

1955—2017 年安康市极端气候事件时序变化特征

肖薇薇^{1,2,3}, 安彬^{1,2,3}, 贾丹¹

(1.安康学院 旅游与资源环境学院, 陕西 安康 725000;

2.安康市汉江水资源保护与利用工程技术研究中心, 陕西 安康 725000; 3.陕南生态经济研究中心, 陕西 安康 725000)

摘 要:安康市地处秦巴腹地,是环境变化的敏感区和生态脆弱区,研究其极端气候特征变化可为当地防灾减灾提供参考。基于安康市 1955—2017 年逐日气象实测数据,利用 RClimDex 软件计算了 11 个极端气温指数和 8 个极端降水指数,运用线性拟合、Mann-Kendall 法分析了安康市极端气温和极端降水事件变化趋势和突变特征。结果表明:(1) 1955—2017 年安康市极端暖事件呈显著增加趋势,冷事件呈显著减少趋势。其中极端最低气温、夏日日数、热夜日数、暖日日数、暖夜日数、作物生长期均分别以 $0.295^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $1.754\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $1.355\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $0.32\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $1.118\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $4.64\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率显著增加($p<0.05$);霜冻日数、冷日日数和冷夜日数分别以 $-3.197\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $-0.961\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $-1.885\text{ d}/10\text{ a}$ 的趋势显著减少($p<0.05$);(2) 1955—2017 年安康市极端降水呈增长趋势,其中 1 日最大降水量、中雨日数、强降水量、年降水量和连续干旱日分别以 $0.885\text{ mm}/10\text{ a}$ 、 $0.079\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $11.617\text{ mm}/10\text{ a}$ 、 $11.05\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $1.495\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率上升,而大雨日数 $0.438\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率显著上升($p<0.05$);5 日最大降水量、连续湿润日数分别以 $-1.476\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $-0.001\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率下降;(3)安康市各极端气温指数和极端降水指数突变年不一,主要集中在 20 世纪 60 至 70 年代、20 世纪 90 年代至 21 世纪初。总体来看,近 63 年安康市气候整体向暖干化趋势发展,尤其以 20 世纪 90 年代之后增温最为显著。极端气候的变化会使得该区旱涝灾害、高温灾害、农业病虫害增加,未来相关部门应该提前部署减灾防灾工作,以最大程度降低灾损。

关键词:极端气温; 极端降水; 线性趋势; 突变检验; 安康市

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0212-10

Temporal Variation Characteristics of Extreme Weather Events in Ankang from 1955 to 2017

XIAO Weiwei^{1,2,3}, AN Bin^{1,2,3}, JIA Dan¹

(1.College of Tourism & Environment, Ankang University, Ankang, Shaanxi 725000, China;

2.Engineering Technology Center for Water Resource Protection and Utilization of Hanjiang River, Ankang,

Shaanxi 725000, China; 3.South Shaanxi Ecological and Economic Research Center, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: Ankang City is located in the hinterland of Qinba Mountains, which is a sensitive area of environmental change and an ecologically fragile area. It is of great significance to study extreme climate change for local disaster prevention and mitigation. Based on observed daily maximum temperature and minimum temperature and precipitation data during 1955 to 2017 in Ankang City, we calculated 11 extreme temperature indices and 8 extreme precipitation indices by using RClimDex software, and analyzed the temporal variation characteristics of extreme weather events in Ankang City by using linear fitting, Mann-Kendall method. The results showed that: (1) from 1955 to 2017, we found significantly increasing trends for the warm extreme indices and considerably decreasing trends for the cold extreme indices in Ankang City; the extreme minimum temperature, summer days, hot night days, warm days, warm night days, and growing season all significantly increased at a rate of $0.295^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, $1.754\text{ d}/\text{decade}$, $1.355\text{ d}/\text{decade}$, $0.32\text{ d}/\text{decade}$, $1.118\text{ d}/\text{decade}$ and $4.64\text{ d}/\text{decade}$, respectively; frost days, cold days and cold nights decreased at a rate of $-3.197\text{ d}/\text{decade}$, $-0.961\text{ d}/\text{decade}$ and $-1.885\text{ d}/\text{decade}$, respectively; (2) from 1955 to 2017, the extreme precipitation in Ankang showed an increasing trend; the maximum daily precipitation, moderate rain days, heavy precipitation, annual precipi-

收稿日期:2021-01-09

修回日期:2021-02-21

资助项目:陕西省人社厅项目(RS17);陕西省教育厅项目(19JK0004);安康市汉江水资源保护与利用工程技术中心项目(2021)

第一作者:肖薇薇(1983—),女,陕西安康人,博士,主要从事气候气候变化影响评估与风险管理。E-mail: xiaoweismile528@126.com

tation and continuous dry days increased at a rate of 0.885 mm/decade, 0.079 d/decade 11.617 mm/decade, 11.05 mm/decade and 1.495 d/decade, respectively, while the rate of heavy rain days increased significantly at a rate of 0.438 d/decade ($p < 0.05$); the 5-days maximum daily precipitation and continuous wet days decreased significantly at the rate of -1.476 mm/decade and -0.001 d/decade, respectively; (3) the extreme temperature and precipitation indices in Ankang City had different abrupt changes, mainly in the 1960s and 1970s, 1990s and the early 21st century. In general, the climate of Ankang City had been warming and drying in recent 63 years, especially after 1990s. Extreme climate change will increase drought and flood disasters, high temperature disasters, agricultural diseases and insect pests in this area. In the future, the government should deploy disaster reduction and prevention work in advance to minimize the disaster losses.

Keywords: temperature; precipitation; trend; test; Ankang City

相对于气候变化的均值,极端气候事件(如洪涝、干旱、台风、风暴、酷暑、严寒等)具有突发性、不可预测性、破坏性强等特点,对自然系统影响巨大,对生态环境和人类生活造成严重破坏,并可能影响全球粮食安全和水资源供应^[1-3]。Wang^[4]、尹红^[5]等对近50年中国极端气候事件变化规律的研究表明,中国极端气候事件发生的频率越来越高,且生态脆弱区受极端天气影响更为剧烈。学者们采用线性回归、趋势分析、空间分析、突变检验等研究方法对中国东部地区^[6]、黄淮海地区^[7]、锡林河流域^[8]、三江源地区^[9]、海南省^[10]、宝鸡市^[11]、汉中市等^[12]不同尺度区域的极端气候变化规律进行了分析,结果都表明极端气温和降水事件都呈增加趋势,且表现出时空分布和强度上的变化,不同区域极端气候变化差异对于农业生产、气候资源开发利用等均会产生不同影响。

安康市地处秦巴腹地,是国家主体功能区建设示范市和南水北调中线工程的核心水源区,是环境变化的敏感区和生态脆弱区,洪灾与滑坡、泥石流等次生地质灾害频繁发生,研究其极端气候特征变化对于当地防灾减灾具有重要意义。目前,赵景波^[13]、靳俊芳^[14]等分别选用了8个极端气温指标和4个极端降水指标对安康市1955—2012年的极端气温和极端降水变化规律做了研究,但仅单独考虑某一气候要素对于全面揭示区域极端气候变化趋势还有一定的局限性,本文选用11个极端气温指数和8个极端降水指数,分析安康市1955—2017年的极端气温和降水事件变化规律及突变特征,以期为该区域农业生产、生态环境建设与保护以及气象灾害预防等提供更全面的参考依据。

