

努尔比亚·吐尼牙孜,希热娜依·铁力瓦尔迪,王保鑫. 1961—2018年塔里木盆地气温时空变化特征[J]. 陕西气象, 2021(2):24-31.

文章编号:1006-4354(2021)02-0024-08

1961—2018年塔里木盆地气温时空变化特征

努尔比亚·吐尼牙孜^{1,2},希热娜依·铁力瓦尔迪²,王保鑫²

(1. 中亚大气科学研究中心,乌鲁木齐 830002;2. 喀什地区气象局,新疆喀什 844000)

摘要:利用塔里木盆地39个气象台站1961—2018年的逐日气温数据,采用线性趋势分析、Mann-Kendall检验、R/S分析、方差分析等方法分析了气温的时空变化特征,结果表明:近58a塔里木盆地年、季平均、最高、最低气温上升显著并发生了增温性突变,其突变时间冬季气温最早,春季最低气温和夏季最高气温最晚;下垫面属性对最低气温振幅的影响较明显,这可能是最低气温升温最明显的原因之一;塔里木盆地大部分台站气温呈显著上升趋势且具有较好的连续性,在未来盆地南部地区持续升温的可能性高于东部地区,这将进一步增大塔里木盆地气温空间差异;区域特征表明,塔里木盆地西—南地区升温较中部和东部地区明显,时间域内平均、最高气温存在8a左右低频振荡主周期,三个区域增温性突变均发生在20世纪90年代,较新疆地区发生暖湿化突变时间偏晚。

关键词:塔里木盆地;气温;时空变化;突变分析

中图分类号:P467

文献标识码:A

位于我国西部干旱区的塔里木盆地,地处天山山脉和昆仑山、阿尔金山脉之间,地势西高东低,中部为塔克拉玛干沙漠,植被稀少,沙漠化严重,生态环境极其脆弱;气温的变化对当地生态系统、农业结构布局,农事活动及农业产品产量和品质都产生广泛而深刻的影响。近些年来,众多学者基于各类气象资料针对塔里木盆地的气候开展了探讨:康丽娟、左敏、张音等^[1-3]分析新疆气温的时空变化,指出对新疆地区而言,塔里木盆地气温增温幅度小于北疆和天山山区;郑奕等^[4]分析近56a塔里木盆地气温时间变化特点,指出塔里木盆地气温呈非对称性增长,年平均最低气温变率为年平均最高气温变率的1.5倍;郑红莲、杨莲梅、刘进新等^[5-7]分析塔里木盆地气温、降水变化特征,其结果表明塔里木地区气温、降水呈现较明显的变暖变湿趋势;同时也有学者分析塔里木盆

地极端天气事件,例如,赵丽、唐小英等^[8-9]发现塔里木盆地极端降水和极端气温事件整体呈显著增加趋势,王秋香、马禹、刘明哲等^[10-12]指出塔里木盆地大风、浮尘、沙尘暴日数呈显著减少趋势,谢芳、刘静等^[13-14]的分析表明塔里木盆地冷空气过程、寒潮减少趋势显著。

以上研究成果揭示了塔里木盆地气候与西北地区同步^[15-16],表现出暖湿化趋势,是一个受气候变化影响比较突出和显著的地区,分析研究塔里木盆地气温变化利于正确理解和评估区域气温变化的原因和趋势,利于科学利用气候热量资源安排农业生产和防灾减灾工作,进而积极促进农业和社会经济的可持续发展。前人对塔里木盆地气温变化的研究多数基于少数气象站点为代表分析塔里木盆地气温的年代际变化,涉及空间分布及区域气温特征的研究并不多见,对地形复杂、地域

收稿日期:2020-08-17

作者简介:努尔比亚·吐尼牙孜(1988—),女,维吾尔族,新疆喀什人,学士,工程师,从事短期天气预报业务及研究。

通信作者:希热娜依·铁力瓦尔迪(1987—),女,维吾尔族,新疆喀什人,学士,工程师,从事短期天气预报业务及研究。

基金项目:中亚大气科学研究基金(CASS201725)

