

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2021.04.17

1960 – 2016 年陕西省极端气温的时空变化研究

姜雨彤¹, 郭宁¹, 马勇星¹, 武蓉¹, 张鑫¹, 柏富碧²

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 华蓥市水务局, 四川 华蓥 638600)

摘要: 针对陕西省近年来极端气温事件发生频率增加这一现象, 选用 1960 – 2016 年陕西省 34 个气象站年逐日气温资料, 运用线性倾向法、M – K 突变检验法、小波分析法研究陕西省极端气温事件的时空变化规律。结果表明: 时间上对极端气温指数的全省均值和分区均值的突变分析可知, 极端气温冷指数频率减少且数值呈现下降趋势, 极端气温暖指数频率增加且数值呈现上升趋势; 其中关中地区的指数突变的权重对于陕西省整体的贡献最大。陕西省各季度平均气温均以 11 a、16 a、29 a 为周期, 29 a 为主周期(冬季以 9 a 为主周期除外), 极端气温暖指数中热夜日数、暖昼日数和暖夜日数均存在 5 a 或 6 a 的主周期, 极端气温冷指数中冰冻日数、冷昼日数和冷夜日数均存在 27 a 的主周期, 且在陕北、关中、陕南三个分区, 极端气温冷暖频率的变化周期一致; 空间上陕西省 1960 – 2016 年气温异常的空间型表现主要为总体一致性, 极端气温暖指数普遍呈上升趋势且主要集中于关中与陕南地区; 极端气温冷指数变化普遍呈下降趋势且主要集中于关中与陕北地区; 陕西省各分区极端气温指数变化对全球气候变暖有较好的响应。

关键词: 极端气温; 时空变化; 趋势分析; M – K 突变检验; 小波分析; 陕西省

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)04-0124-08

Spatio-temporal variation of extreme temperature in Shaanxi Province during 1960 – 2016

JIANG Yutong¹, GUO Ning¹, MA Yongxing¹, WU Rong¹, ZHANG Xin¹, BAI Fubi²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Huaying Water Authority, Huaying 638600, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon of increasing frequency of extreme temperature events in Shaanxi Province in recent years, the daily temperature data of 34 meteorological stations in Shaanxi Province from 1960 to 2016 were selected, and the temporal and spatial variation law of extreme temperature events in Shaanxi Province was studied using linear trend analysis, M – K abrupt change test and wavelet analysis method. The results showed that according to the abrupt change analysis of the provincial and regional mean values of the extreme temperature indices, the frequencies of extreme cold temperature indices decreased and the values showed a downward trend, whereas the frequencies of extreme warm temperature indices increased and the values showed an upward trend. Among them, the weight of index abrupt change in Guanzhong region contributed the most to Shaanxi Province as a whole. The average temperature of each season in Shaanxi Province was at 11 a, 16 a or 29 a cycle, with 29 a as the main cycle (except that winter had 9 a as the main cycle). The main cycle of the extreme warm temperature indices of TR20, TX90p and TN90p was 5 a or 6 a, whereas that of the extreme cold temperature indices of ID0, TX10p and TN10p was 27 a, and the frequencies of extreme warm and cold temperature changes were consistent in the three regions of northern Shaanxi, Guanzhong and southern Shaanxi. Spatially, the temperature anomalies in Shaanxi Province from 1960 to 2016 showed similar patterns. The extreme warm temperature indices were generally on the rise and mainly concentrated in Guanzhong and southern

收稿日期: 2020-06-10; 修回日期: 2021-01-29

基金项目: 陕西省科技统筹创新计划项目(2016KTZDNY-01-01); 西北农林科技大学大学生创新训练项目(X201910712365)

作者简介: 姜雨彤(2000-), 女, 重庆人, 本科生, 主要研究方向为水资源可持续利用与保护。

通讯作者: 张鑫(1968-), 男, 河南浙川人, 博士, 教授, 研究方向为水文水资源与“3S”技术应用研究。

Shaanxi regions, whereas the extreme cold temperature indices generally showed a downward trend and mainly concentrated in Guanzhong and northern Shaanxi. The extreme temperature index changes in each region of Shaanxi Province responded spontaneously to global warming.