1 研究资料和研究方法

1.1 研究区概况

安康市($31^{\circ}42' - 33^{\circ}50' \text{N}$, $108^{\circ}01' - 110^{\circ}12' \text{E}$)

位于陕西省东南部,北依秦岭,南靠巴山,汉水横贯东西,河谷盆地居中,属亚热带大陆性季风气候。年均温 $12 \sim 15^{\circ}\text{C}$,年降水量 $750 \sim 1\,100 \text{ mm}$,全市无霜期 $210 \sim 280 \text{ d}$,生长期年平均 290 d ,年平均日照时数为 $1\,610 \text{ h}$ 。因地形、气候等多种因素的影响,该区极端气候事件频繁发生。

1.2 研究方法

本文从中国气象科学数据共享服务平台(<https://data.cma.cn/>)获取安康站($32^{\circ}25'48''\text{N}$, $109^{\circ}1'12''\text{E}$)1955—2017年的逐日最高、最低气温数据及降水数据。从世界气象组织(WMO)推荐的27个极端气候指数(http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices)中选取11个极端温度指数和8个极端降水指数(见表1),利用RClimDex软件计算极端气候指数值,运用线性拟合、Mann-Kendall法分析安康市极端气温和极端降水事件变化规律及突变特征。

Mann-Kendall法是一种非参数统计检验方法,可以明确突变开始的时间,是一种常用的突变检测方法。计算方法如下^[7,14-16]:

假定时间序列为 $\{x_i\} (i=1, 2, 3, \dots, n)$, m_i 表示第 i 个样本 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累计数。定义统计量 d_k :

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (1)$$

在时间序列独立的假定下,定义统计量如下:

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

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k \\ k = n+1-k \end{cases} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式中: $E(d_k)$ 和 $\text{var}(d_k)$ 分别为累计数 d_k 的均值和方差。 UF_k 为标准正态分布,其判断依据为:当 $UF > 0$,则表征该时间序列呈上升趋势; $UF < 0$ 则为下降趋势,当其超过95%置信水平 α 时,说明该上升或下降趋势显著。当 UF 和 UB 曲线在临界线内存在交叉点,则该交点即为该时间序列的突变发生时间。

表 1 极端指数及概念界定

分类	指标	单位	概念界定
极端温度指数	极值指数		
	极端最高气温	℃	日最高气温年最大值
	极端最低气温	℃	日最低气温年最小值
	霜冻日数	d	年内最低气温<0℃的日数
	绝对指数		
	夏日日数	d	年内最高气温>25℃的日数
	热夜日数	d	年内最低气温>20℃的日数
	极端温度指数		
	冷日日数	d	日最高气温<基期阈值(10%)的日数
	相对指数		
极端降水指数	暖日日数	d	日最高气温>基期阈值(90%)的日数
	冷夜日数	d	日最低气温<基期阈值(10%)的日数
	暖夜日数	d	日最低气温>基期阈值(90%)的日数
	持续指数		
	作物生长期	d	首次气温连续 6 d>5℃与首次连续 6 d<5℃间隔日数
	气温日较差	℃	年内日最高温与最低温的差值
	绝对指数		
	1 日最大降水量	mm	全年日降水量的最大值
	5 日最大降水量	mm	全年每个连续 5 日降水量最大值
	门限指数		
极端降水指数	中雨日数	d	全年日降水量≥10 mm 的总日数
	大雨日数	d	全年日降水量≥20 mm 的总日数
	相对指数		
	强降水量	mm	全年日降水量>第 95 百分位值的降水总量
	年总降水量	mm	全年降水总量
	持续指数		
	连续干旱日数	d	日降水量<1 mm 的最大持续日数
	连续湿润日数	d	日降水量≥1 mm 的最大持续日数

2 安康市极端气候事件时序变化特征

2.1 极端气温时间变化特征

2.1.1 极值指数变化特征 由图 1A 可见,1955—2017 年安康市的极端最高气温大致以 0.016℃/10 a 的速率波动下降,但变化趋势不显著($p>0.05$)。20 世纪 50 年代中期至 60 年代后期,极端最高气温呈小幅上升;70 年代开始下降,80 年代后期出现了 35.7℃的极端最高气温,为近 63 年最低;20 世纪 90 年代至 21 世纪初极端最高气温年际变化较大;2010 年后极端最高气温持续上升,2017 年极端最高气温达 41.9℃,为近 63 年最高。极端最高气温反序列 UB 曲线超过了显著性水平临界线,且在临界线内的 1959 年,1961 年,1979 年及 2016 年出现相交,但 UB 曲线仅在 1979 年后突破了显著性水平临界线,表明极端最高气温仅在 1979 年发生显著突变(图 1A')。由图 1B 可见,近 63 年安康市的极端最低气温呈显著上升趋势($p<0.05$),增加速率为 0.295℃/10 a,且增加速率高于极端最高气温。20 世纪 50 年代后期至 60 年代初迅速上升;60 年代末至 70 年代下降;80 年代至 90 年代持续上升,1991 年出现了近 63 年最低气温,为-9.7℃;90 年代末至 21 世纪初,极端最低气温小幅下降;2005 年以来,波动上升,2017 年极端最低气温高至-2.7℃,为近 63 年最高。极端最低气温的正序列 UF 曲线超出了显著性水平临界线,且 UF 和 UB 之间仅有一个交

点,对应时间为 1959 年,表明安康市极端最低气温在 1959 年发生突变上升;突变前年均极端最低气温为-8℃,突变后升至-5.9℃(图 1B')。

2.1.2 绝对指数变化特征 从图 2A 可以看出,近 63 年安康市的夏日日数呈显著上升趋势($p<0.05$),速率为 1.754 d/10 a;夏日日数波动幅度较大,最大值出现在 2013 年,为 169 d,最小值出现在 1964 年,仅为 119 d,两者差值达到 50 d。夏日日数的 UF 曲线和 UB 曲线均超出了显著性水平 0.05 临界线,UF 和 UB 之间都有 6 个交点,对应时间分别为 1957 年、1959 年、1961 年、2006 年、2009 年、2011 年,其中,UF,UB 曲线在 1959 年相交后均突破了显著性水平线、在 1961 年 UF 和 UB 曲线在显著性水平线之外相交,其余 4 年 UF 和 UB 曲线的交点均显著性水平线之间,说明夏日日数在 1957 年发生了突变,在 1957 年突变前为 142 d,突变后升至 162 d(图 2A')。从图 2B 可以看出,近 63 年安康市的热夜日数呈显著上升趋势($p<0.05$),速率为 1.355 d/10 a;除 20 世纪 60 年代、20 世纪末及 21 世纪初热夜日数呈下降趋势外,其余年份热夜日数都呈上升趋势;1993 年热夜日数最少,仅有 64 d,其次为 1976 年的 66 d;2007 年热夜日数最多,出现了 99 d,其次是 2013 年的 97 d,2017 年的 95 d。热夜日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,交点对应的时间为 2012 年,且 UF 曲线在和 UB 曲线相交后突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年来安康市热夜