辽阔的塔里木盆地而言其结论具有一定的局限性。针对以上不足,本文选取塔里木盆地气温资料健全的所有台站数据分析其气温的时空变化特征及区域特征,同时针对 Mann-Kendall 突变检验的缺点,利用信噪比检验和滑动 T 检验对突变年份进行订正,以期为塔里木盆地气温变化提供更科学更严谨的参考依据。

1 资料方法与数据处理

1.1 资料

选取塔里木盆地 44 个气象观测站 1961—2018 年逐日平均、最高、最低气温资料,剔除数据缺失过多的 5 个台站后,选取了资料连续性好的 39 个台站(图 1),资料由新疆气象信息中心提供,气温资料已进行了严格的质量控制。多年平均值采用 1981—2010 年的 30 a 平均值;最高、最低气温是指年(季)平均最高、最低气温;季节划分为春季(3—5 月),夏季(6—8 月),秋季(9—11 月),冬季(12 月—次年 2 月)。

1.2 方法

(1)采用线性趋势分析方法和 R/S 分析方法分析塔里木盆地近 58 a 平均、最高、最低气温的年代际、季节变化趋势及持续性,利用 Mann-Kendall (简称 M-K)方法对气温时间序列进行突变检验,针对 M-K 统计量 UF、UB 曲线交点出现在信度线之外的情况,结合滑动 T 检验和信噪比检验进行验证^{[17]58-65}。

(2)利用气候倾向率、R/S 分析、方差分析等方法分析研究塔里木盆地 39 个台站平均、最高、最低气温长期变化的空间差异。基于 R/S 分析的 H 指数定量描述长程依赖性的主要方法之一,该方法属于非参数分析法,具有较好的稳健性^[18],H 取值范围为(0,1),当 $H=0.5$ 时,表示序列是随机的,不具备长期依赖性,将来的发展趋势与已经发生的事件没有关系; $0.5 < H < 1$ 表示时间序列具有持续性,具备长期记忆效应,将来发展趋势与已发生的事件保持一致,H 越接近于 1,持续性越强; $0 < H < 0.5$ 表示时间序列具有反持续性,H 越接近于 0,反持续性越强。R/S 分析估算 H 指数的计算方法可参考文献^[18]。

(3)根据塔里木盆地三面环山向东开口的倒

喇叭口地形,将其分成盆地西—南部(共 20 个站点),中北部(共 10 个站点)及东部(共 9 个站点)3 个气候区,利用线性趋势, Morlet 小波^{[17]99-104}分析及 M-K 突变检验等方法,分析塔里木盆地气温变化的区域差异。

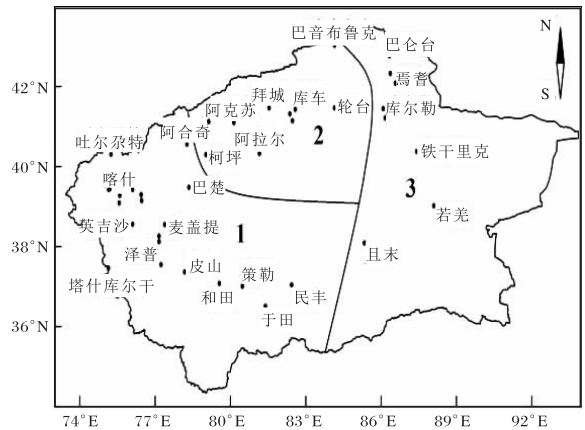


图 1 塔里木盆地各分区气象站分布

2 分析与结果

2.1 时间变化特征

2.1.1 年际、年代际变化 1981—2010 年塔里木盆地年平均,最高、最低气温分别为 $10.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $17.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从历年气温的线性变化趋势(图 2)可知:近 58 a 塔里木盆地平均气温、最高、最低气温变化趋势相似,均围绕其多年平均值呈波动上升趋势,气候倾向率分别为 0.25 、 0.21 、 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,表明近 58 a 来塔里木盆地气温与全球气温变化一致趋于变暖;气候倾向率从高到低依次为最低气温、平均气温、最高气温,即最低气温对气温变暖的贡献大于最高气温,间接表明塔里木盆地日较差趋于减小。从逐年变化来看,气温具有明显的阶段性特征,1961—1980 年平均最高气温围绕多年平均值上下波动但变化趋势不明显,而年平均气温、最低气温呈缓慢上升趋势,其气候倾向率分别为 0.14 、 $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ (表 1),其中最低气温气候倾向率通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,而 1981—2018 年平均、最高、最低气温呈一致的上升趋势,其气候倾向率分别为 0.34 、 0.32 、 $0.46\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ (表 1)均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。说明 20 世纪 80 年代以后塔里木盆地气温对气候变暖的响应更显著。

