

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Extreme Temperature in Henan Province

Lingqing Wang^{1,2}

¹School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Dingxin Meteorological Station of Jinta County, Jiuquan Gansu

Email: WLQ_cc@outlook.com

Received: Oct. 21st, 2019; accepted: Nov. 5th, 2019; published: Nov. 12th, 2019

Abstract

The daily average data of the highest and lowest temperatures observed at 15 ground stations in Henan Province from 1958 to 2012 are used to analyze the temporal and spatial changes and abrupt changes of the extreme temperature in Henan Province more comprehensively and accurately by means of linear regression, inverse distance weighted difference and Mann Kendall (m-k) method. After analyzing, the conclusions are as follows: The extreme high temperature indices in Henan Province showed an upward trend as a whole. The change tendency rates of heat persistence index, summer days, the percentile value of warm day and the percentile value of warm night were -0.3 d/10a, 1.3 d/10a, -0.16 d/10a and 2.9 d/10a, respectively. The extremely low temperature indices showed a significant downward trend, while the cold persistence index, frost days, the percentile value of cold day and the percentile value of cold night showed a significant downward trend. The change tendency rates of the number were -0.15 d/10a, -3.4 d/10a, -0.4 d/10a, -2.4 d/10a, respectively. And the trend of climate warming in Henan Province is more obvious after 2000. The change of extreme temperature in Henan Province is asymmetric. Compared with the increase of extremely high temperature indices, the extremely low temperature indices have a larger decline. Especially compared with the rising trend of summer days, the downward trend of frost days is very significant. In the spatial variation, the range and value (absolute value) of the percentile value of warm night, frost days and the percentile value of cold night change propensity rates are significantly larger than other extreme exponents. The spatial change has the most obvious influence on the three extreme temperature indices, while the altitude changes to summer days and frost days. The impact is most pronounced. The mutation in the extreme temperature index occurred mainly around 2000.

Keywords

Extreme Temperature, Temporal and Spatial Variation Characteristics, Henan Province

河南省极端气温时空变化特征分析

王铃清^{1,2}

文章引用: 王铃清. 河南省极端气温时空变化特征分析[J]. 自然科学, 2019, 7(6): 549-560.

DOI: 10.12677/ojns.2019.76064

¹成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

²金塔县鼎新气象站, 甘肃 酒泉

Email: WLQ_cc@outlook.com

收稿日期: 2019年10月21日; 录用日期: 2019年11月5日; 发布日期: 2019年11月12日

摘要

本文利用1958~2012年河南省15个地面观测站的最高气温、最低气温等地面观测逐日平均数据, 采用一元线性回归、反距离加权差值、Mann-Kendall (M-K)法对河南省极端气温时空变化以及突变进行了更加全面、准确的分析, 最终得出以下结论: 河南省极端高温指数整体上呈现上升趋势, 热持续指数、夏日日数、暖昼日数和暖夜日数的变化倾向率分别为 $-0.3 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $1.3 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-0.16 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $2.9 \text{ d}/10\text{a}$, 而极端低温指数则呈现显著下降趋势, 冷持续指数、霜日日数、冷昼日数和冷夜日数的变化倾向率分别为 $-0.15 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-3.4 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-0.4 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-2.4 \text{ d}/10\text{a}$, 在2000年以后河南省气候变暖趋势更加明显。河南省极端气温的变化呈现非对称性, 与极端高温指数的上升幅度相比, 极端低温指数的下降幅度更大, 尤其是与夏日日数的上升趋势相比, 霜日日数下降趋势十分显著。在空间变化中, 暖夜日数、霜日日数和冷夜日数变化倾向率的范围和数值(绝对值)明显大于其他极端指数, 空间变化对这三个极端气温指数的影响最为明显, 而海拔高度的变化对夏日日数与霜日日数的影响最为显著。极端气温指数的突变主要发生在2000年前后。

关键词

极端气温, 时空变化特征, 河南省

Copyright © 2019 by author(s) 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

目前研究表明, 变暖是全球的主要气候变化趋势, 进入工业化后, 全球平均地表温度有显著上升[1] [2]。在20世纪, 全球变暖的趋势已经得到国内外许多科学家研究证实[3] [4]。

我国科学家也针对极端气候的变化做了许多研究, 研究指出我国极端最低温度显著上升, 霜日日数呈减少趋势, 无霜期有所延长, 冷昼日数和冷夜日数也呈减少趋势[5] [6] [7]。虽然总体上我国极端气候的变化趋势和全球极端气候的变化趋势较为一致, 但也存在较大的差异[8]。过去50年, 我国气温变化率为 $0.25^\circ\text{C}/10\text{a}$, 而全球气温变化率则为 $0.13^\circ\text{C}/10\text{a}$, 我国气候的变暖趋势明显比全球气候变暖的趋势更加显著[9]。

河南省位于华北平原南部的黄河中下游地区, 是我国第二级地貌台阶和第三级地貌台阶的过渡地带, 其地势呈望北向南、承东启西之势, 地势西高东低, 西部海拔高、起伏大, 东部地势低且平缓。河南省属于大陆性季风气候, 具有四季分明、雨热同期、复杂多样和气象灾害频繁的气候特点, 但同时全省年均日照1285.7~2292.9小时, 全年无霜期201~285天, 适宜多种农作物生长, 河南省也是我国重要的粮食生产基地之一。而针对河南省极端气温的变化特征, 已经有学者进行了研究, 且得出了一定的成果。郭瑜[10]发现河南省气温变化存在季节差异和区域差异。高文华等[11]研究得出, 近年来河南省表征高温的极端气温指数呈上升趋势, 表征低温的极端气温指数呈下降趋势。近20年来, 河南省极端气温变化倾向率相较于我国其他地区明显较高, 说明90年代之后河南极端气温指数的变化更加剧烈了, 且研究发现近