日数在 2012 年发生了突变(图 2B')。从图 2C 可以看出霜冻日数整体上呈大幅下降趋势($p<0.001$),变化速率为 $-3.197\text{ d}/10\text{ a}$ 。从年代际变化趋势看,霜冻日数呈先波动平稳变化而后下降趋势;近 63 年霜冻日数最高值集中在 20 世纪 50 年代末和 60 年代中期,其中最多的 1967 年达到了 62 d、其次为 1956 年的 60 d。霜冻日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB

曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,交点对应的时间为 1989 年,且 UF 曲线在和 UB 曲线相交后均突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年来安康市霜冻日数在 1989 年发生了突变。此外,霜冻 UF 曲线在突变年份后甚至超过 0.01 显著性水平($U_{0.01}=\pm 2.56$),UF 曲线在 1989 年突变下降,表明霜冻日数下降趋势十分显著(图 2C')。

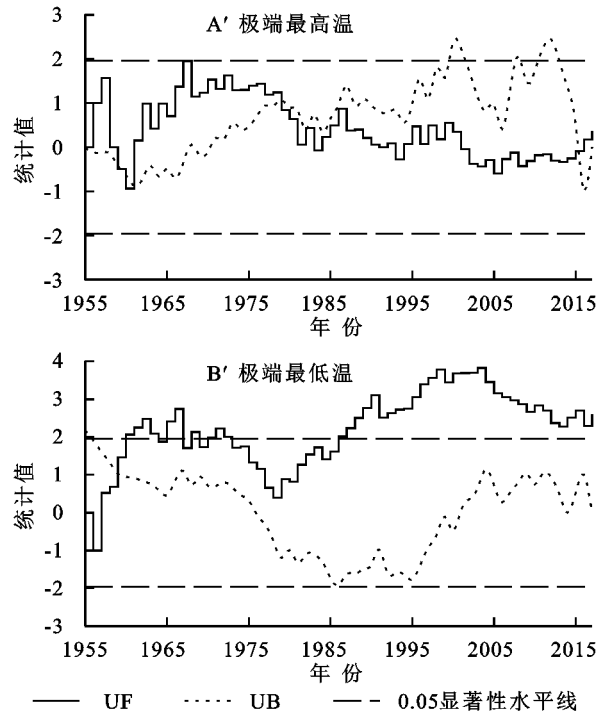
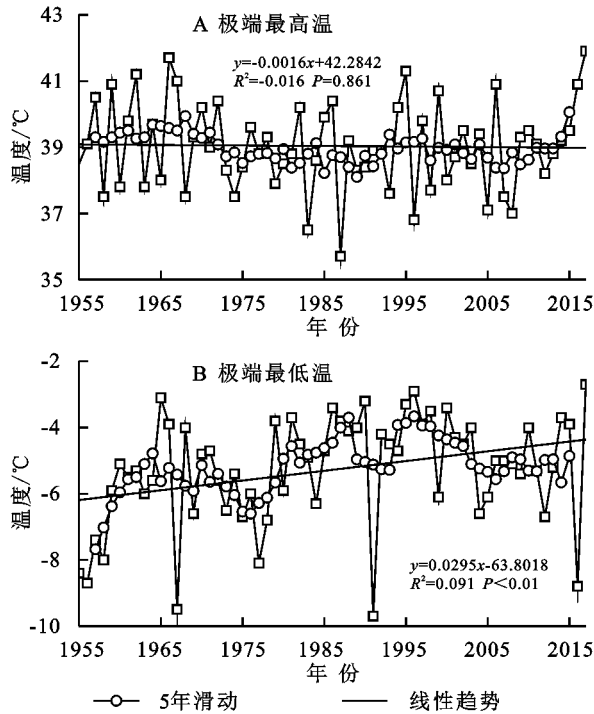


图 1 1955—2017 年安康市极端气温变化趋势及突变特征

2.1.3 相对指数变化特征 安康市极端气温相对指数包括冷日、暖日、冷夜和暖夜日数 4 个基期阈值指标,本文选择 1961—1990 年作为基期。计算原理以暖日日数指标为例,选取 1961—1990 年每年同一日期最高气温进行升序排列,选取第 90 个百分点的值作为该日期的阈值,将 1955—2017 年每年同一日期最高气温与该阈值进行比较,若大于阈值,则算作暖日;冷日计算方法类似,阈值为最高气温升序第 10 个百分点值;冷夜、暖夜以此类推。

由图 3A 所示,近 63 年安康市冷日日数呈显著下降趋势($p<0.05$),速率为 $-0.961\text{ d}/10\text{ a}$,年代际平均值在 20 世纪 80 年代最高,21 世纪以来冷日日数持续下降。冷日日数的 UF,UB 曲线在显著性水平 0.05 临界线之间只有一个交点,对应时间分别为 2012 年,且冷日日数的 UF 曲线在 2012 年后突破了 0.05 显著性临界线,表明近 63 年安康市冷日日数在 2012 年发生突变(图 3A')。由图 3B 可见,暖日日数总体上呈小幅上升趋势,但变化趋势不显著($p>0.05$),变化率为 $0.32\text{ d}/10\text{ a}$ 。由年代际平均值变化看,暖日日数呈现先上升后下降再上升的变化特征,20 世纪 50 年代中期至 70 年代初,暖日日数持续

上升;70 年代末至 80 年代暖日日数持续下降,其中 1983 年暖日日数年均值为 4.78 d,为近 63 年最低值;90 年代以后,暖日日数开始波动上升,至 21 世纪初叶达到最大值。暖日日数的 UF,UB 曲线在显著性水平 0.05 临界线之间有 6 个交点,对应时间分别为 1962 年、1974 年、1997 年、2012 年、2013 年、2016 年,其中只有 1974 年 UF,UB 曲线相交后 UB 曲线突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年安康市暖日日数在 1974 年发生突变(图 3B')。由图 3C 可见,冷夜日数总体呈大幅下降趋势($p<0.001$),变化速率为 $-1.885\text{ d}/10\text{ a}$ 。冷夜日数年代际平均值除 60 年代有所上升外呈持续下降,最高值是 1973 年的 12.76 d,最低值是 2017 年的 1.64 d。冷夜日数的 UF 和 UB 曲线只有一个交点,但交点位于显著性水平临界线区间之外,说明近 63 年安康市冷夜日数未发生突变(图 3C')。由图 3D 可见,暖夜日数总体呈显著上升趋势($p<0.05$),每 10 a 增加 1.118 d。由年代际平均值变化看,20 世纪 50 年代中期起,暖夜日数缓慢上升,70 年代变化幅度较小,80 年代初有所下降,90 年代起波动上升,并且增速较快,2006 年达 29.45 d,为近 63 年最高。暖夜

日数的UF,UB曲线在显著性水平0.05临界线之间有7个交点,对应时间分别为1959年、1960年、1961年、1971年、1997年、2011年、2013年,其中1959年、1960年、1997年的交点位于显著性水平临界线区间之间,1971年、2011年交点位于显著性水平临界线区

