

# 1960~2017 年秦巴山地及邻近区域 极端气温时空变化特征\*

李富民, 殷淑燕, 殷田园

(陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119)

**摘要:** 基于 1960~2017 年秦巴山地及邻近区域 47 个气象站点逐日气温资料, 利用线性倾向估计、最小二乘法、Manna-Mendal 突变检验等分析该地区极端气温的时空变化特征。结果表明: 1) 近 58 年来极端气温极值指数、夏季日数、热夜日数、暖昼(夜)日数、热持续日数、生物生长季日数呈增加趋势, 极端低温指数呈减小趋势。2) 极端气温空间变化差异显著。秦岭以北、东部地区极端气温指数对气候变化的响应较秦岭南部与西部更为明显。秦岭以北的冰冻日数、霜冻日数、冷昼日数呈下降趋势, 秦岭东部、北部区的夏季日数、暖昼(夜)日数和热持续日数呈上升趋势。3) 相关分析表明, 极值指数和 DTR 与其他指数相关性差, 其余极端指数存在良好的相关性。同时多数极端气温指数变化与平均气温变化同步。4) 突变分析显示, 平均气温在 1996 年发生突变。突变前后对秦巴山地及邻近区域地区的极端气温的影响有所差异, 极端高温指数增强趋势显著, 极端低温指数呈现减小趋势, 表明极端气温变化与区域气候变暖存在良好的相关性。5) Hurst 指数结果表明, 未来秦巴山地及邻近区域极端气温指数趋势呈现出同向变化特征。

**关键词:** 极端气温指数; 趋势变化; 空间差异; 秦巴山地及邻近区域

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2020) 06-0080-13

## The spatial-temporal variations of extreme temperatures in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

LI Fumin, YIN Shuyan, YIN Tianyuan

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

**Abstract:** Based on the daily temperature data of 47 meteorological stations in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas from 1960 to 2017, the spatial-temporal characteristics of extreme temperature were analyzed by using climate tendency rate, correlation analysis and M-K mutation test. The results are as follows: (1) In the past 58 years, the extreme temperature extreme index, summer days, hot night days, warm day (night) days, heat duration days, and biological growth season days tended to increase, the extreme low temperature index tended to decrease. (2) The spatial variation of extreme temperature changes in the northern and southern Qinling Mountains is significant; the extreme temperature index in the northern and eastern Qinling Mountains increased in response to climate change more obviously than in the southern and western Qinling Mountains. The number of freezing days, frost days and cold days in the northern and adjacent areas showed a downward trend; the number of summer days, warm days (nights) and heat-sustaining days in the eastern and northern Qinling Mountains showed an

\* 收稿日期: 2019-11-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41771110); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JM4026)

作者简介: 李富民 (1994年生), 男; 研究方向: 气候变化与自然灾害; E-mail: 809019905@qq.com

通信作者: 殷淑燕 (1970年生), 女; 研究方向: 气候变化与自然灾害; E-mail: yinshy@snnu.edu.cn

upward trend. (3) The average temperature changed suddenly in 1996. The effects of extreme temperature events on the northern and southern Qinling Mountains were different. The extreme high temperature index showed a significant increase trend, and the extreme low temperature index showed a decreasing trend, indicating that there is a good correlation between extreme temperature changes and climate warming. (4) Pearson correlation indicated that all the extreme temperature indices had a good correlation, except for the extreme indices. (5) The Hurst index results show the same direction change trend of extreme temperature index in the northern and southern Qinling Mountains.

**Key words:** extreme temperature index; trend change; spatial difference; the northern and southern Qinling mountains

IPCC第五次评估报告显示全球变暖趋势进一步加强, 并将持续较长一段时间<sup>[1]</sup>。同时, 极端气候事件发生频率与强度也相应增强<sup>[2-3]</sup>。极端气候事件具有突发性、不可预见的特点, 其发生对人类社会产生巨大影响<sup>[4]</sup>。因此研究极端气候事件的变化规律, 可为应对极端气温事件变化决策提供借鉴<sup>[5]</sup>。

国外对极端气温事件研究发现, 近几十年来大部分地区冷夜日数下降趋势明显, 而暖夜日数呈增加趋势<sup>[6-10]</sup>。国内对不同区域尺度的极端气温的时空特征进行了大量研究。张立伟等<sup>[11]</sup>分析了秦岭南北极端气温的时空变化趋势, 研究发现, 秦岭南北地区极端高温东高西低, 其大致呈经向分布。极端低温南高北低, 呈纬向分布。赵安周等<sup>[12]</sup>研究发现黄土高原地区极端高温事件增加趋势比较显著。李双双等<sup>[13]</sup>认为北京市气温暖化趋势明显。李红英等<sup>[14]</sup>分析了河西走廊地区近60年的极端气温变化特征, 发现在季尺度上极端高温与极端低温都是增加的。刘青娥等<sup>[15]</sup>认为珠江流域极端高温指数的夏季日数、热夜指数上升趋势明显, 而表征极端低温的冰冻日数等指标变化不显著。香薇等<sup>[16]</sup>研究秦巴山区的极端气温变化发现极端高温上升趋势较极端低温上升更加明显。综上, 众多学者对不同区域的极端气温进行了深入研究, 但所采取的极端气温指数、研究方法上存在较大差异, 大都采用平均气温、最高气温、最低气温指数, 不能深入认识极端气温变化, 因此, 本文采用世界气象组织提供的16个极端气温指数, 以便进一步深入分析极端气温变化规律。

秦岭横亘于中国中部, 是亚热带与暖温带、湿润与半湿润气候的分界线, 同时也是生态环境脆弱区<sup>[17]</sup>。极端气温的变化对当地生态环境有显著影响。鉴于此, 本文基于1960~2017年秦巴山地及邻近区域47个站点的逐日气温观测资料, 采用

气候倾向率、M-K突变分析等方法, 分析秦巴山地及邻近区域的极端气温变化特征, 以期该地区应对极端气温变化决策、农业生产布局等提供有益的参考。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区域参照周旗等<sup>[18]</sup>的研究成果, 研究区地貌结构复杂, 包括秦岭山地、巴巫谷地、汉水谷地、江汉平原等, 区域内河流众多, 水资源丰富。同时研究区南北跨度大。行政区划上包括甘肃、陕西、山西、河南、四川、重庆、湖北。秦岭以北大部分区域属于暖温带, 而南部则属于北亚热带, 整个秦巴山地及邻近区域属于暖温带与北亚热带过渡地带, 作为典型的过渡地带, 生态环境脆弱, 对气候变化的响应较为强烈, 是研究极端气温变化的极佳标本。

### 1.2 数据来源

从中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn/index.htm>), 选取1960~2017年秦巴山地及邻近区域47个气象站点地面观测的逐日气象数据(图1), 所有数据均为均一化订正数据, 并通过均一性检验和质量控制, 具有很好的连续性。对部分站点的缺测数据, 缺测天数不足5 d时, 用前5 d的平均值来代替; 缺测天数5 d或多于5 d时, 用后5 d同一日值的平均值来代替<sup>[19]</sup>。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 极端气温指数计算** 依据世界气象组织(WMO)提出的16个极端气温指数, 大致分为4类(表1)<sup>[20-21]</sup>。