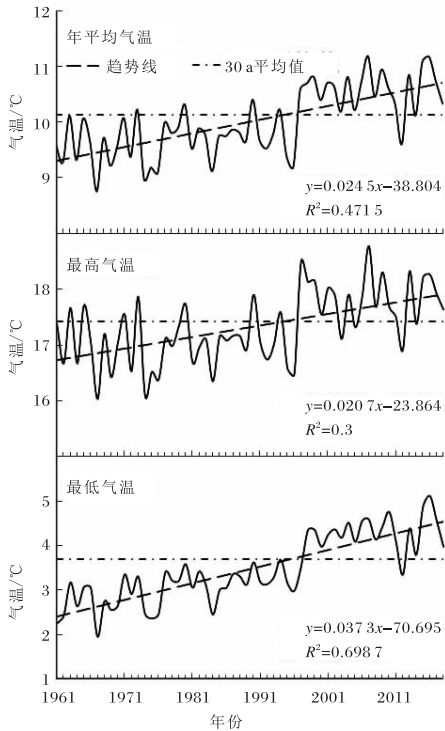


图2 1961—2018年塔里木盆地气温年际变化

表1 塔里木盆地分时段气温气候倾向率 单位: °C/10 a

时段	最低气温	最高气温	平均气温
1961—1980年	0.33*	-0.009	0.14
1981—2018年	0.46**	0.32**	0.34**

注: * 和 ** 分别表示通过 $\alpha=0.05$ 和 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

由气温距平的年代变化(图3)分析可知:20世纪60—80年代,塔里木盆地年平均、最高、最低气温距平值均为负值,且绝对值60年代最大,其次为70年代,最后是80年代,表明20世纪60年代是近58 a最冷的时期。20世纪90年代起气温距平由负值转为正值,塔里木盆地进入偏暖期,2001—2010年气温距平值达到峰值,其中最低气温距平值达到+0.68 °C,为近58 a之最,表明21世纪00年代是近58 a内最暖的10 a。

2.1.2 季节变化 1981—2010年塔里木盆地各季节年平均气温、最高气温、最低气温:春季为12.8、20.0、6.0 °C,夏季为22.7、30.1、16.0 °C,秋季为9.9、17.9、3.2 °C,冬季为-5.3、1.3、-10.7 °C。分析季气温的气候倾向率(表2)可知:近58 a塔里木盆地四季气温呈上升趋势,除

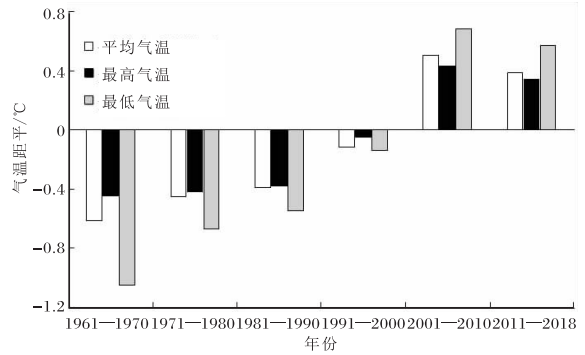


图3 1961—2018年塔里木盆地气温距平年代际变化

冬季最高气温外均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。气候倾向率从高到低排序:平均气温为冬季、秋季、春季、夏季,最高气温为春季、秋季、冬季、夏季,最低气温为冬季、秋季、春季、夏季。季节内最低气温大于最高气温,全年而言冬季最低气温升温最快,夏季最高气温升温最慢。由气温年代变化可知(图略):春季20世纪60—70年代三种气温上升均不明显,80年代至90年代初气温呈略下降趋势,90年代中期后气温呈快速上升趋势;夏季平均、最高、最低气温60年代稳定少变,70年代以后围绕历年平均值呈波动上升趋势,其中70年代至90年代中期夏季气温变幅较大,之后气温呈稳定上升趋势;秋季平均、最高、最低气温呈稳定上升趋势,20世纪60—80年代秋季气温偏低,之后气温稳定处在上升期;冬季20世纪60—70年代气温整体偏低,80年代初期开始气温上升,90年代中期达到峰值,此后虽然上升趋势减缓气温呈略下降趋势,但气温始终偏高。