Key words: extreme temperature; spatio-temporal variation; trend analysis; M - K abrupt change test; wavelet analysis; Shaanxi Province

1 研究背景

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 第五次报告指出,近百年来全球地表持续升温且升温速率加快。预估未来全球气候变暖仍将持续,2016-2035年 全球平均地表温度与1986-2005年相比将升高 $0.3 \sim 0.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。气候变暖改变了全球热量和水分 的循环和平衡,加剧了全球水资源危机^[3]并且将会导致极端气温事件更加频繁^[2]。大量的研究表明,极端气候事件所造成的农业及社会经济损失是非常巨大的^[3-9]。

章大全等^[10]对中国的极端气温事件进行了研究,发现中国的极端高温事件发生频率的变化出现东南沿海减少,西北内陆增加的特点。而陕西正是位于我国西北的大省,气候条件复杂,并且对全球气候变化响应敏感。汪宝龙等^[11]预测了未来西北地区极端气候变化的情形,得出西北地区极端气温明显增多的结论。陶健红等^[12]使用 EOF、REOF 分析方法和小波分析方法,讨论了西北地区年平均气温异常的空间分布特征,并得出了陕西省近40年来极端最低温度呈上升趋势的结论。王朋等^[13]发现安康地区近64 a 年均气温、春秋三季平均气温及年极端最低气温呈现不同程度的上升趋势。张扬等^[14]研究了秦岭极端气温变化规律,发现其频率、强度和持续时间均表现为增加趋势。

西北地区地域广袤、地形复杂,但目前已建立的气象台站观测网络分布极不均匀,且多分布在绿洲平原区^[15],无法对整个西北区域特别是偏远荒漠地区进行精准观测,比如陕北黄土高原片区。而李红梅等^[16]、以及李美荣等^[17]研究发现陕西省极端气温对农产品具有重要影响及威胁。因此探究陕西省极端气温事件的时空变化规律具有十分重要的意义。本文拟选用8个国际通用极端气温指数,采用线性倾向法、M-K 突变分析法、小波分析法、相关分析法等多种方法对陕西省1960-2016年极端气温的时空变化进行研究,以揭示陕西省极端气温事件的发生特点与规律,为陕西省防灾减灾、应对气候变化与构建陕西省综合风险防范体系提供参考依据。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

陕西省地处中国西北内陆腹地,地势南北高、中间低,具有“两山加一川”的宏观地貌特征,从北到南可划分为陕北黄土高原、关中渭河谷地和陕南秦巴山地3个地貌区,海拔段主要分布在500~2000 m 之间。境内南北气候差异较大,陕南属北亚热带气候,关中及陕北大部分地区属暖温带气候,陕北北部长城沿线属中温带气候。年平均降水量340~1240 mm,降水南多北少,陕南为湿润区,关中为半湿润区,陕北为半干旱区^[13]。全省年平均气温 $9 \sim 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$,自南向北、自东向西递减:陕北年平均气温 $7 \sim 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$,关中年平均气温 $12 \sim 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$,陕南年平均气温 $14 \sim 16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 数据来源与研究方法

本文所用气象资料均来自于“中国气象科学数据共享服务网”(http://cdc.cma.gov.cn)提供的地面日值数据集,共36个气象站点,如图1所示。

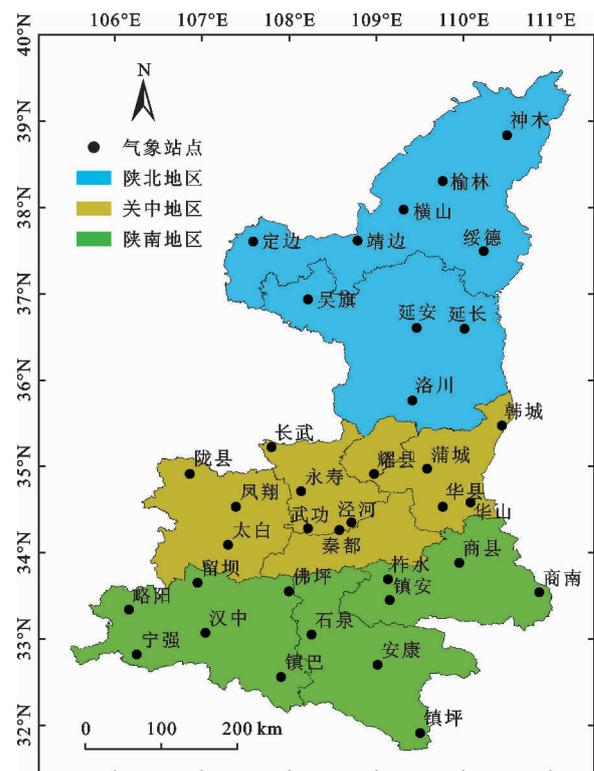


图1 陕西省气象站点分布图

利用 1960 - 2016 年的气温日最高值、日最低值、日平均值,运用 R 软件的 RCLimDex 程序对数据进行进一步处理,检查数据的合理性,对不合理的数值按缺测处理,以提高数据质量。运用 R 软件计算出 8 个极端气温指数(如表 1)。本文将 8 个极端气温指数分为极端气温暖指数与极端气温冷指数两类,采用 M - K 方法进行序列突变分析, Morlet 复小波的方法检测极端气温的周期规律,相关分析法分析陕西省陕北、关中、陕南三个分区的极端气温指标对气温变化的响应。