极端阈值的确定, 考虑到秦巴山地及邻近区域地貌结构复杂, 气候变化多样, 所以采用百分位值法<sup>[22-24]</sup>, 具体方法为: 将气象要素的 $N$ 个值按 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_m, \dots, t_n$ 升序排列, 则某个值小于或等于 $t_m$

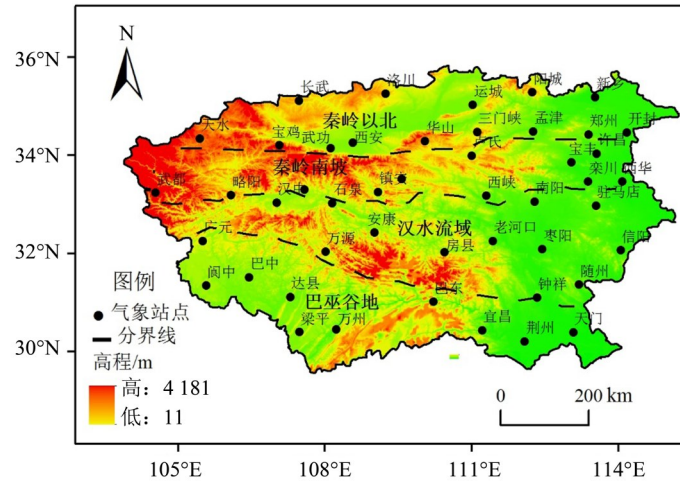


图 1 秦巴山地及邻近区域气象站点分布图

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas

表 1 极端气温指数定义

Table 1 Definition of the 16 extreme temperature indices

指数类型	极端气温指数	英文缩写和单位	定义
极值指数	日最高气温的极低值	TXn/°C	每个月日最高气温的最小值
	日最低气温的极低值	TNn/°C	每个月日最低气温的最小值
	日最高气温的极高值	TXx/°C	每个月日最高气温的最大值
	日最低气温的极高值	TNx/°C	每个月日最低气温的最大值
绝对指数	冰冻日数	ID0/d	年内日最高温度低于 0 °C 的日数
	霜冻日数	FD0/d	年内日最低温度低于 0 °C 的日数
	热夜日数	TR20/d	年内日最低气温大于 20 °C 的日数
	夏季日数	SU25/d	年内日最高温度大于 25 °C 的日数
相对指数	冷昼日数	TX10p/d	年内日最高气温小于 10% 分位值的天数
	冷夜日数	TN10p/d	年内日最低气温小于 10% 分位值的天数
	暖昼日数	TX90p/d	年内日最高气温大于 90% 分位值的天数
	暖夜日数	TN90p/d	年内日最低气温大于 90% 分位值的天数
其它指数	暖持续日数	WSDI/d	每年连续 6 日最高温在 90% 分位值的天数
	冷持续日数	CSDI/d	每年连续 6 日最低温在 10% 分位值的天数
	生物生长季日数	GSL/d	每年连续 6 日 >5 °C 至 <5 °C 的时间跨度
	气温日较差	DTR/°C	年内日最高气温与最低气温的差值

的概率为  $P$ 。公式为:

$$P = \frac{m - 0.31}{N + 0.38} \quad (1)$$

式中,  $P$  为百分位,  $N$  为气象要素的个数,  $m$  代表  $t_m$  的序号。将秦巴山地及邻近区域 47 个站点的 1960~2017 年某日的气温数据进行升序排列, 选取第 10 个与第 90 个百分位, 确定为极端气温的阈值, 极端低温定义为某日最低气温低于极端低温阈值, 极端高温定义为某日最高气温高于极端高温阈值。

**1.3.2 气候倾向率** 利用最小二乘法计算极端气温指数与时间序列的线性回归系数, 以  $b \times 10$  作为估算值。线性回归方程如下

$$P_i = a + bt, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中,  $P_i$  代表样本量为  $n$  的极端气温指数,  $t$  代表  $P_i$  所对应的时间,  $a$  代表回归常数,  $b$  是回归系数<sup>[25]</sup>。并采用反距离加权法对其进行空间插值。

**1.3.3 Mann-Kendal 突变检验** Mann-Kendal 检验<sup>[26]</sup> 普遍应用于检测气候变化趋势与气候突变的非参数检验方法, 文中主要应用检测秦巴山地及

邻近区域平均气温的变化趋势及时间突变点。

## 2 结果与分析

### 2.1 极值指数时空变化特征

2.1.1 时间变化 研究区极端气温极值指数变化如图2所示, 4个指数都呈上升趋势, 其中, 日最低气温的极低值图2(b)上升趋势最为明显, 线性倾

向率为0.3 °C/(10a), 并通过了0.05显著性水平检验。而日最低气温的极高值图2(d)上升趋势较为平缓, 线性倾向率为0.10 °C/(10a), 日最低气温的极高值最大值与最小值之间相差小于3 °C, 总体上看该地区极值指数的变化与气候变暖有很好的一致性。