年来河南省极端高温事件逐渐增多,而极端低温事件则逐渐减少,极端高温指数呈上升趋势,而极端低温指数则呈现下降趋势[12]。

现有的一些研究文献中,由于研究站点较少,研究区域范围有限,且研究所用的指数参数较少,种种因素导致研究中对河南省整体的极端气温时空变化特征认识尚不透彻。本文将使用河南省各个区域 15 个地面观测站点的最高气温、最低气温等地面观测数据,采用较为典型的 8 个极端气温指数对河南省极端气温时空变化进行较为全面、准确的研究。

河南省近年来由于极端气温而导致的灾害逐年增加,已经成为阻碍河南省农业和经济发展的一大障碍,而研究河南省极端气温的时空特征有利于我们掌握气候变化规律,有助于气象防灾减灾,以此来保护农业和经济发展。同时对极端气温时空变化特征研究也有很大的天气学意义。基于此,本文利用河南省 15 个地面观测站点的最高气温、最低气温等地面观测数据,选取 8 个较为典型的极端气温指数,采用一元线性趋势等方法对极端气温指数的时间变化特征进行分析,使用反距离加权插值法对极端气温指数的空间变化特征进行分析,最后使用 M-K 法对河南省极端气温变化进行突变检验,以此希望为河南省的未来气候变化、防灾减灾、经济和农业发展提供可靠的参考资料。

2. 数据与方法

2.1. 数据来源与质量控制

本文所用数据由中国气象数据网(<https://data.cma.cn>)提供。此次研究中选取数据为 1958~2012 年河南省 15 个国家地面观测站(图 1)的最高气温、最低气温等地面观测数据。使用 RCLimDex 程序(RCLimDex 是加拿大气象研究中心开发用于计算多种极端气候指数的程序)对各站点数据进行检验处理,程序对数据的检验处理主要涉及几个方面的错误记录检查:1) 日最低温 > 日最高温;2) 日降水量 < 0 mm;3) 记录值严重偏离本地区气象实际情况,即超出 3 倍标准差的值定义为出界值,通过人工检查同相邻站点的记录进行比对,合理的保留,不合理的按缺测进行处理。通过对数据进行过滤筛选,我们最大限度地减小了因初始数据对研究结果产生的误差,同时也确认了数据的可用性。

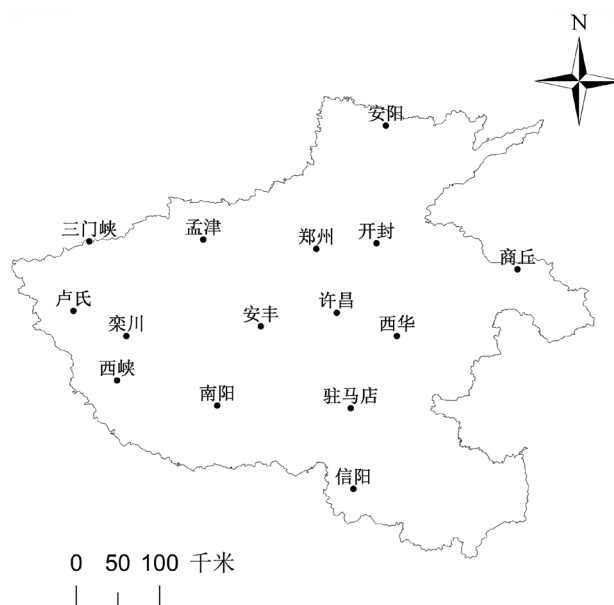


Figure 1. Selection of meteorological station distribution in Henan
图 1. 选取河南省气象站点分布示意

2.2. 研究方法

关于极端气候,重要极端气候指数共有 27 种,这 27 个极端气候指数都是世界气象组织气候委员会推荐使用的核心极端气候指数,包括 16 个极端温度指数和 11 个极端降水指数,这些指数具有较弱的极端性、噪声低、显著性强等优点,是目前研究极端气候时广泛使用的方法。综合研究方法以及各个指数的特征和河南省的实际情况,本文选取了 8 个较为典型的极端气温指数用来分析河南省极端气温时空变化特征(表 1)。

Table 1. Definition of extreme temperature indices
表 1. 极端气温指数定义

名称/单位	缩写	指数定义
热持续指数/d	WSDI	连续 6 日最高气温在 90% 分位值日数
冷持续指数/d	CSDI	连续 6 日最低气温在 10% 分位值日数
夏日日数/d	SU25	一年中日最高气温 > 25℃ 的日数
霜日日数/d	FD0	一年中日最低气温 < 0℃ 的日数
暖昼日数/d	TX90P	日最高气温 > 90% 分位值的日数
冷昼日数/d	TX10P	日最高气温 < 10% 分位值的日数
暖夜日数/d	TN90P	日最低气温 > 90% 分位值的日数
冷夜日数/d	TN10P	日最低气温 < 10% 分位值的日数

本文通过 RCLimDex 软件分别计算了河南省 15 个站点 1958~2012 年的 8 个极端气温指数,采用一元线性趋势等方法对极端气温指数的时间变化特征进行分析,然后使用反距离加权插值法对极端气温指数的空间变化特征进行分析,最后使用目前应用最为广泛的 Mann-Kendall 法(简称 M-K 法)进行突变检验。

线性回归是一种运用十分广泛的表征变量的变化趋势的一种分析方法,在本文中,使用一元线性回归来表示极端气温指数的变化趋势,即:

$$y_i = a + bx_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中 y_i 为 n 的某一极端气候要素变量; x_i 为 y_i 所对应的年分; a 为常数; b 为回归系数; c 为数量。