表2 1961—2018年塔里木盆地季节

季节	气温气候倾向率 单位: °C/10 a		
	平均气温	最高气温	最低气温
春季	0.27**	0.26*	0.36**
夏季	0.14*	0.13*	0.31**
秋季	0.23**	0.25**	0.34**
冬季	0.35*	0.21	0.49**

注: * 和 ** 分别表示通过 $\alpha=0.01$ 和 $\alpha=0.001$ 的显著性检验。

2.1.3 突变检验 利用M-K法对塔里木盆地1961—2018年气温序列进行突变检验,给定显著

性水平 $\alpha=0.05$, 临界值为 ± 1.96 。结果显示塔里木盆地近 58 a 年季平均、最高、最低气温均发生了显著性增温突变(表 3), 突变最早的是冬季气温, 最晚的是春季最低气温和夏季最高气温。另外在 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界值内 UF、UB 曲线, 春季平均最高气温和最低气温出现多个交点, 年最低气温交点出现在临界值外, 结合滑动 T 检验和信噪比检验, 当步长 $n=4, 5, 6$ 时检验结果表明春季平均最高、最低气温及年平均最低气温分别于 1996、1996、1997 年发生显著增温性突变。

表 3 1961—2018 年塔里木盆地年、季气温的突变年

气温	春季	夏季	秋季	冬季	年
平均气温	1996	1999	1993	1985	1996
最高气温	1996	2000	1990	1985	1996
最低气温	2000	1999	1993	1985	1997

综上所述, 近 58 a 塔里木盆地年、季气温呈显著上升趋势, 气候倾向率最低气温大于同期最高气温, 冬季最低气温升温最快, 夏季最高气温升温最慢, 除冬季气温增温性突变均发生在 20 世纪 90 年代, 其突变起始年份与新疆发生暖湿化突变时间相比^[19-20]出现较晚。

2.2 空间变化特征

2.2.1 气温与方差分布

由塔里木盆地三种气温空间分布(图 4)可知: 近 58 a 塔里木盆地平均、最高、最低气温分布不均匀, 存在明显的空间差异。三种气温均呈现出自西北山区向东南塔克拉玛干沙漠腹地递增的格局, 整体表现为平原气温高于山区, 平原西部气温高于东部, 南部气温高于北部的特征, 而气温的这种格局主要与塔里木盆地三面环山, 东部开口的特殊地形有关。

为了进一步分析塔里木盆地气温振幅变化特征, 计算了 39 个台站三种气温的方差, 其分布(图 4 中阴影所示)可知, 近 58 a 塔里木盆地三种气温方差分布不均匀, 振幅变化有差异。平均气温方差 $0.002 \sim 0.025 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高气温方差 $0.003 \sim 0.026 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 二者大值中心位于塔里木西部的巴楚站和巴音布鲁克山区站; 而最低气温方差 $0.002 \sim 0.025 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 方差水平梯度及大值范围较大, 大值区主要集中在山区和塔克拉玛干沙漠与绿洲交界处。由此可见, 塔里木盆地下垫面属性对最低气温振幅变化的影响更明显, 与沙漠接壤的巴楚站和巴音布鲁克山区是塔里木盆地气温波动最明显的地区。