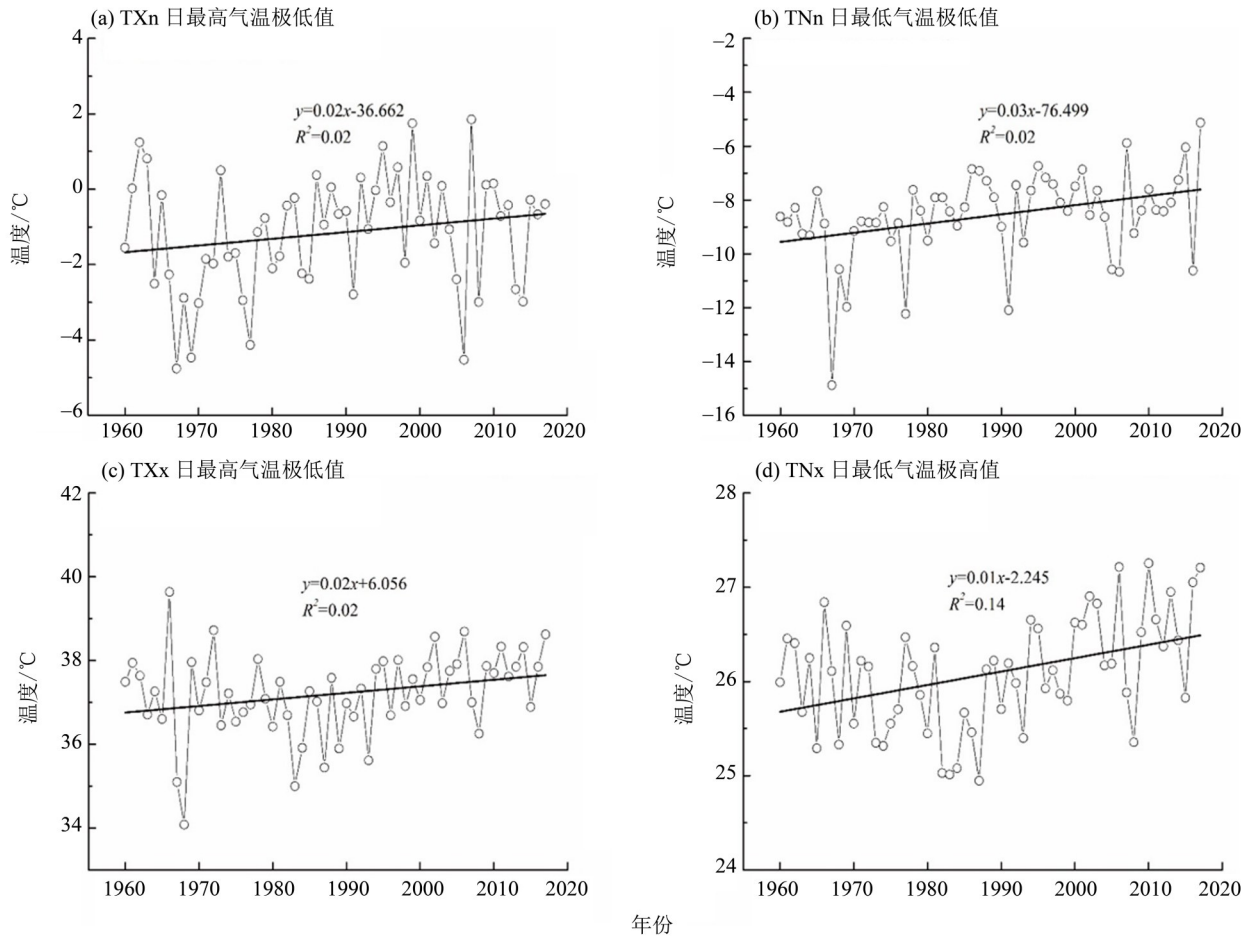


图2 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温极值指数时间变化趋势

Fig. 2 Liner trend in extreme indices of annual extreme temperature events in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

2.1.2 空间变化 从空间变化上来看, 秦巴山地及邻近区域极值指数倾斜率变化幅度分别为-2.1~2.8、-1.91~2.4、-0.03~0.4 和 -0.3~0.44 °C/(10a), 其中日最低气温极低值图3(b)与日最低气温的极高值图3(d)通过0.05显著性水平检验的站点分别为25和27个。且主要分布在秦岭南坡、东部等大部分区域, 这一区域极端事件的增加可能会在很大程度上影响当地的农业生产环境, 引发一系列的自然灾害。研究还发现, 略阳站的日最低气温的极高值与极低值的上升趋势都比较明显。同

时, 日最低气温极低值变化趋势大于日最高气温极低值的站点占全部站点的62%, 日最低气温的极高值变化趋势大于日最高气温的极低值的站点占全部站点的64%。表明秦巴山地及邻近区域夜间增温幅度大于白天, 气温日较差减小, 气温上升明显。这与李敏敏等<sup>[17]</sup>探讨的秦巴山地及邻近区域地理环境正处于暖干化的结论是相一致。

### 2.2 绝对指数时空变化特征

2.2.1 时间变化 绝对指数时间变化差异性明显, 如图4(a)所示冰冻日数与霜冻日数图4(b)指数呈下

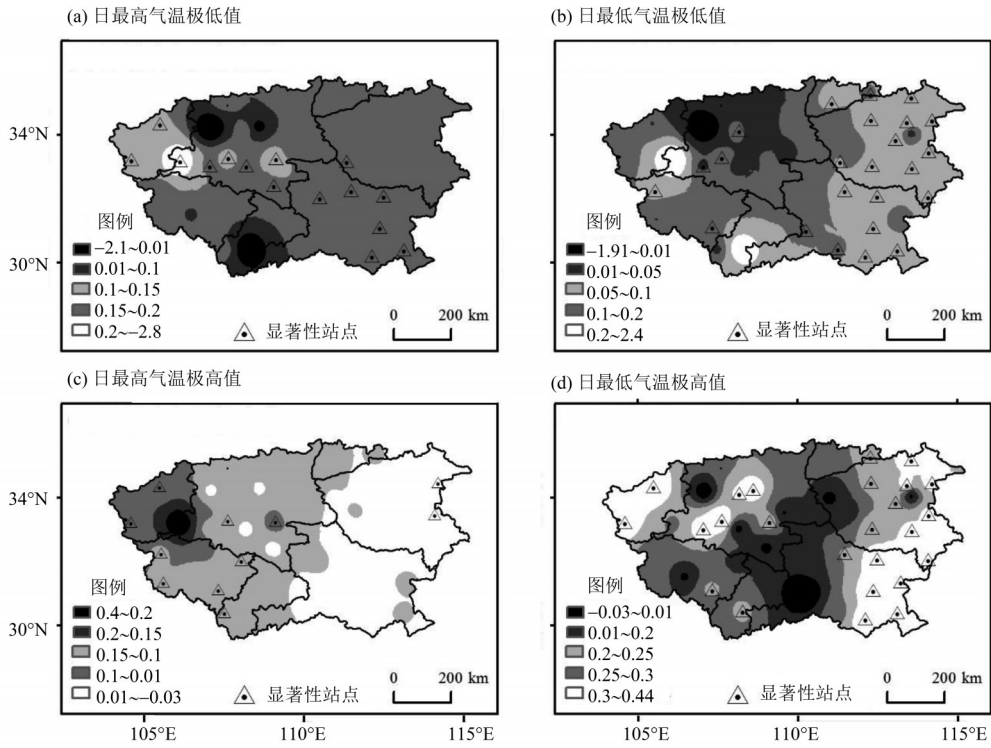


图3 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温极值指数趋势空间变化

Fig. 3 Spatial distribution of Liner trend in extreme indices of annual extreme temperature events in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