3 结果与分析

3.1 极端气温的事件变化趋势

3.1.1 极端气温指数线性倾向分析 考虑到本次研究所采用的方法对时间连续性与最长时段性等标准的要求,剔除 36 个气象站点中缺测较多的 2 个气象站点,保留系列完整并通过检测的剩余 34 个站点,对区域的极端气温指数平均值进行了时间变化趋势研究,相关结果如表 2 陕西省极端气温指数变化趋势表所示。

表 1 8 个极端温度指数

分类	指标	指数名称	指数定义
极端气温暖指数	TR20	热夜日数	年内日最低气温大于 20℃ 的日数
	TX90p	暖昼日数	年日最高气温大于 90% 分位数值的日数
	TN90p	暖夜日数	年日最低气温大于 90% 分位数值的日数
	WSDI	暖持续日数	日最高气温大于 90% 分位数值的连续 6 天的日数
极端气温冷指数	ID0	冰冻日数	年内日最高温度低于 0℃ 的日数
	TX10p	冷昼日数	年日最高气温小于 10% 分位数值的日数
	TN10p	冷夜日数	年日最低气温小于 10% 分位数值的日数
	CSDI	冷持续日数	年日最低气温小于 10% 分位数值的连续 6 天的日数

表 2 陕西省极端气温指数特征值变化趋势表

地区	指数	指标	均值	最大值	最小值	变化速率	相关系数	趋势
陕北地区	极端气温暖指数	TN90p	18.26	42.02	7.17	0.317	0.687**	上升
		TX90p	18.28	42.88	4.36	0.261	0.484**	上升
		TR20	10.97	26.50	2.38	0.140	0.404**	上升
	极端气温冷指数	WSDI	4.72	31.25	0.00	0.098	0.237	上升
		TN10p	18.00	34.31	5.84	-0.226	0.552**	下降
		TX10p	18.68	39.04	7.48	-0.151	0.415**	下降
		ID0	46.36	79.57	23.43	-0.257	0.394**	下降
关中地区	极端气温暖指数	CSDI	2.44	14.00	0.00	-0.064	0.301*	下降
		TN90p	18.05	37.28	7.21	0.273	0.663**	上升
		TX90p	18.23	39.72	6.35	0.186	0.401**	上升
	极端气温冷指数	TR20	31.88	53.15	19.17	0.211	0.461**	上升
		WSDI	4.57	28.92	0.00	0.109	0.268*	上升
		TN10p	18.04	31.38	5.50	-0.240	0.648**	下降
		TX10p	18.86	34.03	6.08	-0.198	0.498**	下降
陕南地区	极端气温暖指数	ID0	16.37	35.58	6.25	-0.168	0.388**	下降
		CSDI	1.91	9.08	0.00	-0.051	0.383**	下降
		TN90p	18.39	37.00	8.68	0.248	0.645**	上升
	极端气温冷指数	TX90p	18.64	45.55	6.59	0.245	0.491**	上升
		TR20	38.85	61.23	26.08	0.133	0.284*	上升
		WSDI	4.79	27.46	0.00	0.097	0.274*	上升
		TN10p	18.14	30.61	5.70	-0.192	0.606**	下降
极端气温冷指数	TX10p	18.97	39.67	5.97	-0.196	0.471**	下降	
	ID0	2.05	11.46	0.08	-0.054	0.406**	下降	
	CSDI	1.75	10.85	0.00	-0.055	0.359**	下降	

注:表中“*”表示通过 0.05 的显著性检验,“**”表示通过 0.01 的显著性检验。

由表 2 可看出陕北、关中以及陕南地区的极端气温暖指数全部呈现上升的趋势,极端气温冷指数全部呈下降趋势。

极端气温频率的变化情况通常用极端气温指数来反应,包括冰冻日数、热夜日数、暖(冷)昼日数和暖(冷)夜日数等,其中热夜日数、暖昼日数和暖夜日数等表征极端气温变暖的指数整体呈上升趋势,表明异常偏暖的极端气温事件发生次数增多;冰冻日数、冷昼日数和冷夜日数等整体呈下降趋势,表明异常偏冷的极端气温事件的频率在减少。并且在陕西省偏冷的极端气温降幅与偏暖的极端气温增幅相差不大。

冷暖持续日数常用来反映极端气温持续时间的变化。冷持续日数整体呈下降趋势,暖持续日数整体呈上升趋势,表明 1960 - 2016 年陕西省极端气温的持续时间呈增加态势。