反距离加权插值法是一种研究极端气温指数的空间变化特征常用的一种空间插值方法,它以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。公式如下:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i \cdot W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

式中 n 是站点数量; Z 是研究所用的站点估计值; Z_i 是第 i 个站点的实测值; W_i 为第 i 个站点的权重系数。

Mann-Kendall (M-K) 突变检验对均值突变和转折突变比较敏感,具有人为干扰性少、校验范围宽的优点,因此十分适合用来检验极端气温指数的突变。首先设原始时间序列为 t_1, t_2, \dots, t_n ; r_i 表示第 i 个样本 t_i 大于 t_j ($1 \leq j \leq i$) 的累积数,则统计量计算公式为:

$$d_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (2 \leq k \leq n) \quad (3)$$

k 为样本数量; d_k 为样本累积数之和。假设原序列随机独立, d_k 的均值 $E(d_k)$ 和 d_k 的方差 $\text{Var}(d_k)$ 计算公式分别为:

$$E(d_k) = k(k-1)/4 \quad (4)$$

$$\text{Var}(d_k) = k(k-1)(2k+5)/12 \quad (2 \leq k \leq n) \quad (5)$$

将式中的 d_k 标准化:

$$UF_k = (d_k - E(d_k)) / \sqrt{\text{Var}(d_k)} \quad (k=1, \dots, n) \quad (6)$$

通过(6)式得到 UF 正序列曲线, UF_k 为标准正态分布, 设置显著性水平为 a , 若 $|UF_k| > Ua_k$, 表明序列存在明显的趋势变化。将时间序列按逆序排列, 再按照上式计算, 同时使 $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots, 1)$, 同样的方法应用到反序列中, 得到 UB 反序列曲线。若 UF 值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 若 UF 值小于 0, 则表明序列呈下降趋势; 当 UF 曲线超过临界直线时, 表明上升或下降趋势显著。如果统计量曲线 UF 、 UB 出现交点, 且交点在临界线之间, 那么交点所对应的时间即为突变开始的时间[13]。

3. 结果与分析

3.1. 河南省极端气温指数时间变化特征分析

从图 2 极端高温指数变化趋势中可以看出, 1958~2012 年, 河南省热持续指数线性倾向率呈下降趋势, 变化倾向率为 $-0.3 \text{ d}/10\text{a}$; 夏日日数线性倾向率呈上升趋势, 变化倾向率为 $1.3 \text{ d}/10\text{a}$; 暖昼日数线性倾向率呈下降趋势, 变化倾向率为 $-0.16 \text{ d}/10\text{a}$; 暖夜日数线性倾向率呈现明显地上升趋势, 变化倾向率为 $2.9 \text{ d}/10\text{a}$ 。4 个极端高温指数中, 暖夜日数的上升趋势最为显著, 热持续指数和暖昼日数虽然近年来呈现线性下降趋势, 但变化倾向率很小。

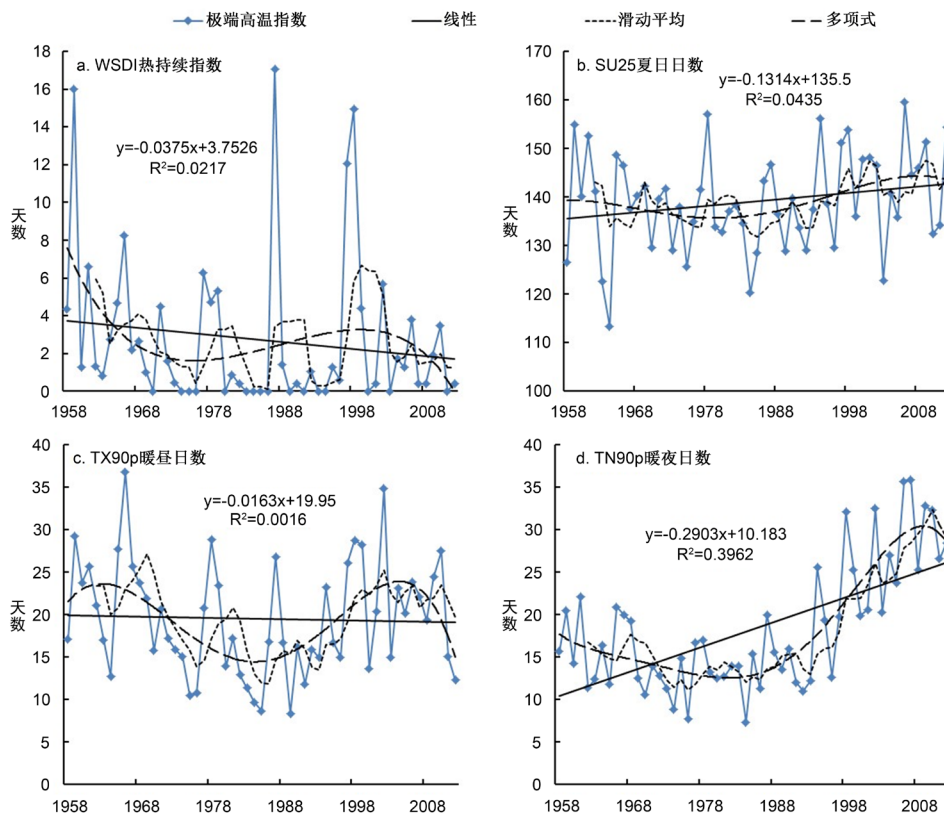


Figure 2. Trend of extreme high temperature indices in Henan from 1958 to 2012

图 2. 1958~2012 年河南省极端高温指数变化趋势

对比图 2 中 5 年滑动平均曲线和 5 阶多项式曲线可以发现, 4 个极端高温指数有较为一致的变化趋势, 大致均为“两高一低”的波动变化。1960 年前后和 2000 年前后是两个较为明显的高值区, 多项式曲线在线性趋势线上方, 极端高温指数数值偏大。而 1980 年前后是一个明显的低值区, 多项式曲线在线性趋势线下方, 极端高温指数数值偏小。1960~1980 年, 热持续指数、夏日日数、暖昼日数、暖夜日数均呈现下降趋势, 1980~2000 年则均呈现上升趋势, 夏日日数、暖昼日数以及暖夜日数的上升趋势甚至持续至 2010 年左右, 其中暖夜日数上升最为显著, 在 2009 年达到了近 50 年的最高值。在 2000 年以后的高值区中, 滑动平均曲线有多个频繁的小波动, 说明 2000 年以后极端气温事件偏多。