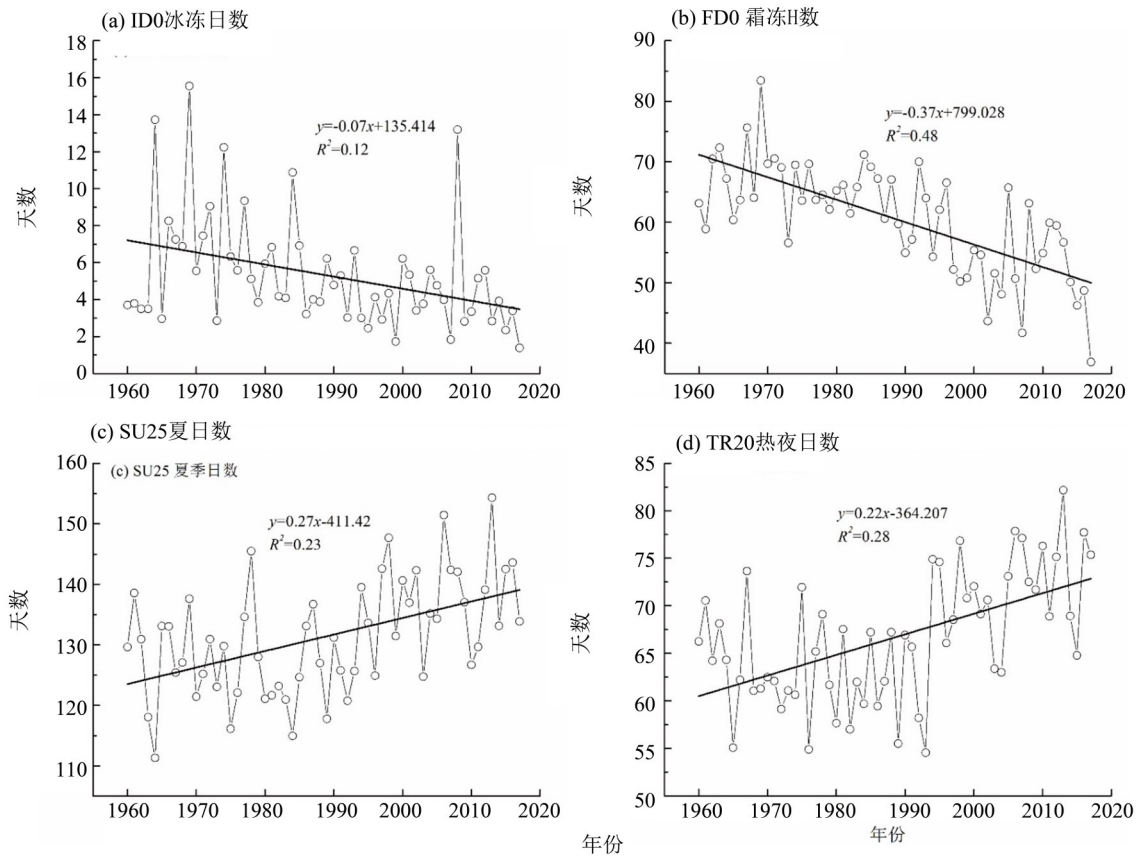


图4 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温绝对指数时间变化趋势

Fig. 4 Liner trend absolute indices of annual extreme temperature events in the research areas during 1960-2017

降趋势, 且霜冻日数下降趋势更显著, 线性倾向率分别为-0.7和-3.7 d/(10a)。夏季日数与热夜日数上升趋势明显, 线性倾向率分别为2.73和2.16 d/(10a)。相比霜冻日数, 夏季日数与热夜日数变化幅度更大, 最大值与最小值相差40 d。冰冻日数的最大值与最小值相差较小, 变化幅度较小。绝对指数的变化趋势通过了0.05显著性水平检验(见图4)。

**2.2.2 空间变化** 空间上, 冰冻日数(图5(a))与霜冻日数(图5(b))的倾斜率的变化分别为-3.6~-0.02和-7.9~-0.25 d/(10a), 冰冻日数下降趋势明显的地区主要分布在秦岭以北。霜冻日数在秦岭东部地区下降趋势明显。霜冻日数除河南省栾川

站外, 其余所有站点都通过了0.05显著性检验。冰冻日数未通过显著性检验的站点主要分布于秦岭南坡以及巴巫谷地。霜冻日数下降比较明显的站点是南阳站和开封站。热夜日数与夏季日数的倾斜率变化幅度分别为-1~6.2和0.7~9.7 d/(10a), 并且二者的空间变化差异性较大。热夜日数在栾川站、华山站呈减少趋势。上升趋势在秦岭东南部与东北部地区比较明显, 以开封站与荆州站最为显著。夏季日数在秦岭东北部上升趋势较小, 石泉站的夏季日数上升趋势比较明显, 大部分站点的变化幅度为1.6~3.6 d/(10a)。热夜日数与夏季日数通过0.05显著性水平检验的站点比例分别为83%(39站)和68%(32站)。

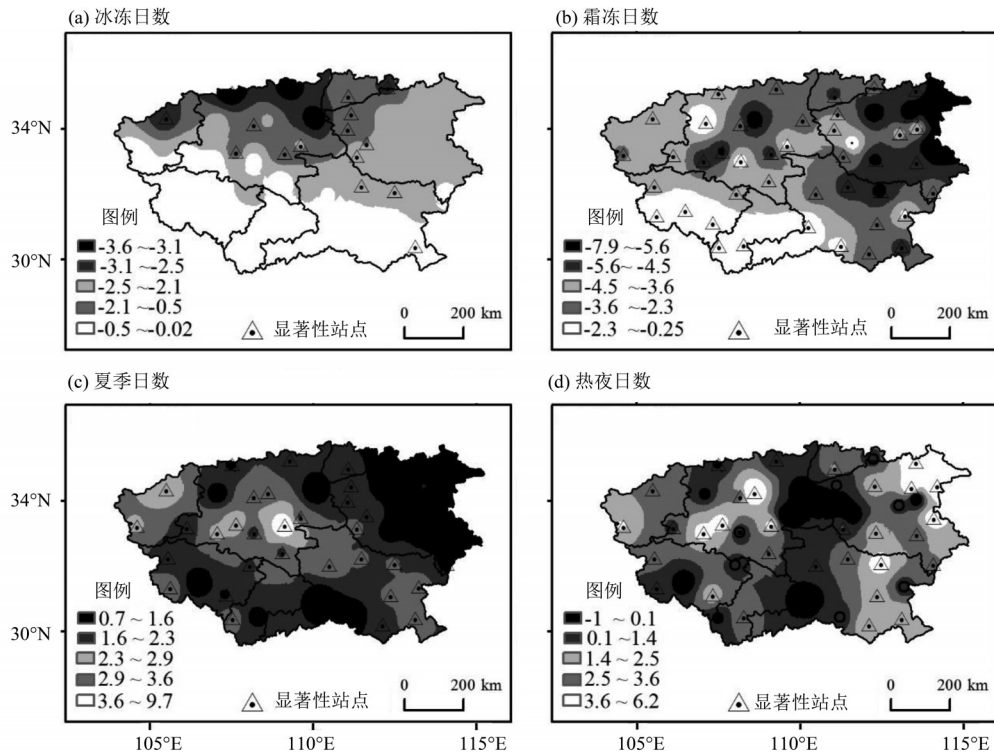


图5 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温绝对指数空间变化趋势

Fig. 5 Spatial distribution of Liner trend absolute indices of annual extreme temperature events in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

**2.3 相对指数时空变化特征**

**2.3.1 时间变化** 从图6可以明显看出, 1960~2017年秦巴山地及邻近区域相对指数变化趋势与绝对指数变化趋势具有很好的一致性, 冷昼日数与冷夜日数表现为下降的趋势, 下降速率分别为0.61和1.3 d/(10a)。相比冷昼日数, 冷夜日数变化幅度比较大, 年尺度冷夜日数最大值与最低值相差14 d。冷昼日数与冷夜日数在2006、2014年都有明显的下降趋势。暖昼日数空间变化差异性明显, 暖夜日数指数呈现上升趋势, 上升速率为1.1

和2.1 d/(10a), 暖夜日数的上升趋势更加显著, 暖夜日数最高值与最低值相差20 d, 未来应该重视暖夜日数增强的影响。相对指数的时间变化趋势均通过了0.05显著性水平检验。

**2.3.2 空间变化** 秦巴山地及邻近区域极端气温指数相对指数的空间分布如图7所示, 冷昼日数除栾川站外, 其余站点的倾斜率下降比较明显, 倾斜率变化幅度为-2.5~2.5 d/(10a), 其中45%(21站)的站点通过了0.05显著性水平检验, 图7(a)显示, 冷昼日数在秦岭北部下降较明显, 以西安站