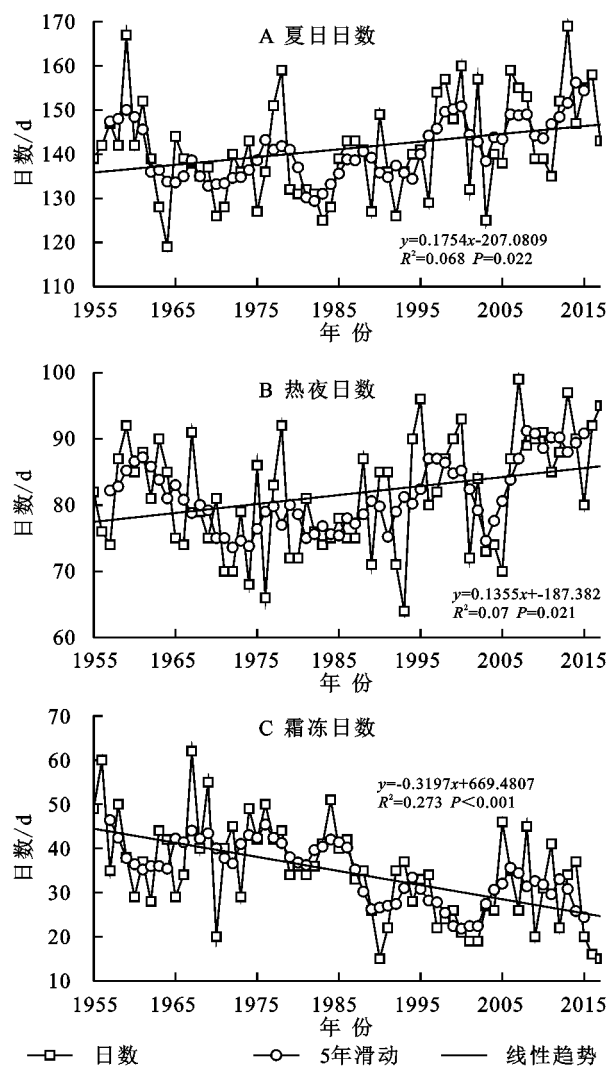
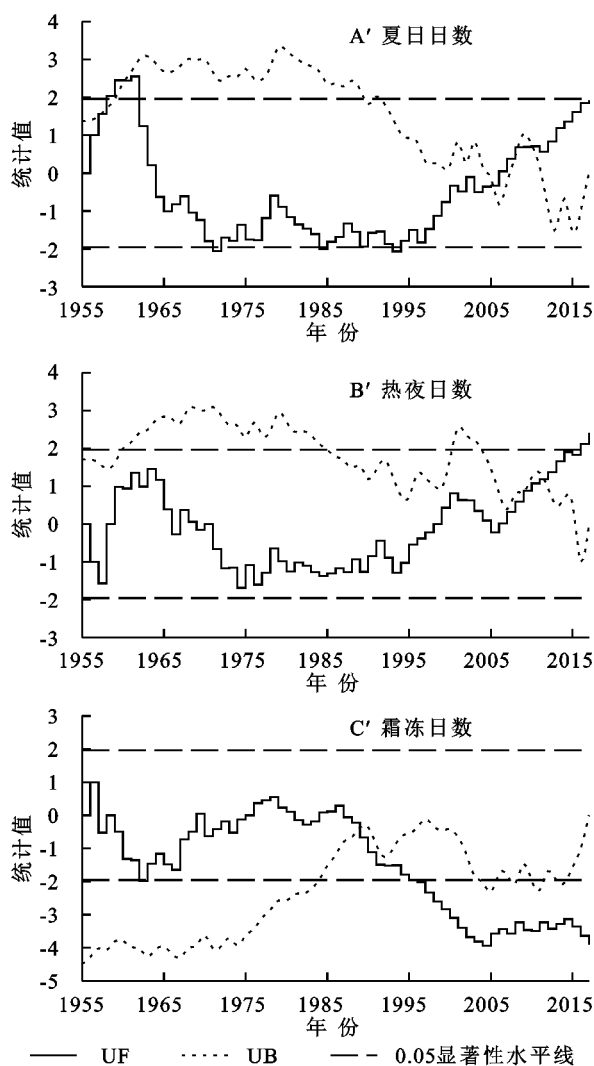


图2 1955—2017年安康市极端气温绝对指数变化趋势及突变特征

2.1.4 持续指数变化特征 为探究安康市极端气温持续时间的变化特征,选取作物生长季和气温日较差两个指标进行分析。图4A为1955—2017年安康市作物生长期的变化趋势,近63年作物生长期呈大幅增加趋势($p < 0.001$),变化率为4.64 d/10 a。作物生长期的正序列UF曲线和反序列UB曲线均超出了显著性水平临界线,且在临界线区间内相交,交点分别为2002年、2004年、2006年,且UF曲线在2006年后均突破了0.05显著性水平,表明近63年来安康市作物生长期在2006年发生了突变(图4A')。由图4B可看出1955—2017年安康市气温日较差总体呈波动下降趋势,但变化趋势不显著($p > 0.05$),速率为 $-0.074^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。从年代际平均值变化情况看,20世纪50年代中后期气温日较差为近63年最高值,60年

间之外,1961年和2013年UF,UB曲线相交后UF曲线突破了0.05显著性水平线,表明近63年安康市暖夜日数在1961年、2013年发生突变(图3D')。总体上看,近63年安康市的冷日日数下降速度慢于冷夜日数,暖日日数上升速度慢于暖夜日数。



代末至70年代初较为平缓,70年代末逐渐下降,80年代小幅度增加后趋于平稳。气温日较差的正序列UF曲线和反序列UB曲线有5个交点,对应的时间分别是1958年、2004年、2005年、2007年、2015年,但仅在1958年后UF曲线在突破了0.05显著性水平,表明近63年安康市气温日较差在1958年发生了突变(图4B')。

2.2 极端降水时间变化特征

2.2.1 绝对指数变化特征 从图5A可见,1955—2017年安康市的1日最大降水量大致以0.885 mm/10 a的速率波动上升,但变化趋势不显著($p > 0.05$)。1日最大降水量在20世纪50年代中期至60年代初缓慢下降,1965年仅有32.2 mm,为近63年最低;20世纪60年代末至70年代迅速上升,1978年达161.9 mm,为近63年最高;80年代出现大幅度的下降;进

入 90 年代后,最大降水量趋于平稳。1 日最大降水量的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,对应的时间为 1972 年,且 UF 曲线在 1972 年后均突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年来安康市 1 日最大降水量在 1972 年发生了突变,1 日最大降水量突变前为 37.9 mm,突变后增至 60.2 mm(图 5A')。从图 5B 可见,1955—2017 年安康市 5 日最大降水量大致以 1.476 mm/10 a 的速率波动下降,但变化趋势不显著($p>0.05$)。5 日最大降水量在 20 世纪 50 年代末波动明显,1960 年达

270.3 mm,为近 63 年最高;20 世纪 60 年代末至 70 年代迅速上升;80 年代至 90 年代初出现大幅度的下降,1993 年 5 日最大降水量低至 56.9 mm,为近 63 年最低;90 年代后期开始,5 日最大降水量趋于平稳(与 1 日最大降水量相似)。5 日最大降水量的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线有 7 个交点,对应的时间分别是 1955 年、1956 年、1960 年、1961 年、1964 年、2012 年、2015 年,但仅在 1964 年后 UF 曲线在突破了 0.05 显著性水平,表明近 63 年来安康市 5 日最大降水量在 1964 年发生了突变(图 5B')。