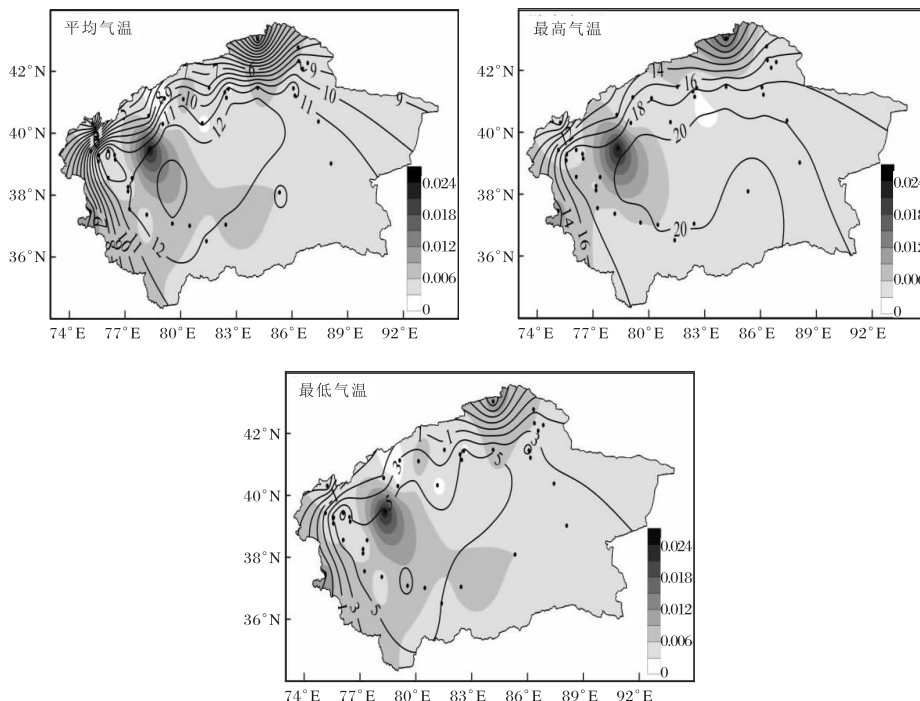


图 4 1961—2018 年塔里木盆地平均气温的空间分布(等值线)及方差(阴影区)(单位为 $^{\circ}\text{C}$)

2.2.2 气温变化 图5给出了1961—2018年塔里木盆地三种气温的气候倾向率(等值线)和H指数(阴影)空间分布。由图5a平均气温空间分布可知:近58a除阿克陶、库车站平均气温呈下降趋势(低值中心为 -0.01)外,其余站点呈上升趋势,其气候倾向率为 $0.02\sim 0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,大值中心位于塔里木盆地南部,其中巴音布鲁克、和硕、乌什、阿克陶及阿拉尔山站没有通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,其余站点均通过 0.01 的显著性检验。最高气温气候倾向率(图5b),大值中心位于南疆盆地南部及西部的巴楚、麦盖提,其中中天山南侧9个站没有通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,其余站点通过 0.01 的显著性检验。最低气温气候倾向率(图5c),除库车呈下降趋势外,其余站点呈一致的上升趋势,升温最明显的地区位于塔里木盆地西南部的于田县为

$0.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,远超过全国 $0.278\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ^[21]和新疆 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ^[2]的平均水平。经统计除和硕、乌市、阿克陶、阿拉尔等台站没有通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验外,其余站点均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

由H指数分布(图5a、图5b及图5c中的阴影)可知:平均气温H指数为 $0.49\sim 0.86$,大于 0.8 的大值区集中出现在塔里木盆地南部,最小值出现在巴伦台;最高气温H指数为 $0.47\sim 0.81$,大值中心分布较分散;最低气温H指数为 $0.48\sim 0.89$,与平均气温相似,大值中心位于塔里木盆地南部。

以上结果表明近58a塔里木盆地气温大部分台站呈显著上升趋势并在未来同过去一致保持升温趋势,且盆地南部地区升温的可能性高于东部,这将进一步增大塔里木盆地气温的空间差异。

