 贵州省极端气温时空变化特征分析[J]. *资源科学*, 2018, 40(8):1672-1683.
- [18] 刘洪岫. 2013 年全国旱灾及抗旱行动情况[J]. *中国防汛抗旱*, 2014, 23(1):20-23.
- [19] 张葆蔚. 2007 年全国洪涝灾情[J]. *中国防汛抗旱*, 2008(1): 62-68.