3.1.2 极端气温指数突变分析

(1) 全省范围指数年平均值突变规律。M - K 检验结果表明,1960 - 2016 年陕西省 8 个指数年平均值中,有 5 个指数在变化过程发生过突变(图 2),突变规律如表 3 所示。极端气温暖指数均由一个相对偏冷期跃变为一个相对偏暖期,相对偏少期跃变为一个相对偏多期;极端气温冷指数均由一个相对偏冷期跃变为一个相对偏暖期,一个相对偏多期跃变为一个相对偏少期,表明陕西省有极端变暖的趋势。以上指数这种增减趋势均超过 0.05 显著性水平临界线,表明陕西极端气温指数的变化趋势是十分显著的。

表 3 陕西省范围极端气温指数突变规律

指数	指标	发生突变年份	突变方向
极端气温	TX90p	1994	相对偏冷期跃变为相对偏暖期,相
暖指数	TN90p	1997	对偏少期跃变为相对偏多期
极端气温冷指数	TX10p	2004	相对偏冷期跃变为相对偏暖期,相对偏多期跃变为相对偏少期
	TN10p	1996	
	CSDI	1987	

(2) 分区范围指数年平均值突变规律。极端气温暖指数中暖昼日数、暖夜日数、热夜日数在陕北、关中和陕南地区都有一定的突变特征且满足 0.05 显著性检验,突变后均呈现上升趋势,暖持续日数的突变规律则不明显。极端气温冷指数中冷夜日数、冰冻日数分别在陕北、关中和陕南地区表现出突变,

均呈现突变后的下降趋势,并且满足 0.05 显著性检验;冷持续日数也具有显著的突变趋势,表现为突变后的上升规律,冷昼日数的突变规律不明显。突变年份统计见表 4。

对极端气温指数的全省均值和分区均值的突变分析可知,全省范围的指数均值削弱了指数的突变规律,分区研究中部分指数表现出了突变规律而整体突变则不显著。由两种分析的突变年份比较可知,关中地区的突变年份能很好地与全省总体突变保持相对一致性,由此可看出关中地区的指数突变的权重贡献最大。

表 4 陕西省分区范围极端气温指数突变年份

指数	指标	陕北地区	关中地区	陕南地区
极端气温暖指数	TX90p	1991	1994	1995
	TN90p	1994	1996	2001
	TR20	1995	2003	2005
极端气温冷指数	WSDI	-	-	-
	TX10p	-	-	-
	TN10p	1994	1996	2000
	ID0	1990	1992	1986
	CSDI	1976	1980	1966

注:“-”表示无显著突变年份。

3.1.3 周期分析

(1) 不同时间尺度平均气温的周期分析。利用小波分析对 1960 - 2016 年陕西省不同时间尺度平均气温进行周期分析(如表 5)得出:各季度平均气温以及年均温均以 11 a、16 a、29 a 为周期,29 a 为主周期(冬季除外,以 9 a 为主周期),且在 29 a 时间尺度上都经历了暖、冷、暖的闭合阶段,1993、2011 年形成两个平均气温高值中心,2000、2004、2006、2009 年形成两个平均气温低值中心。

表 5 陕西省不同时间尺度平均气温周期分析表

时间尺度	周期	主周期
春季	11a、16a、29a	29a
夏季	6a、11a、16a、29a	29a
秋季	6a、11a、15a、29a	29a
冬季	4a、9a、15a、20a	9a
全年	6a、11a、16a、29a	29a

(2) 分区极端气温指数周期分析。运用小波分析法同时对 1960 - 2016 年陕西省 8 个极端气温指数进行分析,可以得出各种指数的变化周期,如表 6 所示。

极端气温暖指数中热夜日数、暖昼日数和暖夜日数均存在 5 a 或 6 a 的主周期;极端气温冷指数中冰冻日数、冷昼日数和冷夜日数均存在 27 a 的主周期。且在陕北、关中、陕南三个分区,极端气温冷暖

频率的变化周期一致。表征极端气温持续时间的暖持续日数存在 27 a 的主周期,而各分区的冷持续日数的主周期不一致,表明陕北、关中、陕南三个分区的极端冷气温的持续时间不一致。