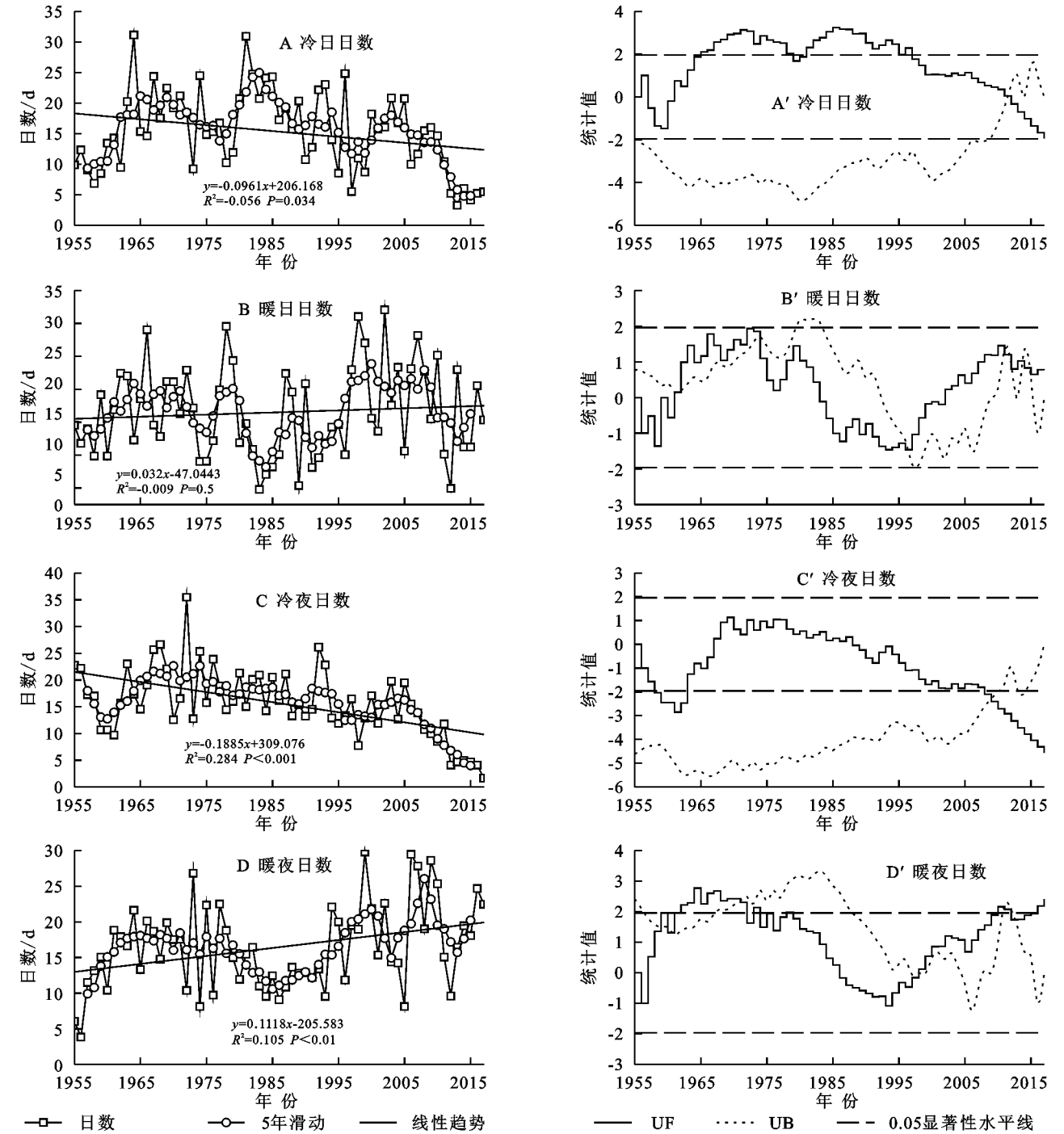


图 3 1955—2017 年安康市极端气温相对指数变化趋势及突变特征

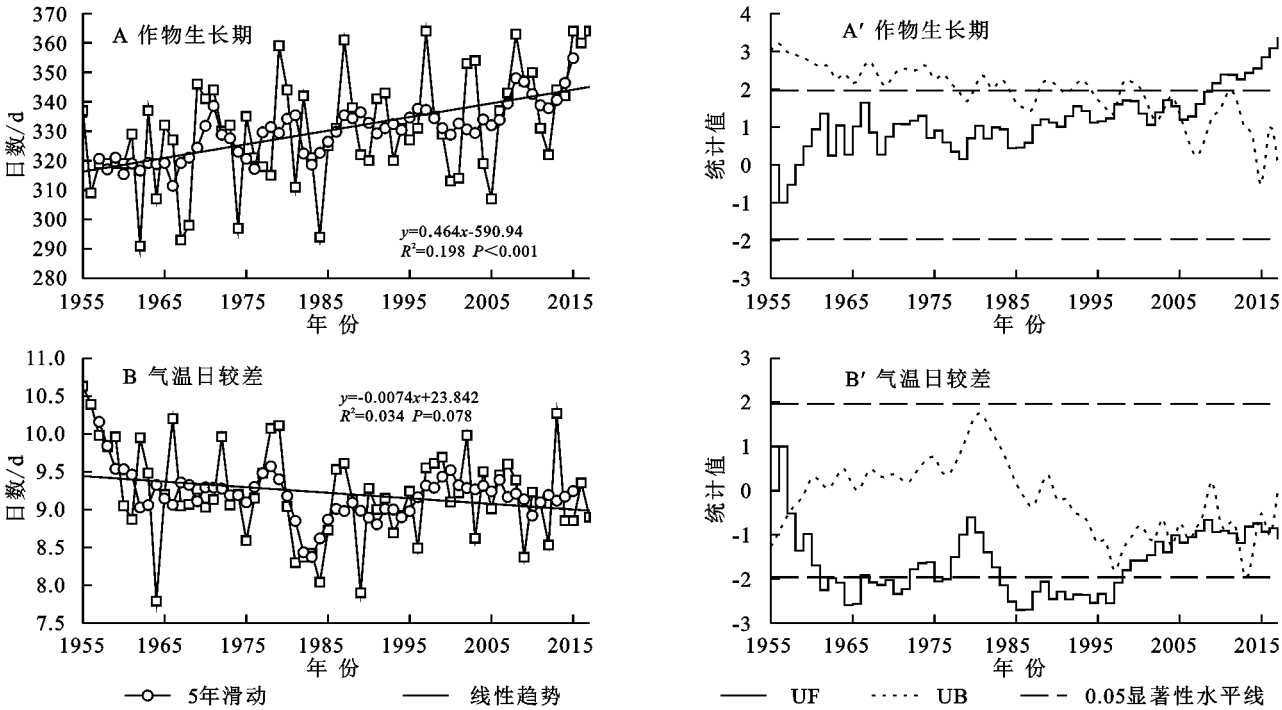


图 4 1955—2017 年安康市极端气温持续指数变化趋势及突变特征

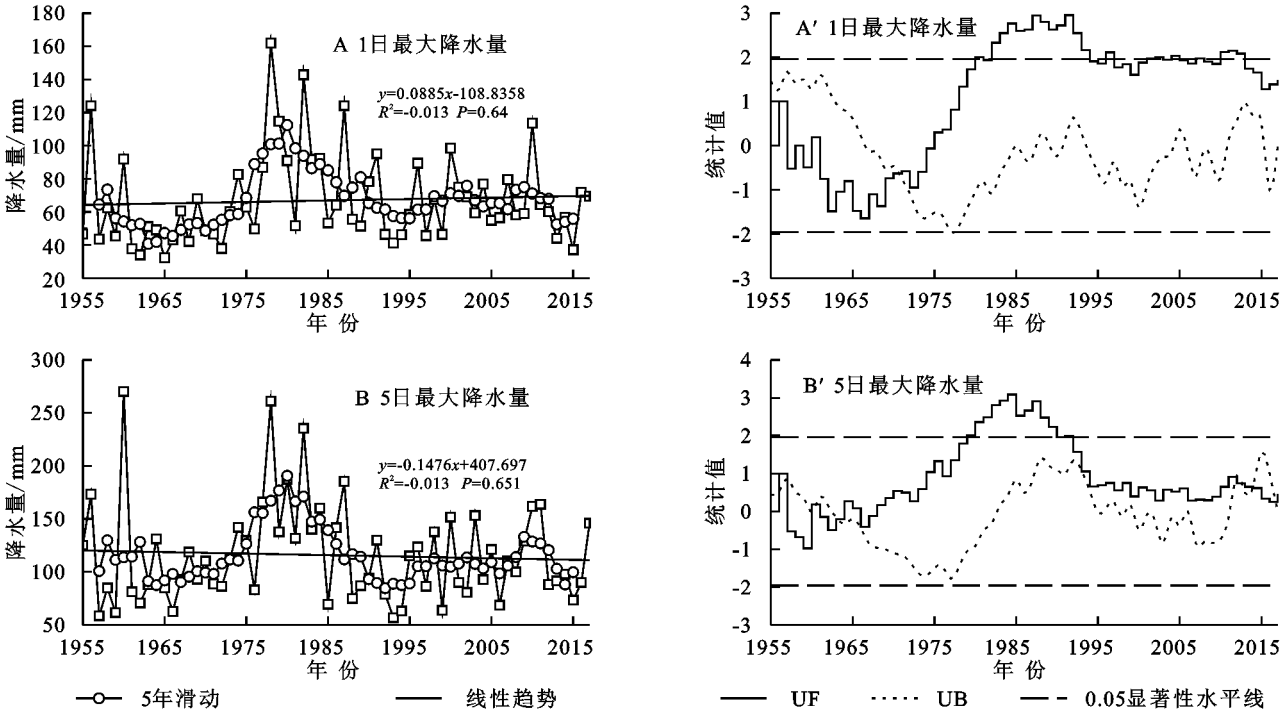


图 5 1955—2017 年安康市极端降水绝对指数变化趋势及突变特征

2.2.2 门限指数变化特征 从图 6A 可见,1955—2017 年安康市中雨日数大致以 0.079 d/10 a 的速率波动上升,但变化趋势不显著($p>0.05$)。中雨日数在 20 世纪 50 年代末至 60 年代迅速上升,1967 年中雨日数为 37 d,是近 63 年最高值;20 世纪 70 年代中雨日数变化较为平稳;20 世纪 80 年代至 90 年代中雨日数持续下降,1999 年低至 14 d,为近 63 年最低值;中雨日数在 21 世纪初迅速上升至 25 d 左右后变

化平稳。中雨日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,交点有 6 个,对应的时间分别是 1986 年、2008 年、2013 年、2014 年、2016 年、2017 年,但 UF 和 UB 曲线均未突破 0.05 显著性水平线,表明近 63 年来安康市中雨日数未出现突变(图 6A')。