分析图 3 极端低温指数变化趋势可知, 河南省 1958~2012 年表征低温的四个指数线性倾向率均呈现下降趋势, 冷持续指数、霜日日数、冷昼日数、冷夜日数的变化倾向率分别为-0.15 d/10a、-3.4 d/10a、-0.4 d/10a、-2.4 d/10a。4 个极端低温指数中, 霜日日数与冷夜日数线性下降趋势较为显著, 冷持续指数和冷昼日数线性下降趋势较为平缓, 其中霜日日数的下降趋势最为明显。

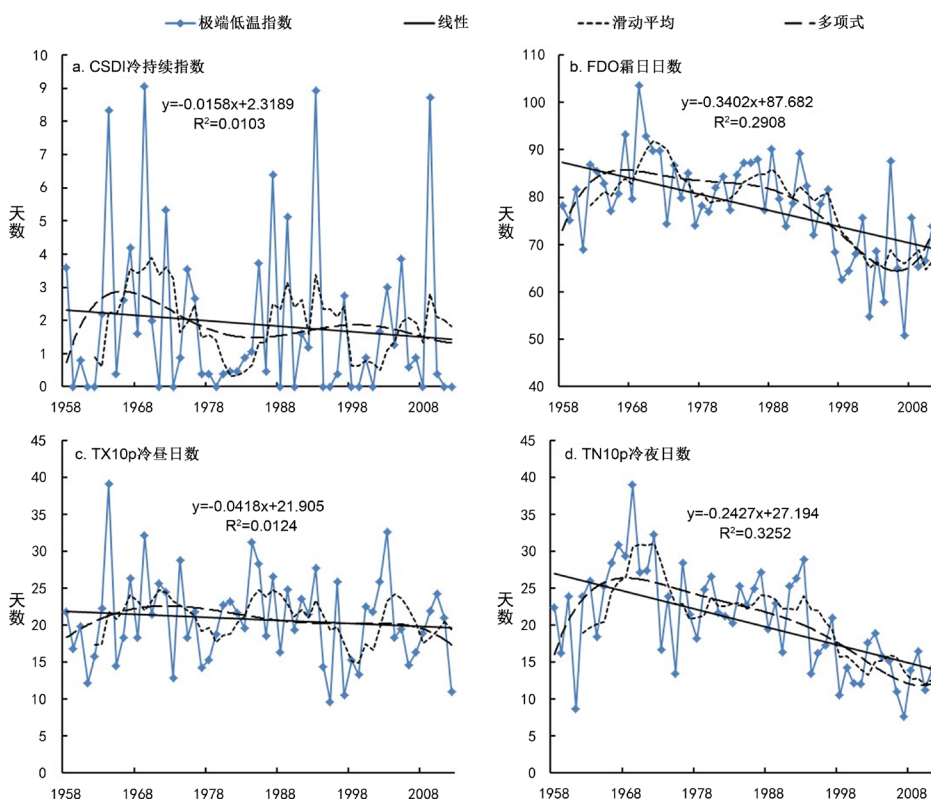


Figure 3. Trend of extreme low temperature indices in Henan from 1958 to 2012
图 3. 1958~2012 年河南省极端低温指数变化趋势

结合图 3 中滑动平均曲线和多项式曲线可以发现: 冷持续指数呈波动下降的趋势, 1965 年前后是一个较为明显地高值区, 1980 年前后是一个的低值区, 2000 年前后是一个不明显的高值区, 但 2000 年前后高值区的波峰明显小于 1965 年前后的高值区波峰。而且观察发现, 两个高值区期间, 滑动曲线均有两到三个小波动, 相较于低值区, 高值区的波动更加频繁; 霜日日数和冷夜日数相较于其他指数, 变化幅度更为明显, 且具有较为一致的变化趋势, 1968~1998 年是一个持续时间较长的高值区, 但整体还是呈下降趋势, 在 1988 年左右, 两个指数的滑动平均曲线均有多个频繁的小波动, 说明这一时期极端气温事件较多。但相较于冷夜日数, 霜日日数的波动则更加明显, 而在 2002 年以后其滑动平均曲线又出现了频

繁的小波动；冷昼日数的下降趋势则较为平缓，1970年前后有一个较小的高值区，1980~2008年多项式曲线与线性趋势线基本重合，下降趋势较为平缓，2008年以后则进入一个低值区。

综合图2、图3可知，1958~2012年，极端高温指数整体上呈上升趋势，而极端低温指数整体呈下降趋势，说明在过去55年中，河南省的极端气温变暖特征十分显著，气温变化以变暖为主要趋势，符合当前全国乃至全球变暖的大趋势。除此之外，极端低温指数的下降幅度明显大于所对应的极端高温指数的上升幅度，说明两者在时间变化特征上是不对称的。

3.2. 河南省极端气温指数时间序列突变分析

气候突变，常见的定义为气候从一个平均值到另一个平均值的急剧变化，表现为气候变化的不连续性，即气候在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化。本文则通过UF、UB统计量曲线相交的突变点来体现气候突变。

