

山西近 40a 地表温度变化特征分析¹

范秀平¹, 戴翠贤², 岳改慧¹, 贾斯³, 苏睿杰¹

(1. 山西省气象信息中心, 山西 太原 030006; 2. 河南省三门峡市气象局, 河南 三门峡 472000; 3. 河南省长垣市气象局 河南 新乡 453400)

摘要: 本文选取 1981-2020 年山西 108 个台站 40 年地表温度数据利用气候倾向率、突变检验、小波分析等方法分析地表温度在时间序列上变化特点和空间分布特征。分析发现: 山西近 40a 地表温度呈明显上升趋势, 上升速率为 $0.499^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。全省地表温度分布呈现“南高北低”, 高纬地区明显低于低纬地区, 高海拔地区明显低于低海拔地区; 吕梁山脉走向对地温分布影响明显, 西北部升温速率要快于东南部。山西地表温度同位相变化站主导地位, 最大概率是趋于整体一致的偏高或偏低变化。地表温度在 1999 年后出现了显著增温, 近 40a 来存在 18a、12a、6a 左右的周期震荡, 2019 年后等值线没有闭合, 预示未来一段时间地表温度存在有望回落的迹象。

关键字: 山西; 地表温度; 时空变化

0 引言

地表温度的变化趋势、变化频率对区域气候、农业生产及土壤养分变化有着重要的影响^[1]。地表温度变化不仅会影响作物的适播期及后期的生长发育、经济作物的气候产量^[2, 3], 还会对酿酒发酵、输电线路正常运转等产生重大影响^[4, 5]。诸多学者对本省或者区域地温变化时空特征进行多尺度分析表明地温的变化往往与降水、风等多个气象要素相关^[6, 16-19]。除了自然因素, 城市环境、经济发展和基础设施的改变也会对当地地温变化产生影响, 地温对本地建筑施工、冻土区域工程等的影响不容忽视^[7]。城市扩张、路面铺装等导致的下垫面性质改变会显著提高地表温度, 高山草甸和薄雪覆盖又会延缓地面变暖, 森林生态系统在生产过程中对地表温度具有降温的作用, 地温还可作为冻土类型划分与冻土退化指示的指标^[8-16]。关于地表温度变化规律及其特征的研究中, 覆盖全国区域的研究有乔丽^[17]等利用 1961-2012 年全国 363 个台站逐月平均地表温度资料做了时空变化特征分析; 王佳琳^[18]等利用中国 581 个气象站资料研究分析了 1961-2010 年地表温度时空变化、区域分异以及季节分异特征。

山西位于东经 $110^{\circ} 15' - 114^{\circ} 33'$ 、北纬 $34^{\circ} 34' - 40^{\circ} 43'$ 之间, 地处

¹第一作者简介: 范秀平 (1974-), 女, 山西万荣人。资助项目: 山西省气象局面上项目 (SXKMSQH20226328)

华北平原以西、黄土高原东部边缘地带，省界呈略由东北向西南倾斜的平行四边形，中部为盆地，东西两侧为山脉。全省主要粮食作物有小麦、谷子、高粱、豆类和薯类；经济作物有苹果、梨、胡麻、花生等。大同、太原、忻州、上党、临汾和运城等盆地是山西主要农作区。

山西本省目前关于地表温度的研究不多，刘强军^[19]等利用 1976–2017 年山西晋城市辖区内 5 站地温资料研究分析了其气候空间特征和突变特征；蔡霞^[20]等则着重寻求崩塌滑坡的春季地温指标，还有同仁在研究大同市地温变化与农业种植结构的变化关系。因此开展全省近 40 年地表温度变化特征及时空分析、研究地表温度变化规律对于助力山西转型发展、促进粮食生产安全、建设海绵城市具有十分重要的意义。