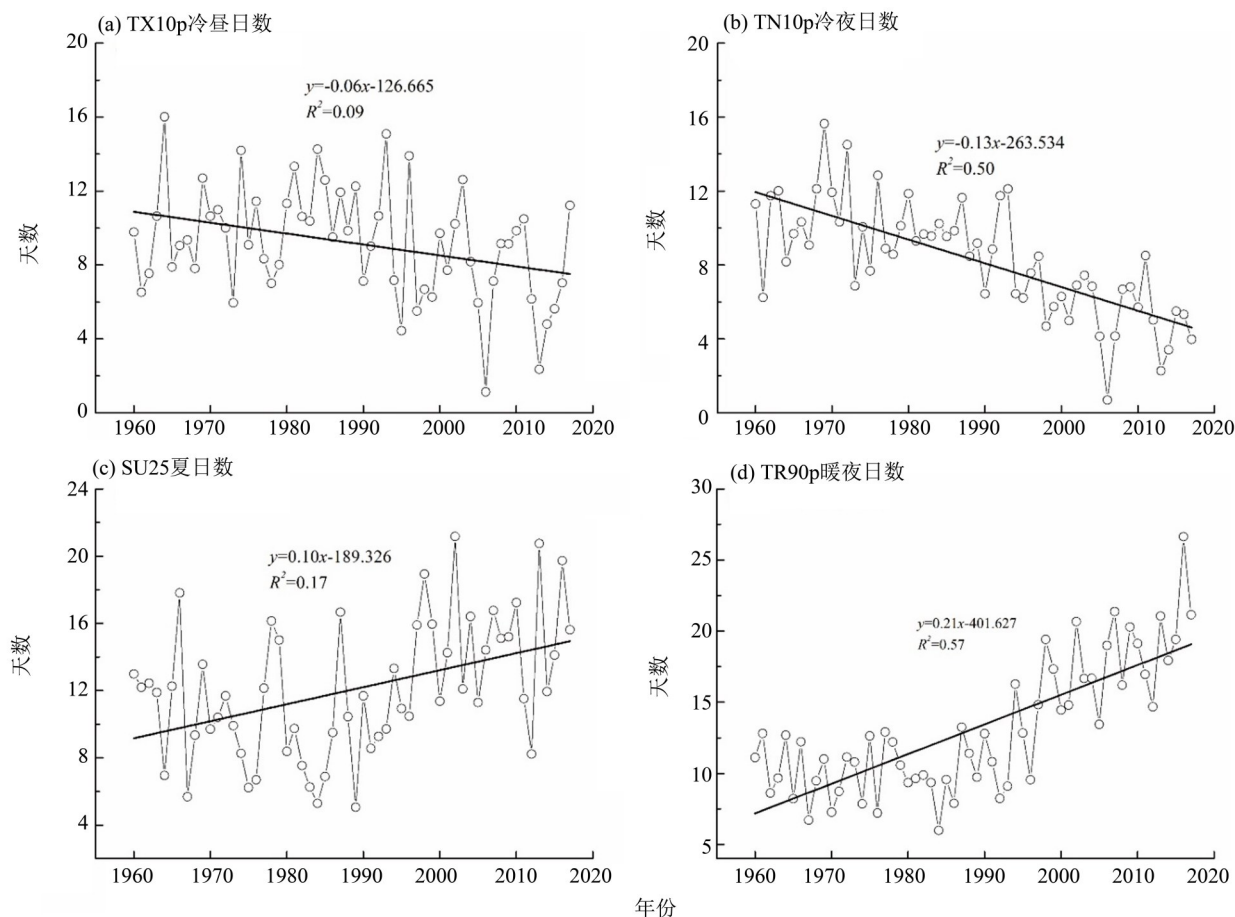


图 6 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温相对指数时间变化趋势

Fig. 6 Liner trend in relative indices of annual extreme temperature events in the research areas during 1960–2017

和宝鸡站最为显著。图 7(b)中冷夜日数均表现为下降趋势，其中 89% (42 站) 站点的下降趋势经过了 0.05 显著性检验，以西安站和宝鸡站最为显著；暖昼日数空间变化差异性明显，西安站、宝鸡站、汉中站、西阳站、河南省除卢氏站、西峡站、南阳站、栾川站外，其余站点都表现为上升趋势。其中 62% (29 站) 的站点通过了 0.05 显著性水平检验。暖夜日数除巴东站与宝鸡站外均表现为增加趋势，其中暖夜日数 90% 的站点通过了显著性检验。大都分布在秦岭北部与东部地区，暖夜日数以开封站的上升趋势较为明显。

## 2.4 其他指数时空变化特征

### 2.4.1 时间变化

其他指数的时间变化如图 8 所示，热持续日数和生物生长季日数表现为上升趋势，其中生物生长季日数变化明显，上升速率为 2.4 d/(10a)，热持续日数自 2000 年以来上升明显，2014 年达到最大值 28 d，并且会波动上升。冷持续日数与气温日较差表现为下降趋势，但二者下降趋势变化不明显。年尺度上看，气温日较差的最大值与最小值相差 6℃。总体来说，生物生长季日数的增加有利于秦巴山地

及邻近区域农作物的生长。

### 2.4.2 空间变化

其他指数的空间变化如图 9 所示，暖持续日数除卢氏站与西峡站外，豫南与豫北地区大体上表现为下降趋势，湖北的巴东站也表现为下降趋势，其余地区都表现为明显的上升趋势，倾斜率变化范围为 -0.1 ~ 7 d/(10a)。其中有 62% (29 站) 的站点上升趋势经过了 0.05 显著性水平检验。生物生长季日数除西安站、宝鸡站外其余地区均表现为上升趋势，其中有 60% (28 站) 的站点上升趋势显著，生物生长季倾斜率变化幅度为 -7.8 ~ 5 d/(10a)。暖持续日数与生物生长季日数以石泉站与安康站上升趋势最为显著；冷持续日数与气温日较差的空间变化趋势不明显。64% (30 站) 站点的冷持续日数表现为下降趋势，其余站点表现为上升趋势，冷持续日数倾斜率变化范围为 -1.1 ~ 1.1 d/(10a)。71% (33 站) 站点的气温日较差表现为下降趋势，主要分布于秦岭北部与东部地区，以豫南豫北以及湖北东部分布最为广泛。气温日较差的倾斜率变化范围为 -2.3 ~ 2.0 d/(10a)，其余站点表现为上升趋势，分布不均匀，