图4给出了1958~2012年河南省4个极端高温指数时空变化的突变曲线，由UF统计量曲线可知：热持续指数UF统计量曲线变化趋势不是十分显著，没有明显的突变点；夏日日数UF统计量曲线在2000年之后则有较明显的上升，但在55年间，夏日日数UF统计量曲线均未超过0.05显著性水平临界线，说明在此期间夏日日数变化趋势并不明显，其UF与UB曲线有多个交点，通过对比分析以及其他检验方法的验证，认为1997年为夏日日数的突变点；暖昼日数UF统计量曲线在1980~1998年间，UF统计量曲线超过了0.05显著性水平临界线，下降趋势较显著，2000年以后有所上升，但幅度十分不明显，无明显突变点；暖夜日数UF统计量曲线在1958~1975年呈下降趋势，在1975~2012年均呈上升趋势，在1998年以后暖夜日数UF统计量曲线突然急剧上升，UF和UB统计量曲线在2001年出现交点，2001年则为河南省暖夜日数的突变点，而在2005年以后，暖夜日数UF统计量曲线超过了0.05显著性水平临界线，说明河南省暖夜日数在2005年以后的上升趋势十分显著。

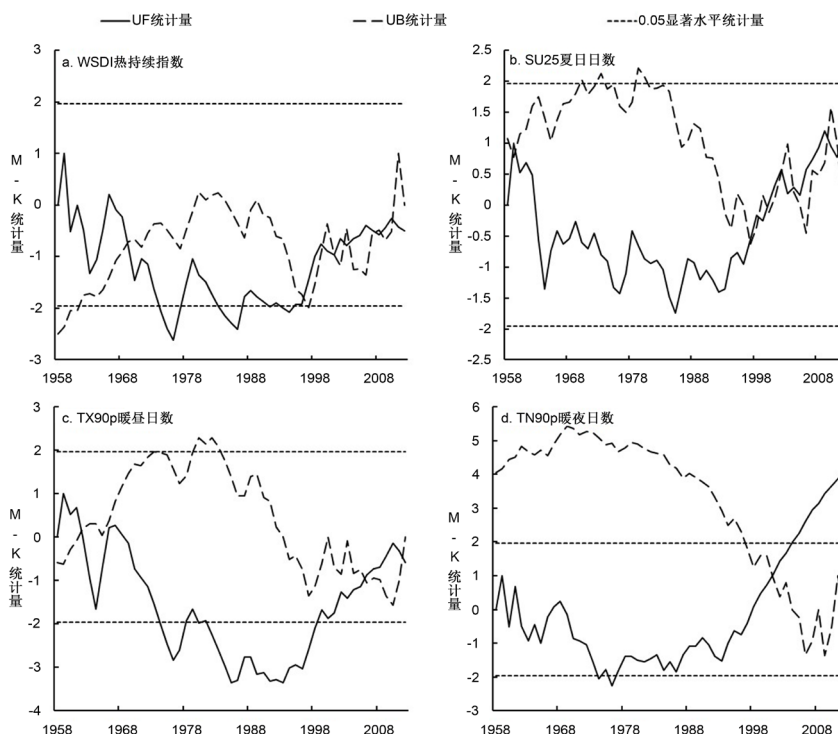


Figure 4. Mann-Kendall test of extreme high temperature indices in Henan from 1958 to 2012

图4. 1958~2012年河南省极端高温指数突变分析

图5是1958~2012年河南省4个极端低温指数时空变化的突变曲线,分析UF统计量曲线可以发现:冷持续指数的UF统计量曲线没有较为明显的变化趋势;霜日日数的UF统计量曲线在1958~1995年没有较为明显地变化趋势,但在1994年左右,霜日日数的UF统计量曲线突然剧烈下降,同时在1994年霜日日数的UF和UB统计量曲线出现了交点,说明霜日日数的突变发生在1994年,在2001年以后,UF统计量曲线超过了0.05显著性水平临界线,说明河南省霜日日数在2005年以后的下降趋势十分显著;冷昼日数的UF统计量曲线没有较为一致的变化趋势,没有明显地突变;冷夜日数UF统计量曲线在1966~1974年之间超过了0.05显著性水平临界线,说明河南省冷夜日数在此区间的上升趋势比较显著。但在1994年之后,冷夜日数的UF统计量曲线突然下降,并且在1998年与UB统计量曲线相交,说明在1998年冷夜日数发生了突变,在2000年以后UF统计量曲线更是超过了0.05显著性水平临界线,说明在2000年以后河南省冷夜日数呈现显著的下降趋势。