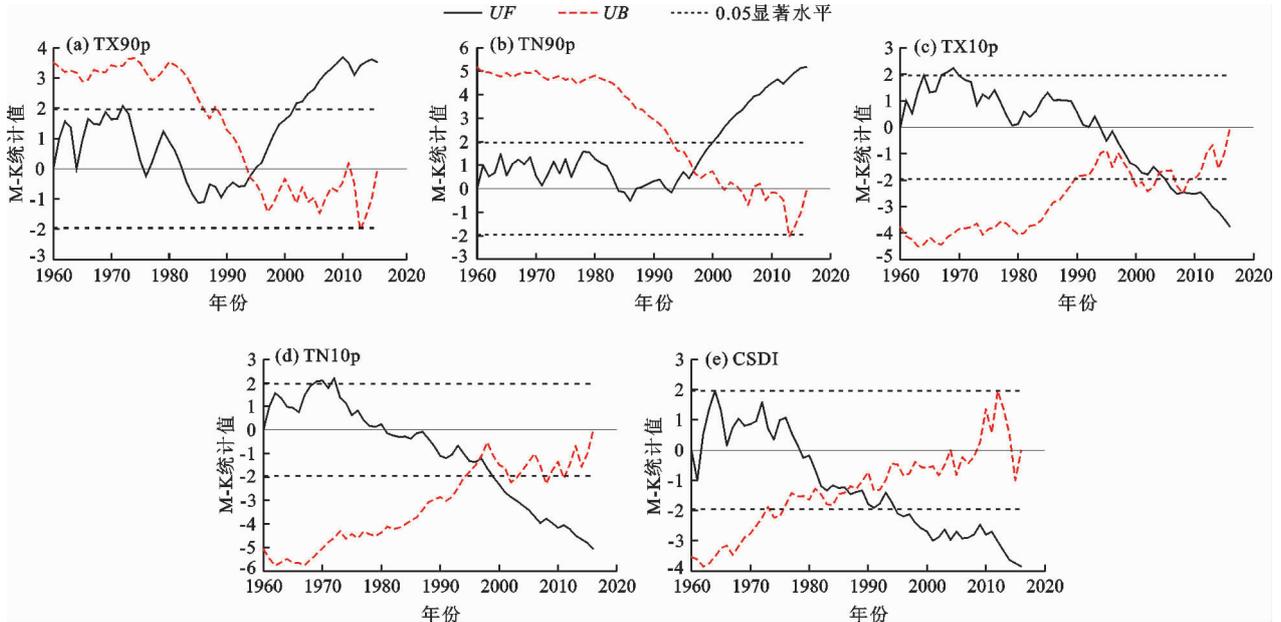


图2 1960 - 2016年陕西省极端气温指数的M-K突变分析

表6 陕西省分区极端气温指数周期分析表

极端气温暖指数								
地区	TX90p		TN90p		TR20		WSDI	
	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a
陕北	6、14、24	6	6、14	6	5、8	5	8、12、27	27
关中	6、13	6	6、14	6	5、14	5	6、8、13、27	27
陕南	6、14、24	6	6、17	6	5、14	5	7、14、26	27
极端气温冷指数								
地区	TX10p		TN10p		IDO		CSDI	
	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a	周期/a	主周期/a
陕北	6、14、27	27	3、13、27	27	6、8、14、27	27	3、6、13	6
关中	6、10、15、27	27	5、8、27	27	6、27	27	4、6、16	16
陕南	6、10、15、27	27	8、27	27	7、25	7	6、14、23	14

3.2 极端气温的空间变化趋势

3.2.1 极端气温暖指数 陕西省近 60 a 极端气温暖指数普遍呈上升趋势且主要集中于关中与陕南地区,如图 3 所示。

暖昼日数变化见图 3(a),表现为整体的上升趋势,增幅为 0.62 ~ 6.93 d/10a,陕北地区、关中与陕南中西部地区上升变化较明显,其中上升率最大值 6.93 d/10a 出现于陕南的镇安地区。

暖夜日数变化见图 3(b),在各站点均呈增长趋势,增幅为 0.48 ~ 7.37 d/10a,关中上升趋势最明显,陕北及陕南地区大部分增幅较小,也有部分地区变化较为明显。其中关中地区的泾河站上升率达到 7.37 d/10a,陕南和陕北的佛坪与靖边地区变化也较大,达到 6.59、5.77 d/10a。

热夜日数在除商县、商南外的其余站点变化见图 3(c),都表现为上升趋势,增幅为 0.01 ~ 13.25

d/10a, 关中及陕南北部增幅较大, 其中泾河站增幅达到 13.25 d/10a。

暖持续日数变化见图 3(d), 除泾河、镇坪站外, 其余均呈上升趋势, 上升率较大的站点集中在关中地区, 其余地区普遍增幅不大, 其中陕南的镇安地区达到最大增幅 2.26 d/10a, 70.59% 的站点通过了 0.05 的显著性检验。

3.2.2 极端气温冷指数 1960 - 2016 年陕西极端气温冷指数普遍呈下降趋势, 如图 4 所示。

冷昼日数变化见图 4(a), 均呈现为下降趋势, 减幅为 0.75 ~ 5.94 d/10a, 减幅最大的是柞水地区。

冷夜日数变化见图 4(b), 除位于陕南地区的商县、商南站分别以 0.36、0.2 d/10a 的速度增长外,

其他站点以 0.02 ~ 5.13 d/10a 的速度呈减小趋势, 关中和陕南地区减小幅度较为明显, 其中关中蒲城地区达到 4.48 d/10a。陕北部分地区变化也较为明显, 最大值 5.13 d/10a 在靖边地区。