从图 6B 可见,1955—2017 年安康市的大雨日数大致以 0.438 d/10 a 的速率显著上升($p<0.05$)。大雨日数在 50 年代末 60 年代初

变化剧烈,1957 年大雨日数为 3 d,是近 63 年的最低值;20 世纪 60 年代后期至 70 年代缓慢上升;20 世纪 80 年代至 90 年代中雨日数持续下降(与中雨日数一致);进入 21 世纪后大雨日数迅速上升,2010 年大雨日数达 17 d,为近 63 年最高;2010—2017 年,大雨

日数持续下降。大雨日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线有个交点,对应的时间分别是 1964 年、1965 年、1968 年,但仅在 1968 年后 UF 曲线在突破了 0.05 显著性水平,表明近 63 年安康市大雨日数在 1968 年发生了突变(图 6B')。

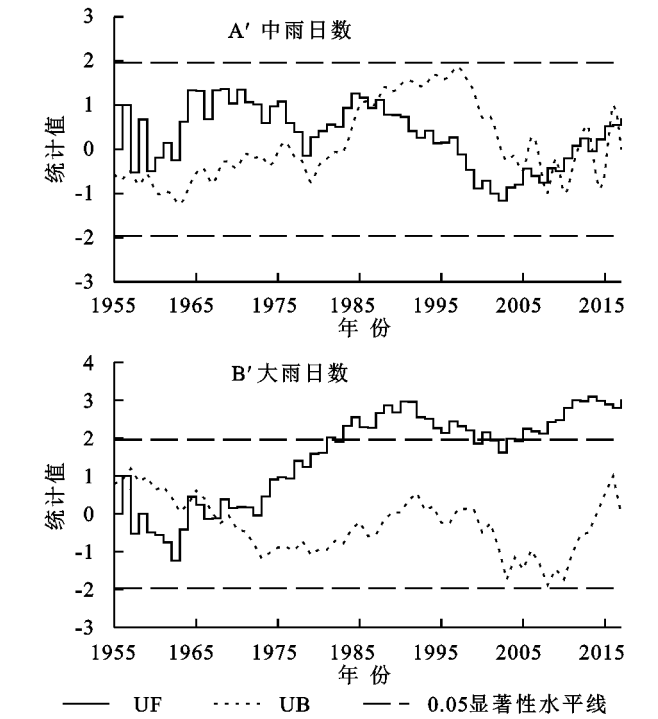
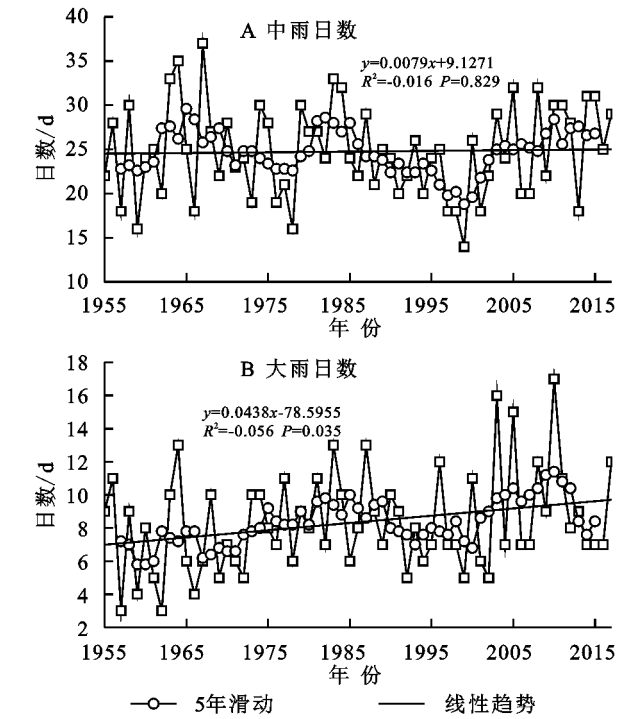