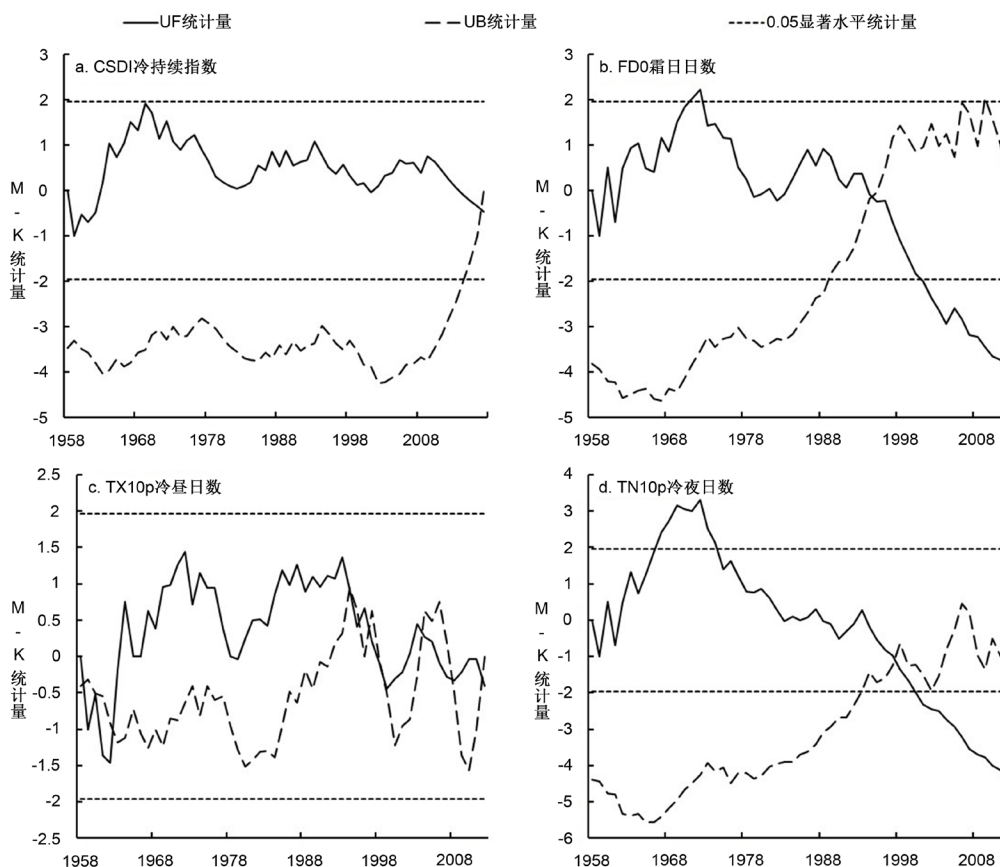


Figure 5. Mann-Kendall test of extreme low temperature indices in Henan from 1958 to 2012

图5. 1958~2012年河南省极端低温指数突变分析

综合图4和图5的分析结果,可以发现:在2000年以后4个极端高温指数均加速上升,尤其是2005年以后,暖夜日数的上升趋势十分显著;而表征低温的极端气温指数中,霜日日数和冷夜日数两个变化较为明显的指数在90年代以后下降速度明显变快,说明近20年极端气低温事件发生频率显著降低。在8个极端气温指数中,热持续指数、暖昼日数、冷持续指数和冷昼日数4个指数在研究范围内没有发现明显地突变,夏日日数通过多种方法验证认为其在1997年有一突变点,而变化较明显的暖夜日数、霜日日数和冷夜日数的突变点分别为2001年、1994年、1998年。综合分析,河南省极端气温指数的突变主要发生在2000年前后。

3.3. 河南省极端气温指数空间变化特征分析

观察图 6、图 7 可知,在不同的地区,极端气温指数之间变化倾向率有明显的差异,而不同类型的极端气温指数的变化倾向率也有很大的差异。热持续指数变化倾向率在 $(-0.8\sim 0.7)$ d/10a 之间,夏日日数变化倾向率在 $(0.3\sim 2.8)$ d/10a 之间,暖昼日数变化倾向率在 $(-0.4\sim 2.5)$ d/10a 之间,暖夜日数变化倾向率在 $(1.2\sim 6.2)$ d/10a 之间,冷持续指数变化倾向率在 $(-1.8\sim 0.3)$ d/10a 之间,霜日日数变化倾向率在 $(-7.0\sim -0.6)$ d/10a 之间,冷昼日数变化倾向率在 $(-1.4\sim 1.1)$ d/10a 之间,冷夜日数变化倾向率在 $(-4.3\sim 0.0)$ d/10a 之间。暖夜日数、霜日日数和冷夜日数变化倾向率的范围和数值(绝对值)明显大于其他极端指数,说明相对于其他极端气温指数,区域变化对这三个极端气温指数的影响更大。

分析图 6 可以发现:热持续指数变化十分不显著,没有站点通过 $P < 0.05$ 显著性检验,中东部地区热持续指数有不明显的下降趋势,相对而言西部地区则有较为明显的上升趋势;夏日日数河南省整体呈上升趋势,但只有三门峡站、西峡站和栾川站通过了显著性检验,说明该指数的变化不是十分显著,而通过显著性检验的三个站点均分布在西部地区,说明夏日日数变化较为显著的站点主要分布在西部;暖昼日数的变化也不是十分显著,上升趋势较为显著的站点主要分布在西部地区,其中卢氏站和栾川站通过了显著性检验;暖夜日数只有卢氏站和栾川站没有通过显著性检验,其他 13 个站点均通过了显著性检验,说明暖夜日数的上升趋势十分显著。暖夜日数上升幅度大而且分布范围十分广泛,除了没有通过显著性检验的两个站点所在的区域,基本涵盖整个河南省区域范围。