各站冰冻日数变化见图 4(c), 陕西省各分区表现为一致的减小趋势, 减幅为 0.03 ~ 3.74 d/10a, 在陕北和关中地区表现明显。陕北地区的最大下降率为 3.68 d/10a, 出现在靖边地区; 关中地区的最大下降率为 3.74 d/10a, 出现在泾河地区。

冷持续日数变化见图 4(d), 除华山、宁强、石泉站外, 其余均呈下降趋势, 其中关中的泾河站下降率最大, 为 9.55 d/10a, 58.82% 的站点通过了 0.05 的显著性检验。

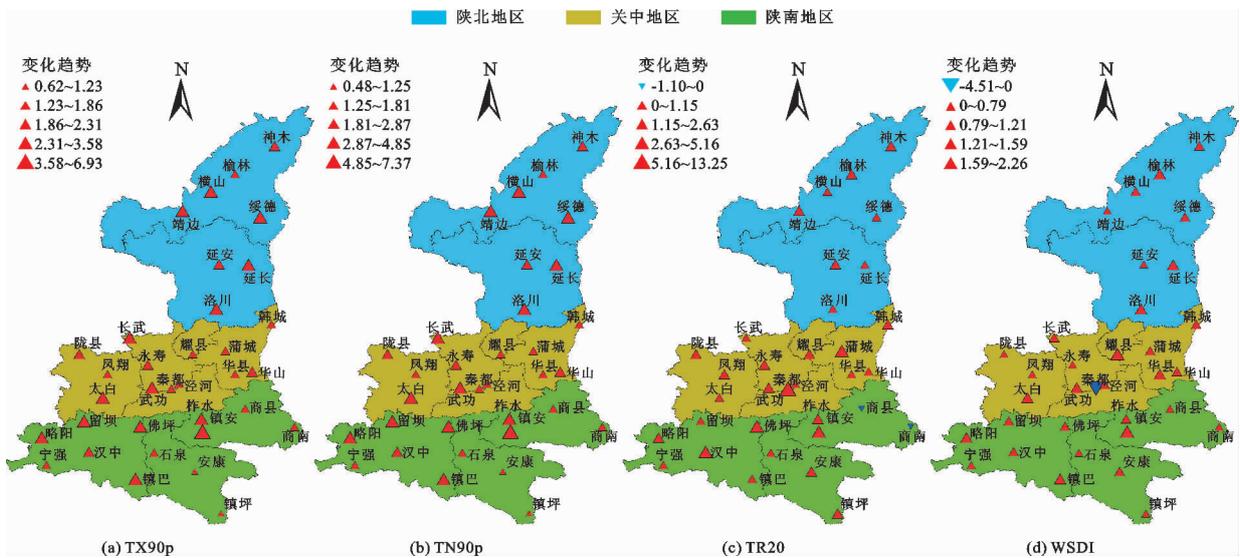


图 3 1960 - 2016 年陕西省极端气温暖指数变化趋势的空间分布

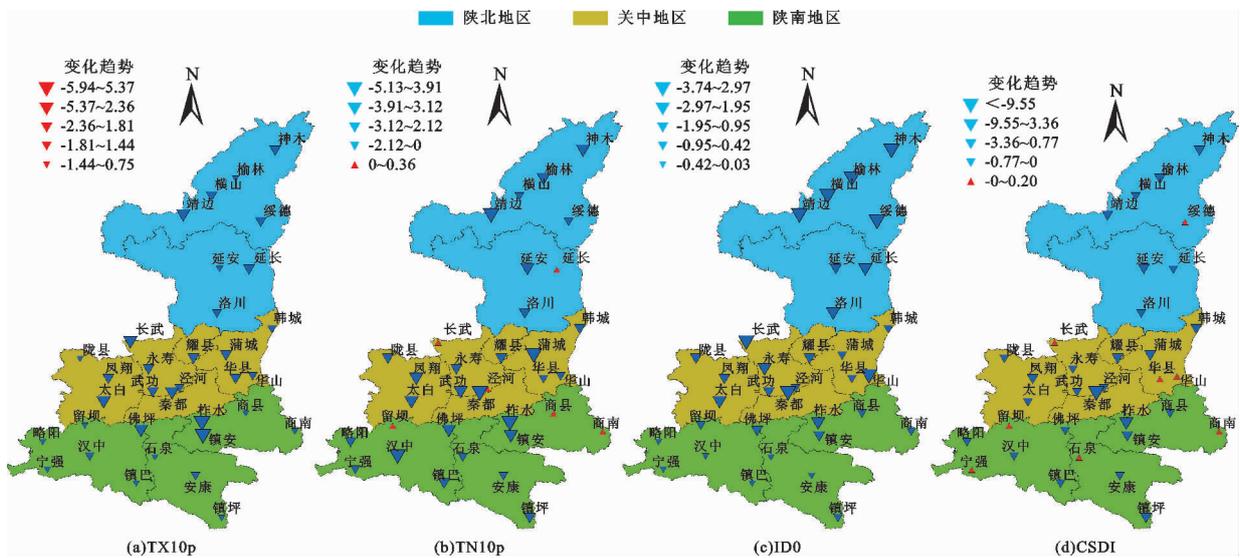


图 4 1960 - 2016 年陕西省极端气温冷指数变化趋势的空间分布

3.3 特殊站点极端气温变化

关中地区泾河站的变暖趋势非常明显,极端气温指数中以暖夜日数、暖昼日数、热夜日数的增幅为最大,极端气温冷指数中以冰冻日数的减幅为最大。泾河站位于秦岭北坡,紧邻西安与咸阳的大型城市群,受人为影响大,主要体现在城市化、土地利用变化、温室气体排放等方面,有研究表明,城市热

岛效应对区域平均气温有明显影响^[23]。因此关中地区是陕西省极端气温变化的敏感区域。

3.4 陕西各地区极端气温指数与区域气候变化的相关分析

为了解陕西极端气温指数变化与区域气温变暖的关系,计算了1960–2016年平均气温与各极端气温指数的相关系数(结果见表7)。

表7 陕西各地区极端气温指数与区域气候变化的相关系数表

地区	TX90P	TN90P	TR20	WSDI	TX10P	TN10P	CSDI	IDO
陕北	0.79**	0.83*	0.53**	0.55**	-0.76**	-0.78**	-0.52**	-0.76**
关中	0.25	0.32*	0.26*	0.23	-0.33*	-0.53**	-0.29*	-0.31*
陕南	0.78**	0.72**	0.55**	0.56**	-0.80**	-0.67**	-0.38**	-0.49**

注:表中“*”表示通过0.05的显著性检验,“**”表示通过0.005的显著性检验