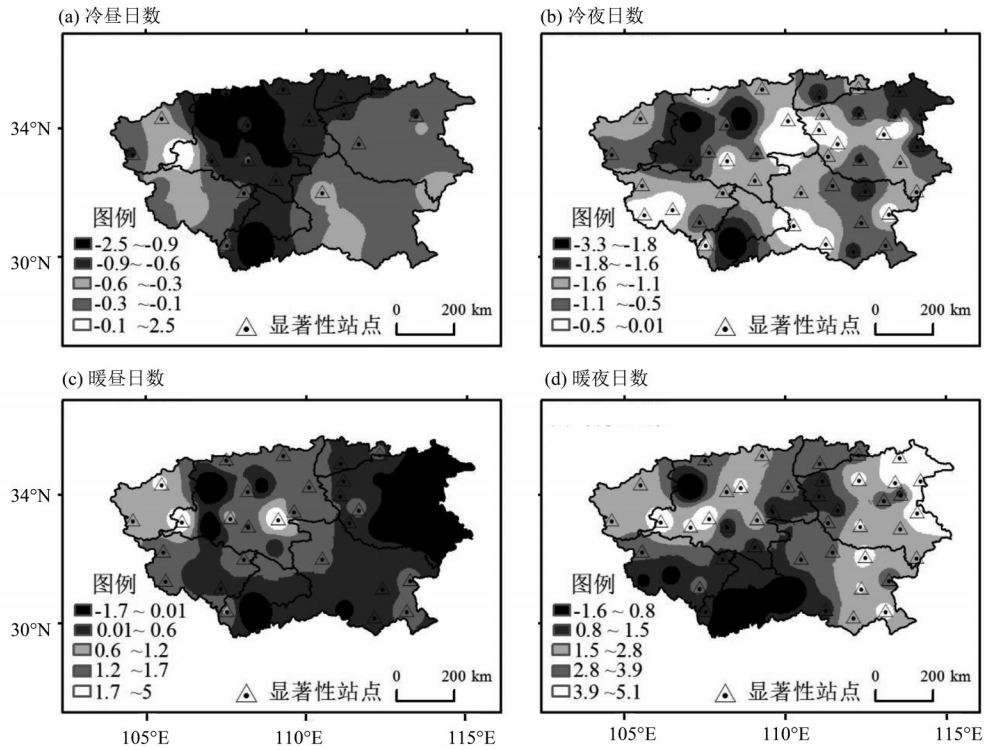


图 7 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温相对指数空间变化趋势

Fig. 7 Spatial distribution of liner trend in relative indices of annual extreme temperature events in the Qinling–Daba mountains and adjacent areas during 1960–2017

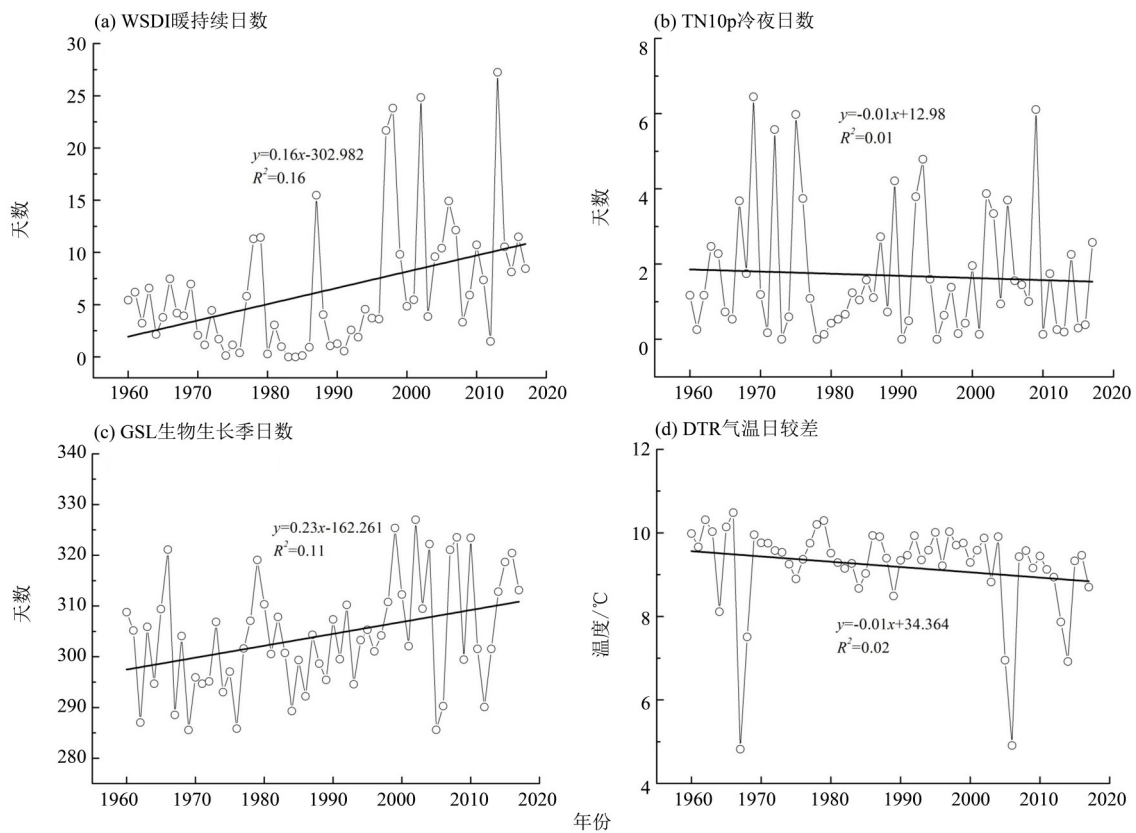


图 8 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温其他指数时间变化趋势

Fig. 8 Liner trend in other indices of annual extreme temperature events in the research areas during 1960–2017

以石泉站上升趋势最为显著。

### 3 讨论

#### 3.1 研究区极端气温指数相关性分析

将 16 个极端气温指数进行 Pearson 相关分析 (表 2)。可以看出, 极值指数之间正相关性明显, 相对指数之间相关性明显, 均通过 0.05 的显著性水平检验。而极值指数和 DTR 与其他指数相关性差。TX90p、TN90p、SU25 和 TR20 之间以及 TX10p、TN10p、ID0、FD0 的正相关性关系明显, 同时高温事件与低温事件的指数存在明显的负相关性, 进一步验证了前文分析的极端高温指数上升趋势以及极端低温指数下降的趋势。

#### 3.2 研究区极端气温指数变化与气候变化关系

为了解极端气温指数与气候变化关系。将 16 项极端气温指数与平均气温进行相关分析 (表 3), 可以看出, TXn、CSDI 和 DTR 没通过 0.05 显著性水平检验, 其余各项极端气温指数与平均气温之间均存在良好的相关性, 表明秦巴山地及邻近区域极端气温变化与区域气候变暖变化的同步性。

为进一步探讨气候变暖对秦巴山地及邻近区域极端气温变化的影响, 将 1960~2017 年秦巴山地

及邻近区域的平均气温进行突变检验 (图 10), 可以看出平均气温在 1996 发生突变。

统计突变前 (1960~1995) 和突变后 (1996~2017) 的极端气温指数 (表 4), 结果表明, 极端低温指数 ID0、FD0、TX10p、TN10p、CSDI、和 DTR 等指数呈减小的趋势, 其余指数都呈现增加的趋势, 特别指出的是 WSDI 指数增加了一倍多, 表明秦巴山地及邻近区域极端气温指数对平均气温的响应有所不同。

#### 3.3 研究区未来极端气温指数变化

进一步分析秦巴山地及邻近区域极端气温指数的变化趋势, 计算 16 个极端气温指数的 Hurst 指数 (表 5), 16 个极端气温的 Hurst 指数值大于 0.5, 表明秦巴山地及邻近区域极端气温指数 Hurst 现象明显, 即未来极端气温变化趋势很大程度上与现在一致。未来该区的冰冻日数、霜冻日数、冷昼 (夜) 日数、冷持续日数、气温日较差继续表现为下降趋势, 其它极端气温指数表现为上升趋势。