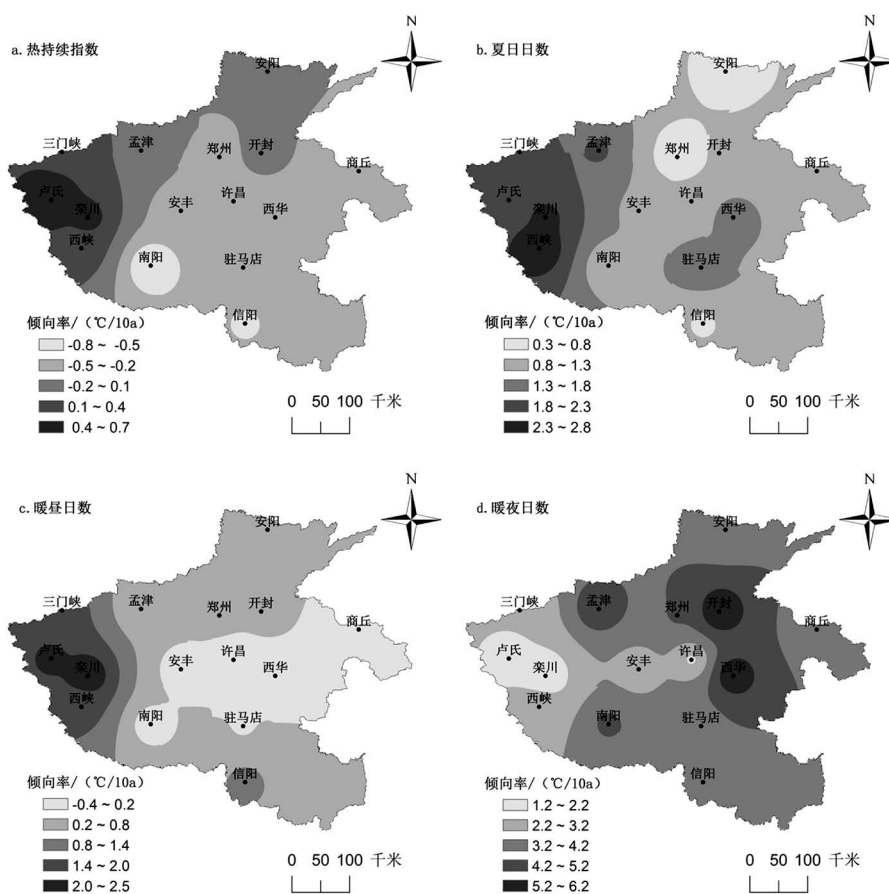


Figure 6. Spatial distribution of inter-annual variation of extreme high temperature indices in Henan from 1958 to 2012
图 6. 1958~2012 年河南省极端高温指数变化倾向率空间分布

分析图 7 可知：冷持续指数的变化不是十分显著，没有站点通过显著性检验，中部地区西华站附近的区域下降趋势最为明显；霜日日数变化倾向率的区域变化很大，而且除了卢氏站和栾川站，其他站点均通过了显著性检验，说明霜日日数的下降趋势十分明显，分析其空间分布特征，发现中部地区下降趋势最为显著；冷昼日数没有站点通过显著性检验，说明该指数变化并不显著，整体呈现不显著的下降趋势，相对而言东部和西部地区较明显，中部地区则更不明显；冷夜日数安丰站、安阳站、信阳站、栾川站、卢氏站和许昌站 6 个站没有通过显著性检验，其他 9 个站通过了显著性检验，15 个站点均呈下降趋势，其中孟津站下降趋势最为显著。

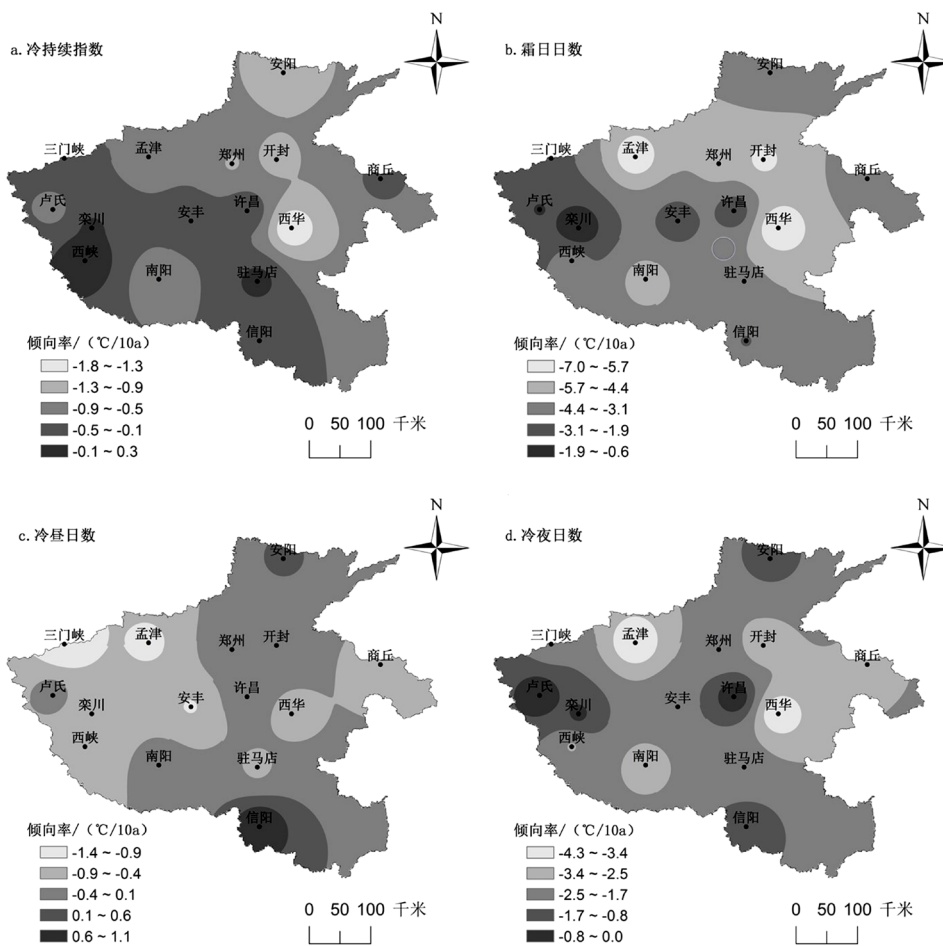


Figure 7. Spatial distribution of inter-annual variation of extreme low temperature indices in Henan from 1958 to 2012
图 7. 1958~2012 年河南省极端低温指数变化倾向率空间分布