由表7可知,陕北地区极端气温指数与年均温的相关性较好,相关系数绝对值均达到0.5以上;关中地区极端气温指数与气温的相关性普遍较低,其中冷夜日数相关系数绝对值最大达到0.53;陕南地区指数与年均温的相关性很好,除冷冻日数外相关系数绝对值均达到0.5以上,冷昼日数相关系数绝对值最大达到0.80。表明陕西各地区极端气温指数变化对全球气候变暖有较好的响应。

4 讨论

陕西省1960–2016年极端气候变化主要表现为:冷事件频率减少,暖事件频率增加上升,与全国变化呈现一定程度的非对称性一致。西北地区气候观测点密度较低,因此分析极端气温变化时空分布规律并且探究其影响因素具有非常重要的作用。

极端变暖趋势是一把“双刃剑”。气温升高可使农作物全生长期延长,干物质积累^[26],从而可提高农作物产量,利于当地农业发展。但气温上升同时也会导致植物蒸腾作用、土壤及水面蒸发量增加,农业等用水量的提高以及极端气温事件增加。而陕西省位于我国西北部,年降水量有限,尤其是陕北地区位于黄土高原,有学者研究发现黄土高原多年潜在蒸发量正呈非显著性增加趋势^[27],气候变暖以及极端气温事件增加将会增加陕西省用水负担以及农业干旱的风险。而冷事件频率下降,有利于陕北等气候偏冷的地区的作物成熟和收获。但同时还有助于病虫越冬,会加剧农作物病虫害的危险性。综合考虑极端气温变化的利弊,可为决策部门进行农业种植结构的调整提供依据。

极端气温事件是多因素共同作用的结果,如

ENSO^[28]、太阳活动、火山爆发^[29]等都会影响极端气温的变化,因此在未来研究中,一定要加强对极端气温事件的监测,总结陕西境内极端气温事件的致灾规律,构建模型模拟预测未来发生趋势,精准防护以构建陕西省综合风险防范体系。

5 结论

通过对陕西省1960–2016年期间的8个极端气温指数进行线性倾向估计、空间变化趋势、气温M–K突变检验和小波周期分析,得出以下结论:

(1)时间上对指数的全省均值和分区均值的突变分析可知,8个极端气温指数普遍呈现显著的变化趋势,其中极端气温冷指数均呈现下降趋势,极端气温暖指数均呈现上升趋势。极端气温冷指数由相对偏多期跃变为相对偏少期,极端气温暖指数由相对偏少期跃变为相对偏多期。各季度平均气温均存在11 a、16 a、29 a周期,其中春、夏、秋主周期为29 a,且在29 a时间尺度上都经历了暖、冷、暖的闭合阶段,冬季主周期为9 a。极端气温暖指数中热夜日数、暖昼日数和暖夜日数均存在5 a或6 a的主周期,极端气温冷指数中冰冻日数、冷昼日数和冷夜日数均存在27 a的主周期,且在陕北、关中、陕南三个分区,极端气温冷暖频率的变化周期一致。