1 资料与方法

所用来源于山西省气象信息中心质控后的 1981–2020 年全省 108 个国家级气象站地温统计资料。采用的分析方法主要有气候倾向率、突变检验、小波分析等。

2 分析结果

2.1 时间分布特征

2.1.1 年变化

山西 1981–2020 年平均地表温度在 10.7℃（1984 年）—13.6℃（2019 年）之间，平均为 12.2℃（图 1），40a 平均值比气候平均值（1991–2020 年）12.5℃偏低 0.3℃。这 40a 中，≤气候平均值的有 23a，且有 14a 出现在上世纪；>气候平均值的有 17a，但上世纪仅有 3a（1997–1999 年）高于气候平均值。最大正距平 1.1℃，出现在 2019 年；最大负距平 -1.7℃，出现在 1984 年。近 40a 山西地表温度平均值呈明显上升趋势，上升速率为 0.499℃/10a。

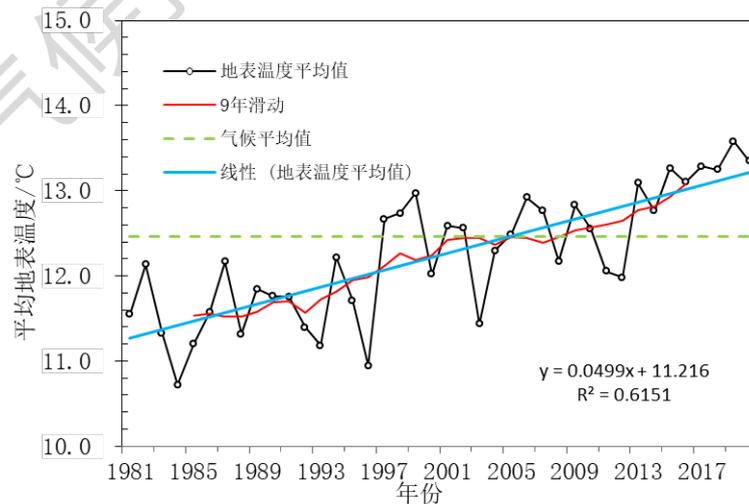


图 1 山西 1981–2020 年平均地表温度年际变化曲线

近 40a 年极端最高地表温度平均值在 60.2℃（2003 年）—67.5℃（2010 年）之间，平均为 63.4℃，气候变化倾向率为 0.939℃/10a。年极端最高地表温度极

值在 66.1℃—76.1℃之间，平均为 70.3℃。年极端最高值多出现在山西南部的运城、临汾地区。

年极端最低地表温度平均值在-27.1℃（2002年）—-16.9℃（2017年）之间，平均为-22.5℃。气候变化倾向率为 1.298℃/10a。极端最低地表温度极值在-40.3℃—-26.2℃之间，平均为-33.6℃。年极端最低地温值多出现在山西西北部大同、朔州、忻州一带。

2.1.2 月、季变化

山西地表温度平均值、极端最高地表温度平均值、极端最低地表温度平均值呈现几乎同样的月变化趋势，分别在-5.8℃—27.8℃、17.7℃—61.7℃、-21.1℃—12.4℃之间。地表温度平均值和极端最低地表温度平均值 7 月最高、1 月最低，极端最高地表温度平均值 6 月最高、12 月最低。

地表温度平均值冬季-3.7℃，春季 14.8℃，夏季 26.6℃，秋季 11.3℃。冬季各月均低于 0℃，5-8 月均高于 22℃。各月平均值变化均呈现上升趋势，变化幅度最大为 3 月，气候变化倾向率为 1.1℃/10a，7-8 月上升幅度最小，气候变化倾向率均为 0.2℃/10a。

极端最高地表温度平均值 12、1 月低于 20.0℃，5-8 月均高于 55℃。冬季 21.7℃，春季 50.6℃，夏季 59.8℃，秋季 39.2℃。极端最低地表温度平均值 1-4 月、10-12 月均低于 0℃，7-8 月高于 10℃。冬季-19.4℃，春季-5.5℃，夏季 10.0℃，秋季-4.5℃。1 月、10-12 月极端最高地表温度平均值与极端最低地表温度平均值的差值小于 45℃，4-5 月的差值则大于 55℃。

2.2 空间分布特征

2.2.1 空间分布

山西各地近 40a 地表温度均值在 7.1℃—16.6℃之间，由南向北次第减小，高纬地区明显低于低纬地区，高海拔地区明显低于低海拔地区。吕梁山脉走向对地温分布影响明显，西北部明显低于东南部，同一纬度则盆地地区高于山地。全省较大值出现在山西南部临猗、运城、永济一带，较小值出现在山西北部右玉、神池、平鲁一带。