### 4 结论

根据 1960~2017 年秦巴山地及邻近区域 47 个气象站点逐日气温资料, 选取 16 个极端气温指标,

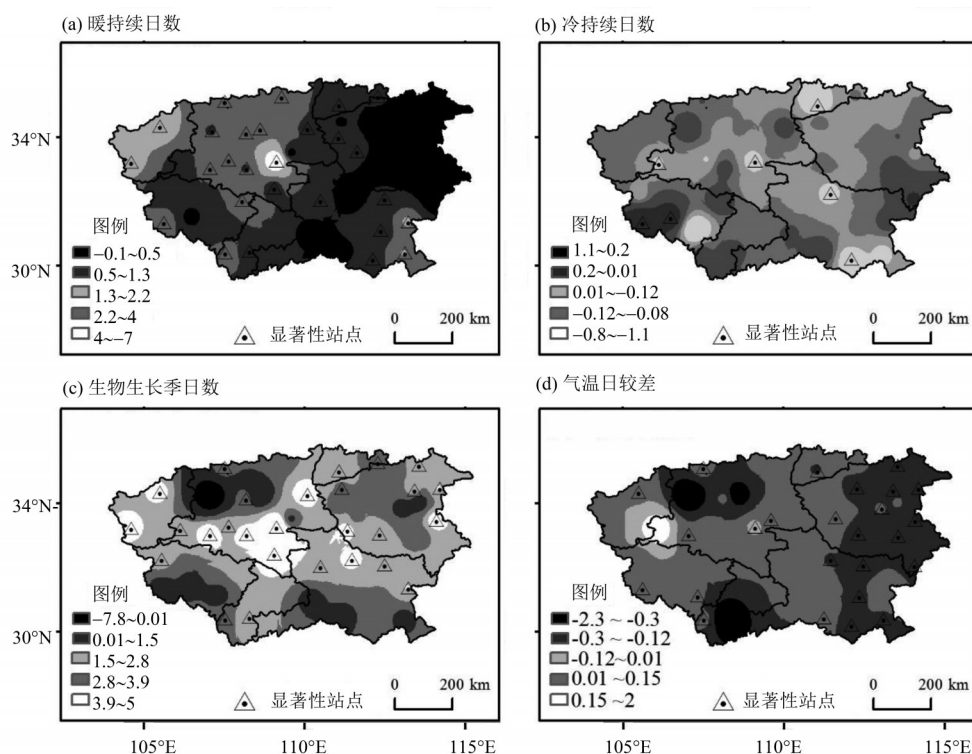


图 9 1960~2017 年秦巴山地及邻近区域极端气温其他指数空间变化趋势

Fig. 9 Spatial distribution of Linear trend in other indices of annual extreme temperature events in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

表 2 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温指数关系矩阵<sup>1)</sup>

Table 2 Correlation matrix of extreme temperature indices in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

项目	TXn	TNn	TXx	TNx	ID0	FD0	SU25	TR20	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p	WSDI	CSDI	GSL	DTR
TXn	1															
TNn	0.68**	1														
TXx	0.49**	0.25	1													
TNx	-0.04	0.01	0.72**	1												
ID0	0.63**	-0.47**	-0.13	-0.17	1											
FD0	-0.36**	-0.43**	-0.29*	-0.38**	-0.25	1										
SU25	-0.04	0.14	0.43**	0.43**	-0.26	-0.52**	1									
TR20	0.04	0.03	0.38**	0.58**	-0.31*	-0.48**	0.61**	1								
TX10p	-0.11	-0.03	-0.31*	-0.31*	0.51**	0.45**	-0.68**	-0.55**	1							
TN10p	-0.15	-0.24	-0.33*	-0.47**	0.42**	0.74**	-0.54**	-0.77**	0.62**	1						
TX90p	0.17	0.24	0.51**	0.48**	-0.34*	-0.58**	0.76**	0.52**	-0.46**	-0.41**	1					
TN90p	0.18	0.25	0.46**	0.6**	-0.43**	-0.82**	0.67**	0.73**	-0.48**	0.74**	0.75**	1				
WSDI	-0.01	0.13	0.37**	0.4**	-0.33*	-0.51**	0.71**	0.54**	-0.49**	-0.45**	0.82**	0.66**	1			
CSDI	-0.23	-0.24	-0.05	0.05	0.25	0.2	-0.2	-0.18	0.33*	0.33*	-0.19	-0.05	-0.06	1		
GSL	0.35**	0.35**	0.17	0.14	-0.36**	-0.64**	-0.28*	0.23	-0.22	-0.32*	0.62**	0.55**	0.38**	-0.37**	1	
DTR	0.51**	0.41**	0.15	-0.17	-0.08	0.03	-0.03	-0.3	0.2	0.4**	0.25	-0.1	-0.06	-0.21	0.35**	1

1) \*\*表示0.01显著性水平, \*表示0.05显著性水平。

表 3 1960~2017年秦巴山地及邻近区域极端气温指数与平均气温相关系数<sup>1)</sup>

Table 3 Correlation coefficients between annual mean temperature and extreme temperature indices in the Qinling-Daba mountains and adjacent areas during 1960-2017

项目	TXn	TNn	TXx	TNx	ID0	FD0	SU25	TR20	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p	WSDI	CSDI	GSL	DTR
平均气温	0.23	0.31*	0.50**	0.53**	-0.50**	-0.82**	0.81**	0.72**	-0.72**	-0.78**	0.83**	0.89**	0.75**	-2.5	0.58**	-0.04

1) \*\*表示0.01显著性水平, \*表示0.05显著性水平。

表4 秦巴山地及邻近区域平均气温突变前后极端气温指数的变化

Table 4 The extreme temperature indices in the research area during the periods of 1960–1995 and 1996–2017

项目	TXn	TNn	TXx	TNx	ID0	FD0	SU25	TR20
1960~1995	-1.35	-8.92	36.93	25.86	6.01	65.38	127.19	63.47
1996~2017	-0.85	-8.03	37.65	26.44	4.01	52.70	138.03	71.17
突变前后变化	上升	上升	上升	上升	下降	下降	上升	上升
项目	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p	WSDI	CSDI	GSL	DTR
1960~1995	10.07	9.98	10.29	10.28	3.61	1.77	300.7	9.38
1996~2017	7.77	5.51	14.93	17.8	10.89	1.57	309.81	8.10
突变前后变化	下降	下降	上升	上升	上升	下降	上升	下降

表5 研究区极端气温指数变化的Hurst指数

Table 5 Hurst index of extreme temperature indices in the Qinling–Daba mountains and adjacent areas

TXn	TNn	TXx	TNx	ID0	FD0	SU25	TR20
0.73	0.61	0.79	0.89	0.78	0.97	0.93	0.81
TX10p	TN10p	TX90p	TN90p	WSDI	CSDI	GSL	DTR
0.92	0.95	0.93	0.97	0.68	0.72	0.83	0.56

分析秦巴山地及邻近区域的极端气温的时空变化特征,得出以下结论:

1) 从时间变化上看,近58年来秦巴山地及邻近区域的极端气温极值指数分别以0.20、0.30、0.20和0.10℃/(10a)的速率上升,极端高温指数呈现上升的趋势,极端低温指数呈现下降趋势。

2) 从空间变化上看,秦巴山地及邻近区域冰冻日数、霜冻日数、冷昼日数、和冷持续日数在秦岭以北以及秦岭东部大部分地区下降趋势明显;极端高温指数中热夜指数、夏季指数、暖昼指数在秦岭东部大部分区域上升趋势显著;气温日较差的下降趋势主要分布于秦岭以北与东部地区,而其他地区表现为较为明显的上升趋势,区域性特征表现较为典型。总体来说,秦岭以北以及秦