(2)陕西省近1960–2016极端气温暖指数普遍呈上升趋势且主要集中于关中与陕南地区;极端气温冷指数变化普遍呈下降趋势,主要集中于关中与陕北地区。总的来说陕西地区近1960–2016年来年气温异常的空间型表现主要为总体一致性且一致性程度加强。

(3)陕西各地区极端气温指数变化对全球气候

变暖有较好的响应,有利于据此指导陕西省有关部门制定防险避灾措施。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 黄鹤楼,丁焯毅,涂小萍,等. 城市化对宁波地区极端气温及人体舒适度的影响[J]. 干旱气象,2020,38(3): 396-403.
- [3] 金银雪. 全球变暖下的水资源危机[J]. 生态经济, 2020,36(6):5-8.
- [4] 秦大河,STOCKER T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展,2014,10(1): 1-6.
- [5] 孙杨,张雪芹,郑度,等. 气候变暖对西北干旱区农业气候资源的影响[J]. 自然资源学报,2010,25(7): 1153-1162.
- [6] 李大驰,张鑫,常浩浩,等. 气候变化背景下榆林市参考作物需水量多时间尺度特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2019,38(5):100-106.
- [7] 许迪,李益农,龚时宏,等. 气候变化对农业水管理的影响及应对策略研究[J]. 农业工程学报,2019,35(14): 79-89.
- [8] 全球气候变化影响深远 减排要求紧迫[J]. 中国环境科学,2014,34(4):1058.
- [9] 王晓冬. 气候变化对我国农业经济发展的影响与对策研究[J]. 农业经济,2017(2):84-85.
- [10] 章大全,钱忠华. 利用中值检测方法研究近50年中国极端气温变化趋势[J]. 物理学报,2008,57(7): 4634-4640.
- [11] 汪宝龙,张明军,魏军林,等. 西北地区近50a气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报,2012,27(10):1720-1733.
- [12] 陶健红,王遂缠,王宝鉴. 中国西北地区气温异常的特征分析[J]. 干旱区研究,2007,24(4):510-515.
- [13] 王朋,张蓓蓓. 安康气象站1953-2016年气温变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(6):94-99.
- [14] 张扬,白红英,苏凯,等. 1960-2013年秦岭陕西段南北坡极端气温变化空间差异[J]. 地理学报,2018,73(7):1296-1308.
- [15] 陈亚宁,王怀军,王志成,等. 西北干旱区极端气候水文事件特征分析[J]. 干旱区地理,2017,40(1):1-9.
- [16] 李红梅,王宇亮,雷向杰,等. 陕西省不同农业种植区热量资源的变化特征[J]. 中国农业气象,2015,36(6): 653-665.
- [17] 李美荣,李星敏,柏秦凤,等. 苹果极端气象灾害气温极值的分布及重现期预测[J]. 干旱地区农业研究, 2012,30(3):257-261.
- [18] 李璐,巨天珍,高海燕,等. 陕西省甲醛柱浓度时空变化及影响因子分析[J]. 中国环境科学,2020,40(7): 2802-2810.
- [19] 刘晓君,刘浪. 基于主成分分析的陕西省水资源承载力综合评价研究[J]. 数学的实践与认识,2020,50(1):55-62.
- [20] 宋伟,韩赭,刘琳. 山水林田湖草生态问题系统诊断与保护修复综合分区研究——以陕西省为例[J]. 生态学报,2019,39(23):8975-8989.
- [21] 李登科,王钊. 退耕还林后陕西省植被覆盖度变化及其对气候的响应[J]. 生态学杂志,2020,39(1):1-10.
- [22] 卫新东,王筛妮,员学锋,等. 陕西省耕地质量时空变化特征及其分异规律[J]. 农业工程学报,2018,34(3):240-248.
- [23] 聂安祺,陈星,冯志刚. 中国三大城市带城市化气候效应的检测与对比[J]. 气象科学,2011,31(4):372-383.
- [24] 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.
- [25] 谢志清,杜银,曾燕,等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响[J]. 地理学报,2007,62(7):717-727.
- [26] 王雪皎. 气候变化对新疆棉花物候、产量和品质的影响与适应措施[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [27] 韩盟伟,赵广举,穆兴民,等. 黄土高原1959-2015年潜在蒸发量的时空变化[J]. 干旱区地理,2017,40(5):997-1004.
- [28] 汪子琪,张文君,耿新. 两类ENSO对中国北方冬季平均气温和极端低温的不同影响[J]. 气象学报,2017, 75(4):564-580.
- [29] 陈幸荣,张志华,蔡怡. 近百年气候变化及可能的自然影响因素研究进展[J]. 海洋预报,2013,30(1):78-85.