图 6 1955—2017 年安康市极端降水门限指数变化趋势及突变特征

2.2.3 相对指数变化特征 由图 7A 所示,1955—2017 年安康市强降水量大致以 11.617 mm/10 a 的速率波动上升,但变化趋势不显著($p>0.05$)。强降水量在 20 世纪 50 年代中后期至 60 年代前期小幅下降,其中 1961 年的 37.6 mm 是近 63 年的最小值;20 世纪 60 年代末至 80 年代初大幅上升;80 年代初出现小幅下降;从 20 世纪 90 年代起,强降水量的年际变化变大,总趋势为上升。2010—2014 年间强降水量连年下降,其中 2010 年强降水量达 613.5 mm,为

近 63 年最高,2014 年仅 96 mm,4 年下降了 517.5 mm;2014—2017 年强降水量逐年上升。2010—2017 年这一时期为强降水量年际变化最大的一个时期。强降水量的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线有 5 个交点,对应的时间分别是 1960 年、1961 年、1969 年、2015 年、2016 年,但仅在 1969 年后 UF 曲线在突破了 0.05 显著性水平,表明近 63 年安康市强降水量在 1964 年发生了突变,强降水量突变前为 126 mm,突变后为 198.1 mm(图 7B)。

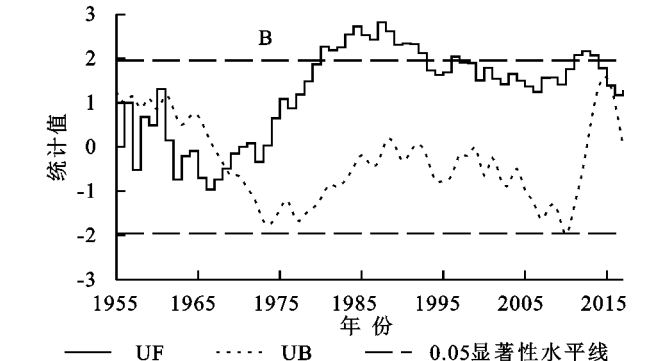
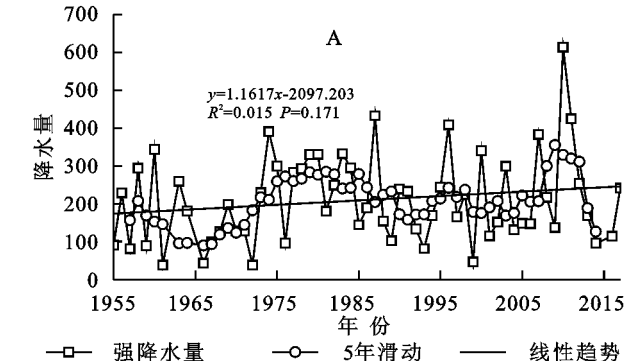


图 7 1955—2017 年安康市极端降水相对指数变化趋势和突变特点

2.2.4 持续指数 由图 8A 可见,1955—2017 年安康市年总降水量大致以 11.05 mm/10 a 的速率波动

上升,但变化趋势不显著($p>0.05$)。年降水量在 20 世纪 50 年代末至 70 年代波动上升;20 世纪 80 年代

至 90 年代持续下降,1999 年年降水量仅 509.5 mm,为近 63 年最低值;21 世纪初迅速上升,2010 年年降水量达 1221.6 mm,为近 63 年的最高值;进入 21 世纪 10 年代,年降水量开始持续的下降。年降水量的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,交点有 8 个,对应的时间为 1973 年、1988 年、2004 年、2005 年、2013 年、2014 年、2016 年、2017 年,但 UF 和 UB 曲线均未突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年来安康市年降水量未出现突变(图 8A')。图 8B 可见,1955—2017 年安康市连续干旱日数大致以 1.495 d/10 a 的速率波动上升,但变化趋势不显著($p>0.05$)。连续干旱日数在 20 世纪 50 年代末至 60 年代初平稳变化;20 世纪 60 年代末至 70 年代出现小幅下降;20 世纪 80 年代中期出现大幅下降,1987 年连续干旱日数仅 22 d,为近 63 年最低;20 世纪 90 年代出现大幅度的增长,2000 年连续干旱日数达 85 d,为近 63 年最高;21 世纪前 17 年,连续干旱日数呈“N”字形变化,即先减再

增再减。连续干旱日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,交点有 5 个,对应的时间分别是 1956 年、1957 年、1958 年、1959 年、1995 年,但 UF 和 UB 曲线均未突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年安康市连续干旱日数未出现突变(图 8B')。从图 8C 可见,1955—2017 年安康市连续湿润日数大致以 0.001 d/10 a 的速率波动下降,但变化趋势不显著($p>0.05$)。连续湿润日数在 20 世纪 50 年代末至 80 年代的变化幅度极大,50 年代末下降至 4 d,60 年代上升至 9 d,70 年代下降至 4 d,80 年代初迅速上升,1981 年达 11d,为近 63 年最高,80 年代中后期大幅下降至 4 d;20 世纪 90 年代至 21 世纪初持续稳定上升;2005 年后趋于稳定。连续湿润日数的正序列 UF 曲线和反序列 UB 曲线在 0.05 显著性水平临界线区间内相交,对应的时间为 1985 年、2002 年,但 UF 曲线在这两次相交后均未突破了 0.05 显著性水平线,表明近 63 年安康市连续湿润日数未出现突变(图 8C')。