图 6 和图 7 中，分析极端高温指数的空间分布，发现热持续指数、夏日日数和暖昼日数的变化倾向率(绝对值)均呈现西高东低的趋势，而暖夜日数则呈现东高西低的趋势，暖夜日数也是 4 个表征高温的极端气温指数中上升趋势最为显著的指数。分析极端低温指数的空间分布，发现东南地区下降趋势较为显著，尤其是西华站，在 4 个指数中均有较为明显地下降趋势。霜日日数的变化倾向率在(-7.0~-0.6) d/10a 之间，在所有极端气温指数中霜日日数的变化显著性最为突出。

海拔高度对极端气温指数也有一定的影响，因此，将研究所用站点因不同海拔高度分为 5 个范围，分别统计分析河南省不同海拔高度范围极端气温指数的变化(表 2)，以此来分析不同海拔与极端气温指数之间的关系。

表 2 的统计显示, 夏日日数随着海拔的升高而逐渐减少, 霜日日数随着海拔的升高有明显的上升, 而其它几个极端气温指数的变化与海拔高度的变化并没有较为明显地联系, 可能是因为虽然河南省整体地势呈西高东低, 但此次研究所选取的站点海拔范围较小, 导致了其他极端气温指数的海拔梯度变化不明显。

Table 2. Mean trends of extreme temperature in categorized latitude ranks in Henan from 1958 to 2012

表 2. 1958~2012 年河南省不同海拔极端气温指数均值变化

海拔范围 /m	热持续指 数/d	夏日日数/d	暖昼日数/d	暖夜日数/d	冷持续指 数/d	霜日日数/d	冷昼日数/d	冷夜日数/d
50~100	2	143	20	18	2	78	20	20
100~150	3	142	19	18	2	70	20	20
150~350	3	140	19	18	3	67	21	21
350~600	3	132	19	19	2	92	21	21
600~700	3	115	19	19	3	98	21	21

4. 结论与讨论

4.1. 结论

随着全球气候变暖趋势加剧, 极端气候事件对各个区域的农业和经济发展的影响引起了社会的广泛重视。本文利用 8 个较为典型的极端气温指数对河南省 1958~2012 年极端气温时空变化特征进行了研究, 为河南省的未来气候分析、防灾减灾、经济和农业发展提供较为专业的参考资料。主要结论如下:

1) 1958~2012 年河南省极端高温指数整体呈现上升趋势, 极端低温指数整体呈显著下降趋势, 但两者之间的变化是不对称的, 与极端高温指数的上升幅度相比, 极端低温指数的下降幅度更大。总体上, 河南省气候变暖趋势十分显著, 与全国乃至全球变暖的大背景相符。

2) 在 1958~2012 年之间, 热持续指数、暖昼日数、冷持续指数和冷昼日数没有发现明显的突变, 夏日日数通过验证认为其在 1997 年有一突变点, 而暖夜日数、霜日日数和冷夜日数的突变点分别为 2001 年、1994 年和 1998 年。综上所述, 河南省极端气温指数的突变主要发生在 2000 年前后。

3) 在不同的地区, 极端气温指数之间变化倾向率有明显的差异, 暖夜日数、霜日日数和冷夜日数变化倾向率的范围和数值(绝对值)明显大于其他极端指数, 相对于其他极端气温指数, 区域变化对这三个极端气温指数的影响更大。

4) 在此次研究选取的 8 个极端气温指数中, 河南省夏日日数和霜日日数受海拔的影响较明显, 夏日日数随着海拔的升高而逐渐减少, 霜日日数随着海拔的升高而逐渐增加。

4.2. 讨论

本文研究结果反映出极端高温指数和极端低温指数在时间变化特征上是不对称的, 与极端高温指数的上升幅度相比, 极端低温指数的下降幅度更大, 这与国内外研究所发现的“气温变化呈非对称性”的结论一致[13][14][15]。而有研究表明相对于极端高温指数, 极端低温指数更容易受到城市化的影响[16], 而有很大一部分气象观测站点设置在城市附近, 因此推断极端低温指数的变化幅度高于极端高温指数是由于城市化的影响, 具体原因有待进一步分析。

参考文献

- [1] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题[J]. 气象, 2003, 29(8): 3-6.

-
- [2] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-15.
- [3] 王琮, 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.
- [4] Rusticucc, I.M. (2012) Observed and Simulated Variability of Extreme Temperature Events over South America. *Atmospheric Research*, **106**, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.11.001>
- [5] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 1-10.
- [6] 任福民, 翟盘茂. 1951-1990 年中国极端气温变化分析[J]. 大气科学, 1998, 22(2): 217-227.
- [7] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [8] 尹义星, 王小军, 叶正伟, 焦士兴, 潘欣. 1951-2013 年江苏省极端最高和最低气温变化趋势及概率特征[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(6): 51-59.
- [9] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [10] 郭瑜. 河南省近 49 年来降水和气温变化特征研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2012: 32-36.
- [11] 高文华, 李开封, 崔豫. 1960-2014 年河南极端气温事件时空演变分析[J]. 地理科学, 2017, 37(8): 1259-1269.
- [12] Gongd, H. (2004) Extreme Climate Events in Northern China over the Last 50 Years. *Acta Geographica Sinica*, **59**, 230-238.
- [13] 朱大运, 熊康宁, 肖华. 贵州省极端气温时空变化特征分析[J]. 资源科学, 2018, 40(8): 180-191.
- [14] 张雷, 任国玉, 刘江, 等. 城市化对北京气象站极端气温指数趋势变化的影响[J]. 地球物理学报, 2011, 54(5): 1150-1159.
- [15] Qian, W.H. and Lin, X. (2004) Regional Trends in Recent Temperature Indices in China. *Climate Research*, **27**, 119-134. <https://doi.org/10.3354/cr027119>
- [16] 周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1589-1598.