极端最高地表温度平均值在 58.1℃—67.0℃之间，最小值位于交口，最大值位于永济。运城大部及临汾盆地地区是全省历年地表高温极值频繁出现的地方。极端最低地表温度平均值在-31.2℃—-13.3℃之间，最小值位于右玉，最大值位于平陆。处于山西西北部的阳高、偏关、山阴一带依然是全省历年地表低温极值出现的地方。

2.2.2 趋势系数、时间相关系数及显著性分析

山西近 40a 地表温度平均值上升幅度最小为 0.185℃/10a，出现在山西南部大宁县；上升幅度最大为 0.914℃/10a，出现在山西北部原平市。山西西北部升

温速率要相对偏快，临汾西部山区、东部太行山一线与河北交界地带升温速率相对较慢。51%的台站上升速率大于全省上升速率均值。40a 地温均值与时间的相关系数在 0.33—0.90 之间，只有 5 站相关系数低于 0.4，时间相关系数高值区与趋势系数高值区基本重合（图 2），反映出山西地表温度在全球气候变暖背景下升温速率与时间变化推移的基本一致性。

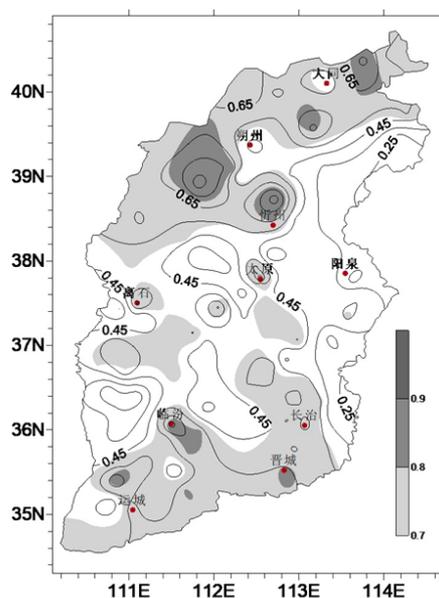


图 2 全省地表温度均值趋势系数与时间系数（阴影）叠加图

2.3 小波分析

山西近 40a 来平均地温在不同时间尺度上表现出周期震荡（图 3），存在 3 类尺度的周期变化规律。其中，准 18a 周期震荡非常显著，表现为低→高→低→高的循环交替，2019 年后等值线没有闭合，也预示未来一段时间地表温度存在有望回落的迹象。在 12a 左右的周期震荡中，存在高→低→高→低→高→低的循环变化，1985 年以前地温偏高，1986-1991 年地温偏低，1992-2000 年偏高，2001-2008 年偏低，2009-2015 年偏高；在 6a 左右的小尺度周期震荡则经历了高→低→高→低等 11 个循环交替，且小周期震荡包含在 12a、18a 的震荡周期中。整体来看，2000 年前后小波系数等值线相对比较密集，这也对应说明这一时期山西地表温度震荡比较激烈，处于一个整体调整阶段。