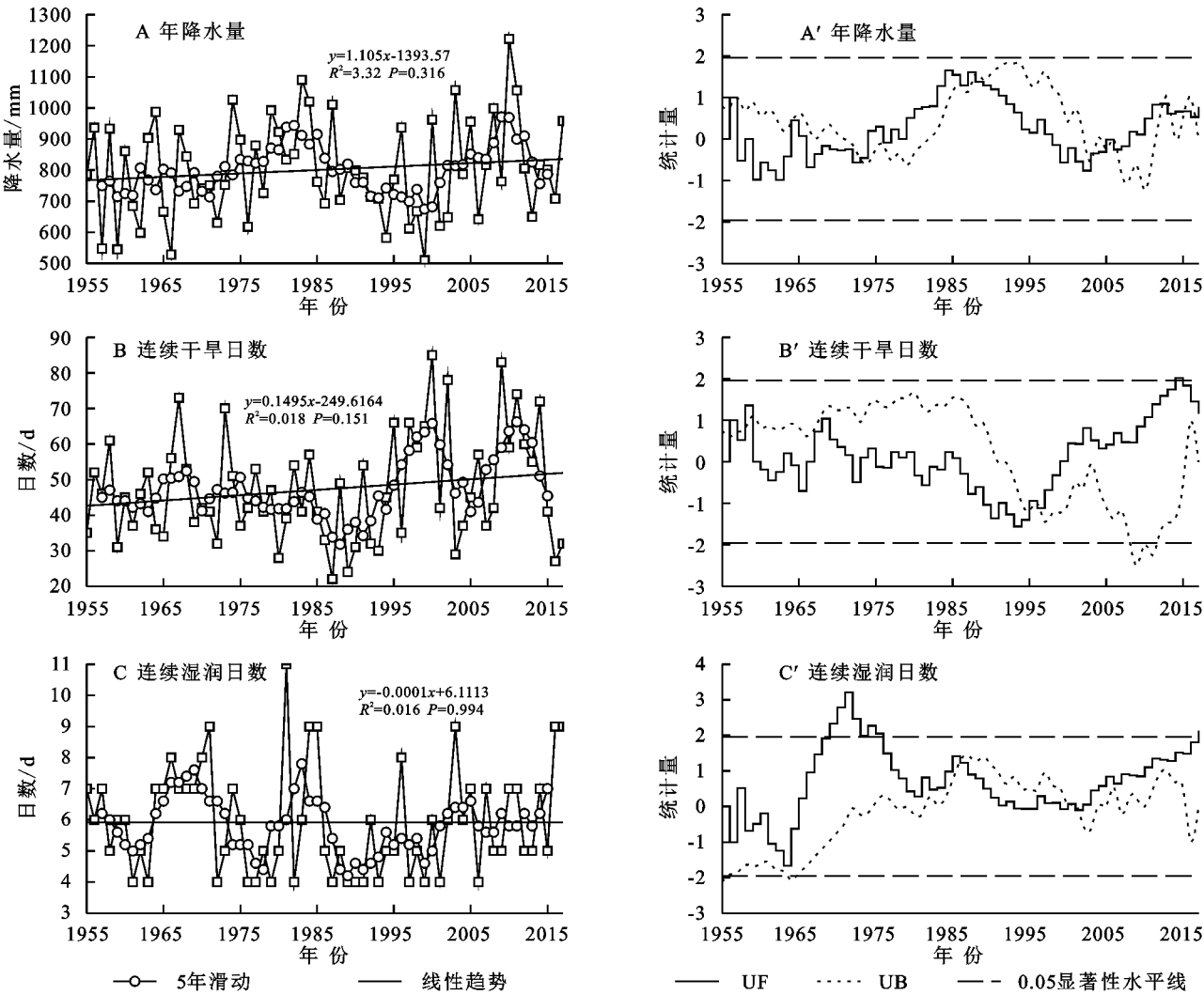


图 8 1955—2017 年安康市极端降水持续指数变化趋势及突变特征

3 结论

(1) 1955—2017年安康市极端暖事件呈增加趋势。极端最低气温以 $0.295^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率显著上升,但极端最高气温以 $0.016^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率不显著下降;夏日日数、热夜日数、暖夜日数均呈显著增加趋势($p < 0.05$),速率分别为 $1.754\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $1.355\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $1.118\text{ d}/10\text{ a}$,作物生长期以 $4.64\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率极显著增加($p < 0.001$);暖日日数以 $0.32\text{ d}/10\text{ a}$ 速率上升;霜冻日数、冷夜日数分别为以 $-3.197\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $-1.885\text{ d}/10\text{ a}$ 速率极显著下降($p < 0.001$),冷日日数以 $-0.961\text{ d}/10\text{ a}$ 速率显著下降($p < 0.05$),和气温日较差以 $-0.074^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速率下降。

(2) 1955—2017年安康市极端降水呈增长趋势,1日最大降水量、中雨日数和大雨日数分别以 $0.885\text{ mm}/10\text{ a}$ 、 $0.079\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $0.438\text{ d}/10\text{ a}$ 的速率增长,其中大雨日数呈显著增加;强降水量和年降水量均呈上升趋势,速率分别为 $11.617\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $11.05\text{ mm}/10\text{ a}$;暖日日数以 $0.32\text{ d}/10\text{ a}$ 速率上升;5日最大降水量以 $-1.476\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速率下降;连续干旱日数显著上升,连续湿润日数略微下降,速率分别为 $1.495\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $-0.001\text{ d}/10\text{ a}$,说明了极端降水事件频发。

(3) 1955—2017年安康市各极端气温指数和极端降水指数突变年不一,主要集中在20世纪60至70年代、90年代至21世纪初。极端高温、极端低温、气温日较差指数在20世纪60至70年代发生突变,热夜日数、霜冻日数、夏日日数、冷日日数和作物生长期在90年代至21世纪初发生突变,暖日日数、冷夜日数和暖夜日数未发生突变;1日最大降水量、5日最大降水量、大雨日数和强降水量在20世纪60至70年代发生突变,连续干旱指数在20世纪90年代发生突变,中雨日数、年降水量和连续湿润日数未发生突变。

(4) 总体来看,近63年安康市气候整体向暖干化趋势发展,尤其以20世纪90年代之后增温最为显著。极端气温的变化会使得该区旱灾、高温灾害、农业病虫害增加,同时,在年总降水量增加且极端强降水等灾害事件发生频率增加的背景下,一方面极易引发洪灾及此生地质灾害,另一方面导致旱灾的风险进一步增大,因此相关部门应该提前部署减灾防灾工作,以最大程度降低灾损。

参考文献:

- [1] Easterling, David R., et al. maximum and minimum temperature trends for the Globe [J]. Science, 1997, 277(5324): 364-367.
- [2] Alexander L V, Zhang X B, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2006, 11(5):1042-1063.
- [3] Fischer E M, Knutti R. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes [J]. Nature Climate Change, 2015, 5(6):560-564.
- [4] Wang Aihui, FU Jianjian. Changes in Daily Climate Extremes of Observed Temperature and Precipitation in China [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2013(5): 312-319.
- [5] 尹红,孙颖.基于ETCCDI指数2017年中国极端温度和降水特征分析[J].气候变化研究进展,2019,15(4):363-373.
- [6] 齐庆华,蔡榕硕,郭海峡.中国东部气温极端特性及其气候特征[J].地理科学,2019,39(8):1340-1350.
- [7] 管玥,何奇瑾,刘佳鸿,等.黄淮海地区1961—2015年极端气温及其初终日序的变化特征[J].水土保持研究,2021,28(1):147-152.
- [8] 郝祥云,朱仲元,宋小园,等.近50a锡林河流域极端天气事件及其与气候变化的联系[J].干旱区资源与环境,2017,31(7):114-120.
- [9] 靳铮,游庆龙,吴芳营,等.青藏高原三江源地区近60a气候与极端气候变化特征分析[J].大气科学学报,2020,43(6):1042-1055.
- [10] 佟金鹤,钱昆,田光辉,等.1977—2017年海南极端气候事件变化时空差异分析[J].中国农学通报,2019,35(12):89-94.
- [11] 许小明,徐玉霞,雷雯.近60年宝鸡市主城区极端气候变化特征分析[J].水资源与水工程学报,2018,29(1):67-74.
- [12] 安彬,肖薇薇.1955—2015年汉中极端气温事件变化特征[J].江西农业学报,2019,31(7):110-116.
- [13] 赵景波,杨晓玉,许永红,等.陕西安康近50年来极端气温指数变化研究[J].灾害学,2016,31(2):89-94.
- [14] 靳俊芳,殷淑燕,庞奖励.近60a来汉江上游极端降水变化研究:以安康地区为例[J].干旱区研究,2014,31(6):1061-1067.
- [15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].2版.北京:气象出版社,2007.
- [16] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992(4):482-493.