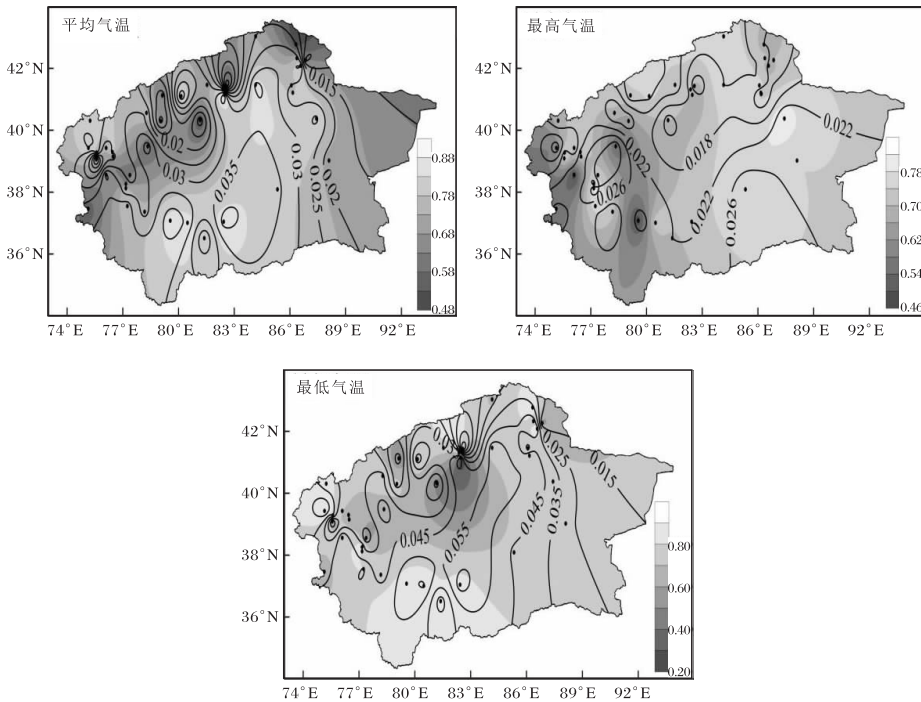


图5 1961—2018年塔里木盆地气温的气候倾向率(单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{a}$)及H指数空间分布(阴影区)

2.3 区域特征

1961—2018年塔里木盆地3个气候区的年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温各不相同:西—南地区为 $10.5、17.6、4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,中北部地区为 $9.3、16.5、3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,东部地区 $10.2、17.9、3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,可见塔里木西—南地区较其余2个气候区相对偏

暖,这与塔里木西—南地区三面环山境外冷空气被山脉阻挡有关。

由气温的气候倾向率可知(表4):3个气候区平均气温、最高气温、最低气温均呈显著上升趋势(均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验),其倾向率从大到小为塔里木西—南地区、东部地区、中北部地

区,且最低气温倾向率大于同期最高气温和平均气温,表明近 58 a 塔里木盆地区域升温幅度有差异,相对而言塔里木西—南地区升温最快,中北部地区升温较慢。

表 4 1961—2018 年塔里木盆地不同区域气温的气候倾向率 单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$

区域	平均气温	最高气温	最低气温
西—南地区	0.028	0.023	0.042
中北部地区	0.019	0.019	0.027
东部地区	0.024	0.018	0.038

注:均通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

由 M-K 突变检验图 6(a~c)可知:塔里木盆地西—南地区平均气温,中北部和东部地区平均气温、最高气温在临界范围内(± 1.96) U_F 、 U_B 曲线有且仅有一个交点,交点依次为 1997、1992、1996、1993、1993 年,且 U_F 曲线稳定通过临界值,表明近 58 a 发生了由冷向暖的显著增温突变。而西—南地区最高气温 90 年代中期出现 2 个交点,3 个区域最低气温交点均出现在临界曲线外,结合滑动 T 检验和信噪比检验,当步长 $n=6$ 时,上述地区气温均发生了增温性突变,其突变年份西—南地区最高气温为 1994 年,最低气温西—南、中北部及东部地区依次为 1997、1990、1990 年。