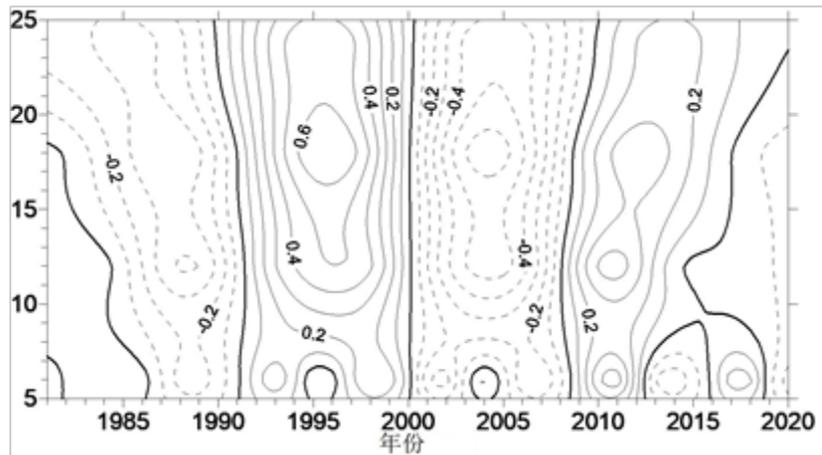


图3 小波变换图

2.4 突变检验

用 Mann-Kendall 检验方法将山西年平均地温数值进行突变检验, 显著性水平 $\alpha=0.05$, 对应的临界值 $U_{\alpha}=\pm 1.96$ 。由图 4 可看出, UF、UB 交点在信度线之外, 无法判断突变点的存在。但分析 UF 线走势, 从 1987 年开始 $UF>0$, 并在 1999 年超过了显著性水平线, 说明 1999 年之后山西地表温度趋向于更明显的升温趋势。

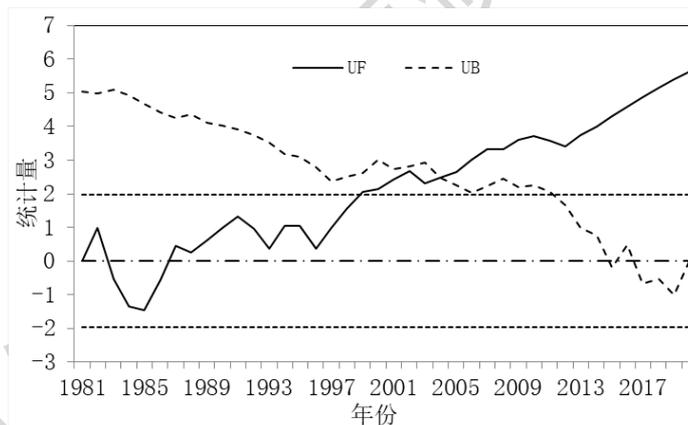


图4 山西(1981-2020年)年地表温度 Mann-Kendall 检测曲线

3.5 经验正交函数分解

对山西 108 个站点 1981-2020 年 40 年地表温度的标准化资料进行经验正交函数分解 (EOF)。第一特征向量的相对空间函数全省均为正值, 属于同位相, 变化范围在 0.07—0.1 之间, 方差贡献率为 79.4%。即山西地表温度同位相变化站主导地位, 反映了全省地表温度在大多数年份具有一致变化性, 整体要么偏高、要么偏低。 EOF 第一特征向量所对应的时间系数反映出山西地表温度明显的年际变化, 全省地表温度一致偏高或偏低的概率相当, 反映出山西地表温度变化的最大概率是趋于整体一致的偏高或偏低变化。同时, 该曲线变化与近 40 年山西地表温度均值年变化曲线十分相似, 说明第一特征向量基本反映了山西近 40 年的地表温度年际变化特征。

第二特征向量大致表现为山西南部大部、西北部与山西中北部的反相位，方差贡献率为 3.8%。相比第一特征向量，方差贡献率迅速减小。第三特征向量大致表现为山西东南大部与山西西北大部的反相位，即还有一些年份山西地表温度年均值在空间上表现为东南部与西北部的反相。第三特征向量变化范围在 -0.24—0.23 之间，方差贡献率为 3.4%。

4 结论

- a) 山西 1981—2020 年各年地表温度平均值介于 10.7℃—13.6℃之间，近 40a 地表温度呈明显上升趋势，上升速率为 0.499℃/10a。全省极端最高、极端最低地温也呈现上升趋势，气候倾向率分别为 0.939℃/10a、1.298℃/10a。
- b) 地表温度呈现由南向北次第减小的形势，这与纬度、海拔以及山西特有的地形有关，晋南临猗、运城、永济一带较高，晋北右玉、神池、平鲁一带较低。各地均值在 7.1℃—16.6℃之间，高纬地区明显低于低纬地区，高海拔地区明显低于低海拔地区；吕梁山脉走向对地温分布影响明显，西北部升温速率要快于东南部。
- c) 山西近 40a 来平均地温存在 3 类尺度的周期变化规律。其中，准 18a 周期震荡非常显著，表现为低→高→低→高的循环交替，同时还存在 12a、6a 左右的小尺度周期震荡，且小周期震荡包含在 12a、18a 的震荡周期中。
- d) M-K 突变分析表明 UF、UB 交点在信度线之外，无法判断突变点的存在；但 1999 年之后山西地表温度趋向于更明显的升温趋势。
- e) EOF 分解表明山西近 40a 地温第一特征向量的相对空间函数全省均为正值，变化范围在 0.07—0.1 之间，方差贡献率为 79.4%。即山西地表温度同位相变化站主导地位，最大概率是趋于整体一致的偏高或偏低变化。