岭东部极端指数对气候变暖响应更强烈。

3) 相关分析表明,除极值指数和DTR与其他指数相关性差外,其余极端指数存在良好的相关性。并且,极端气温指数变化与平均气温关系密切,M-K突变表明,平均气温在1996年发生突变。突变前后对秦巴山地及邻近区域的极端气温事件的影响程度有所差异,突变前后极端指数变化差异明显,特别指出的是WSDI指数增加趋势显著,而极端低温指数呈现减小的趋势,表明极端气温变化对区域气候变暖的差异性。

4) Hurst指数结果显示,秦巴山地及邻近区域极端气温指数的Hurst值都大于0.55,极端气温指数呈现出同向变化特征,预示未来的极端高温事件呈现增加趋势,低温事件减小的趋势。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, ChangeClimate 2013: The Physical Science Basis: summary for policy makers [R/OL]. [2013-10-28]. [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM\\_Approved\\_27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved_27Sep2013.pdf).
- [2] 余敦先,夏军,张永勇,等. 近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9):1200–1210.
- SHE D X, XIA J, ZHANG Y Y, et al. The trend analysis and statistical distribution of extreme rainfall events in the Huaihe River basin in the past 50 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9):1200–1210.
- [3] EASTERLING D R, EVANS J L, GROLSMAN P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000, 81(3):417–425.
- [4] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7):874–883.
- QIN D H. Climate change science and human sustainable development [J]. Progress in Geography, 2014, 33(7):

- 874-883
- [5] 周浩,程炳岩,叶钊,等. 重庆汛期降水与西太平洋副热带高压的关系[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2010, 32(1):63-67.
- ZHOU H, CHENG B Y, YE Z, et al. The relationship between the precipitation in Chongqing during the flood season and the western Pacific subtropical high[J]. Journal of Yunnan University (Natural Science Edition), 2010, 32(1): 63-67.
- [6] CHOI G, COLLINS D, REN G Y, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network and adjacent areas, 1955-2007[J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(13): 1906-1925.
- [7] EASTERLING D R, HORTON B, JONES P D, et al. Maximum and minimum temperature trends for the globe[J]. Science, 1997, 277(5324):364-367
- [8] PLUMMER N, SALINGER M J, NICHOLLS N, et al. Changes in climate extremes over the Australian and adjacent areas and New Zealand during the twentieth century [J]. Climatic Change, 1999, 42(1):183-202.
- [9] ALEXANDER L V, ZHANG X, PETERSON T C, et al. Global observed changes daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, 115(D5):1042-1063
- [10] KLEIN TANK A M G, KEEN G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999[J]. Journal of Climate, 2003, 16:3665-3680.
- [11] 张立伟,宋春英,延军平,等. 秦岭南北年极端气温的时空变化趋势研究[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 1007-1010.
- ZHANG L W, SONG C Y, YAN J P, et al. Research on the spatiotemporal variation trend of the extreme temperature in south and north of Qinling mountains[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(8):1007-1010.
- [12] 赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等. 1965-2013年黄土高原地区极端气温趋势变化及空间差异[J]. 地理研究, 2016, 35(4):639-652.
- ZHAO A Z, LIU X F, ZHU X F, et al. Trends and spatial differences of extreme temperature trends in the Loess Plateau from 1965 to 2013[J]. Geographical Research, 2016, 35(4):639-652.
- [13] 李双双,杨赛霓. 1960~2014年北京极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2015, 35(12):1640-1647.
- LI S S, YANG S N. Characteristics of Beijing extreme temperature events from 1960 to 2014[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(12):1640-1647.
- [14] 李红英,高振荣,王胜,等. 近60a河西走廊极端气温的变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(1):1-9.
- LI H Y, GAO Z R, WANG S, et al. Analysis on the characteristics of extreme temperature change in the Hexi Corridor in the past 60a[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(1):1-9.
- [15] 刘青娥,吴孝情,陈晓宏,等. 珠江流域1960-2012年极端气温的时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2015(8):1356-1366.
- LIU Q E, WU X Q, CHEN X H, et al. Spatiotemporal variation characteristics of extreme temperatures in the Pearl River Basin from 1960 to 2012[J]. Journal of Natural Resources, 2015(8):1356-1366.
- [16] 香薇,程志刚,周波涛,等. 1975-2016年秦巴山区极端气温事件的空间差异性分析[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(4):362-370.
- XIANG W, CHENG Z G, ZHOU B T, et al. Spatial difference analysis of extreme temperature events in Qinba mountain area from 1975 to 2016[J]. Climate Change Research, 2018, 14(4):362-370.
- [17] 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.
- LI M M, YAN J P. Temporal and spatial variation patterns of drought and flood in south and north Qinling mountains under global change[J]. Resources Science, 2013, 35(3):638-645.
- [18] 周旗,卞娟娟,郑景云,等. 秦岭南北1951-2009年的气温与热量资源变化[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1211-1217.
- ZHOU Q, BIAN J J, ZHENG J Y, et al. Changes of air temperature and heat resources from 1951 to 2009 in Qinling mountains[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9):1211-1217.
- [19] 胡琦,潘学标,邵长秀,等. 1961-2010年中国农业热量资源分布和变化特征[J]. 中国农业气象, 2014, 35(2):119-127.
- HU Q, PAN X B, SHAO C X, et al. Distribution and variation characteristics of agricultural thermal resources in China from 1961 to 2010[J]. Chinese Journal of Agro-

- meteorology,2014,35(2):119-127.
- [20] 王琼,张明军,王圣杰,等. 1962-2011年长江流域极端气温事件分析[J]. 地理学报, 2013, 68(5): 611-625.  
WANG Q, ZHANG M J, WANG S J, et al. Analysis of extreme temperature events in the Yangtze River basin from 1962 to 2011[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(5):611-625.
- [21] 任志艳,延军平,张立伟,等. 黄土高原地区年极端气温的变化特征[J]. 中国农业气象, 2013, 34(3): 289-293.  
REN Z Y, YAN J P, ZHANG L W, et al. Variation characteristics of annual extreme temperature in the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2013, 34(3):289-293.
- [22] 陈海山,范苏丹,张新华,等. 中国近50年极端降水事件变化特征的季节性差异[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6):744-751  
CHEN H S, FAN S D, ZHANG X H, et al. Seasonal differences in the changing characteristics of extreme precipitation events in China in the past 50 years[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2009, 32(6):744-751
- [23] 李志,郑粉莉. 1961-2007年黄土高原极端降水事件的时空变化分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 291-299.  
LI Z, ZHENG F L. Temporal and spatial analysis of extreme precipitation events on the Loess Plateau from 1961 to 2007[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(2):291-299.
- [24] 王志福,钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1):1-9.  
WANG Z F, QIAN Y P. Frequency and intensity characteristics of extreme precipitation events in China[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(1):1-9.
- [25] LIN X D, YIN Z Y, SHAO X M, et al. Temporal trends and variability of daily maximum and minimum, extreme temperature events, and growing season length over the eastern and central Tibetan plateau during 1961-2003 [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2006, 111(D19):D19109. DOI: 10. 1029/2005JD006915.
- [26] 王蒙,殷淑燕. 近52a长江中下游地区极端降水的时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1221-1229.  
WANG M, YIN S Y. Temporal and spatial variation characteristics of extreme precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River in the past 52a[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(7):1221-1229.

(责任编辑 秦社彩)