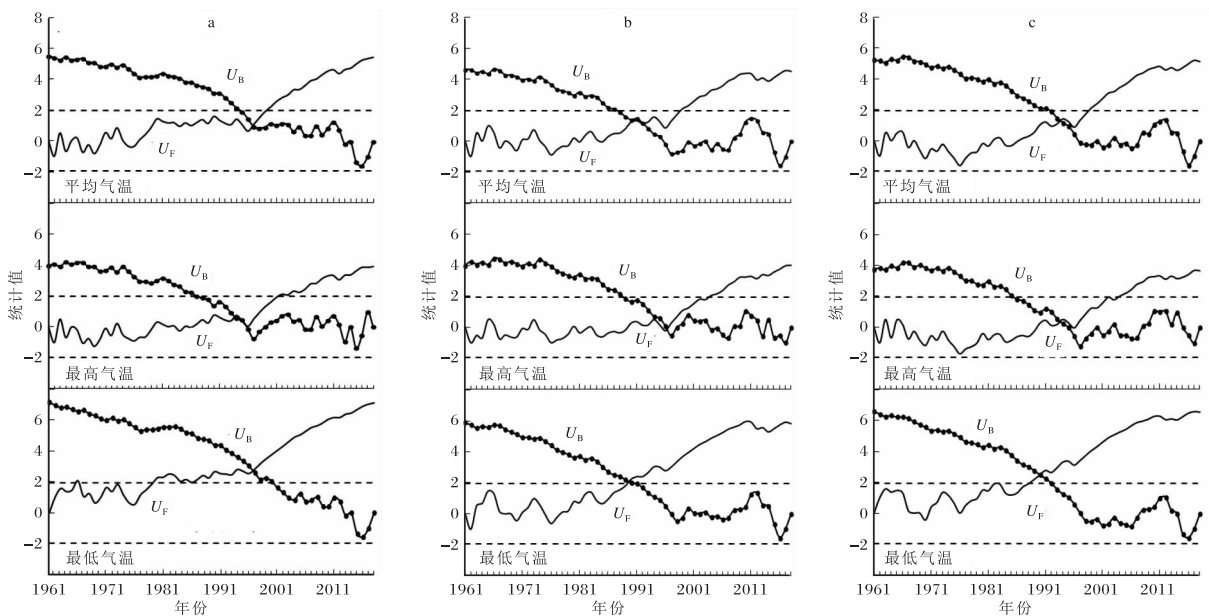
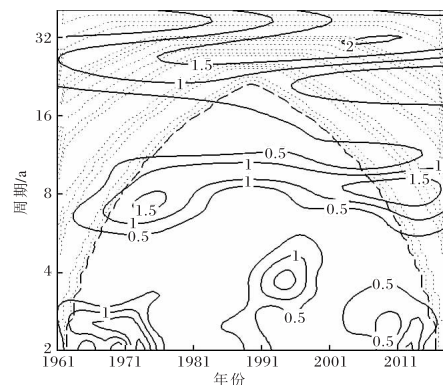


图 6 1961—2018 年塔里木盆地西—南(a)、中北部(b)、东部(c)地区气温 M-K 突变检验

以塔里木盆地西—南地区平均气温为例,分析塔里木盆地区域气温周期变化特征。由图 7 可知,盆地西—南地区平均气温通过 0.05 的显著性水平检验的区域和时间域聚集中心分别为:(2, 1972), (4, 1993), (8, 1972), (2, 2012), 对应的影响年份范围分别是 1962—1974 年、1986—1997 年、1967—2008 年、2003—2014 年,存在 2、4、8 a 左右周期,其中 8 a 左右振荡周期为主周期。由其他区域小波能量谱时频(表 5)特征可知:塔里木盆地区域最低气温近 58 a 周期特征不明显,其余区域气温存在 4 a 左右和 8 a 左右高频振荡周期,其中以 8 a 左右周期震荡为主周期。



粗虚线表示通过 0.05 水平的显著性检验;
细点线包围的区域为边界效应影响区域。

图 7 1961—2018 年塔里木盆地西—南地区平均气温 Morlet 小波能量谱分布

表5 1961—2018年塔里木盆地气温的小波能量谱时频特征

区域	要素	影响年份	尺度中心/a	存在周期/a	主周期/a
西—南	最高气温	1962—1976, 1989—1988, 1967—2008, 2002—2015	2, 4, 8, 3	2, 4, 8	8
	最低气温	1962—1973, 1989—1992, 1991—1999, 2004—2017, 1967—2003	3, 2, 4, 3, 8	3, 8	不明显
中北部	平均气温	1962—1969, 1971—1978, 1984—1997, 2008—2015, 1967—2008	3, 2, 4, 2, 8	2, 3, 4, 8	8
	最高气温	1962—1969, 1970—1979, 1984—1997, 2009—2015, 1967—2008	3, 2, 4, 2, 8	2, 3, 4, 8	8
	最低气温	1962—1969, 2009—2014, 1967—2008	3, 3, 8	3, 8	不明显
东部	平均气温	1961—1982, 1986—2003, 2009—2016, 1968—2008	3, 4, 2, 8	3, 4, 8	8
	最高气温	1961—1984, 1985—2003, 1995—2017, 1969—2007	3, 4, 2, 8	2, 3, 4, 8	8
	最低气温	1961—1970, 1967—2007, 2011—2015	3, 8, 2	3, 8	不明显