参考文献:

- [1] 赵美亮, 曹广超, 曹生奎等. 1980—2017 年青海省地表温度时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(01): 178—187.
- [2] 李永华, 周彦玲, 吕浩嘉. 莱阳地温变化特征及对作物春播期影响[J]. 黑龙江气象, 2021, 38(01): 29—31.
- [3] 吉春容, 穆彩芸, 胡启瑞等. 干旱区哈密瓜生长和产量与气候要素的关系[J]. 生态环境学报, 2021, 30(01): 10—18.
- [4] 任润河, 渠建平. 地温对汾酒发酵的影响[J]. 酿酒科技, 2014(08): 53—55.
- [5] 张翠华, 张文煜, 张艳品. 输电线路雷击前近距离气象要素变化特征分析——以石家庄市为例[J]. 气象与减灾研究, 2019, 42(04): 295—300.
- [6] Zhou Juan et al. Role of May surface temperature over eastern China in East Asian summer monsoon circulation and precipitation[J]. International Journal of Climatology, 2020, 40(15): 6396—6409.
- [7] 龚强, 汪宏宇, 朱玲等. 辽宁省地温场结构及变化特征[J]. 冰川冻

土, 2017, 39(03):505-514.

[8]孙蕊. 黑龙江省多年冻土区森林净初级生产力时空变化及与地温响应研究[D]. 哈尔滨师范大学, 2020.

[9]于晶, 吴月祥, 张秀红. 齐齐哈尔市春季浅层地温时空变化特征分析[J]. 黑龙江气象, 2016, 33(01):21-22.

[10]谭艳立, 罗菊英, 向远. 近 50 年恩施市气温与浅层地温变化特征及其相关性分析[J]. 高原山地气象研究, 2018, 38(02):42-48.

[11]王冰, 李启权, 罗琳等. 1981-2011 年川南山区地温和气温的变化特征[J]. 干旱区地理, 2019, 42(06):1322-1329.

[12]刘引鸽, 周欢欢, 胡浩楠等. 西安地区土壤浅层温度变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(08):153-159.

[13]郑伟, 刘娅楠, 孙怀琴等. 塔克拉玛干沙漠腹地浅层地温特征及其影响因子研究[J]. 内蒙古气象, 2019(03):27-31.

[14]陈明惠, 陈思蓉, 陆小林等. 1961-2019 年玉林浅层地温变化特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(02):31-34.

[15]徐青文, 郝茂生, 王峰. 鲁中地区气温和地温变化特征及相关性分析[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(21):61-64+133.

[16]刘恬, 高晓清, 杨丽薇等. 近 36 年江淮地区浅层地温变化的多尺度分析[J]. 高原气象, 2020, 39(02):357-366.

[17]乔丽, 吴林荣, 张高健. 中国近 50a 地表温度时空变化特征分析[J]. 水土保持通报, 2015, 35(05):323-326.

[18]王佳琳, 潘志华, 韩国琳等. 1961-2010 年中国 0cm 地温变化特征及其与气温变化的关系[J]. 资源科学, 2016, 38(09):1733-1741.

[19]刘强军, 梁赟, 宋军芳等. 近 42 年山西省晋城市地温与气温时空特征研究[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(06):240-245.

[20]蔡霞, 李亚军, 李智才等. 山西省春季地温的特征对崩塌滑坡的影响研究[J]. 干旱区资源与环境. 2022, 36(09):158-165.

投稿人姓名: 范秀平

投稿人单位: 山西省气象信息中心

联系方式: 座机: 0351-7241291/手机: 15536928543