3 结论

(1)近 58 a 塔里木盆地年、季平均、最高、最低气温均呈显著升温趋势并发生了由冷向暖的升温突变,但气候倾向率和突变年份有差异。就全年而言,冬季最低气温升温最快,夏季最高气温升温最慢,升温突变最早的是冬季气温,最晚的是春季最低气温和夏季最高气温,同时年、季最低气温的气候倾向率高于同期最高气温。

(2)塔里木盆地平均、最高、最低气温空间分布相似,呈现自西北山区向东南塔克拉玛干沙漠腹地递增的格局,而方差空间差异表明气温振幅较大的区域集中在山区及沙漠地带,其中地形对最低气温振幅的影响最明显,这可能是塔里木盆地最低气温升温最明显的原因之一。

(3)塔里木盆地气温的变化及连续性存在空间差异,除个别站外,大部分台站气温呈显著上升

趋势且具有较好的连续性。在未来塔里木盆地气温同过去一致,将保持升温趋势,盆地南部升温的可能性高于东部,这将进一步增大塔里木盆地气温的空间差异。

(4)塔里木盆地西—南地区、中北部和东部 3 个区域气温近 58 a 表现为显著上升趋势,西—南地区升温较中北部和东部地区明显,区域最低气温较最高气温升温明显;突变特征表明,3 个区域升温性突变均发生在 20 世纪 90 年代;周期特征表明塔里木盆地最低气温区域周期特征不明显,时间域内平均和最高气温存在 8 a 左右主周期低频震荡。

参考文献:

- [1] 康丽娟,巴特尔·巴克,罗那那,等. 1961—2013 年新疆气温和降水的时空变化特征分析[J]. 新疆农

- 业科学, 2018, 55(1): 123-133.
- [2] 左敏, 陈洪武, 江远安, 等. 新疆近 50 a 气温变化趋势和演变特征[J]. 干旱气象, 2010, 28(2): 160-166.
- [3] 张音, 古丽贤·吐尔逊拜, 苏里坦, 等. 近 60a 来新疆不同海拔气候变化的时空特征分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 822-829.
- [4] 郑奕, 张广兴, 刘艳. 近 56a 新疆塔里木盆地非对称性增温变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(2): 7-14.
- [5] 郑红莲, 严军, 元慧慧. 南疆地区近 58 年气温、降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 103-109.
- [6] 杨莲梅, 张广兴, 崔彩霞. 塔里木盆地气候变化的季节差异[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(4): 168-172.
- [7] 刘进新, 全学荣. 南疆盆地 1961—2005 年气温变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(2): 23-26.
- [8] 赵丽, 杨青, 韩雪云, 等. 1961—2009 年新疆极端降水事件时空差异特征[J]. 中国沙漠, 2014, 34(2): 550-557.
- [9] 唐小英, 唐湘玲. 新疆南疆地区近 50 年来极端气候事件分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2015, 33(2): 230-238.
- [10] 王秋香, 胡义成, 周昊楠. 近 50a 塔里木河流域生长季大风日数变化特征及对特色林果业的影响[J]. 冰川冻土, 2012, 34(5): 1067-1075.
- [11] 马禹, 储长江, 王旭. 气候因子对南疆浮尘日数变化的影响[J]. 干旱区地理, 2006(4): 463-469.
- [12] 刘明哲, 魏文寿. 南疆近 60 年来的气候变化及其对沙尘暴发生条件的影响[J]. 干旱区地理, 2005(4): 479-483.
- [13] 谢芳, 刘海涛, 张向军, 等. 1971—2016 年南疆南部冷空气过程频数变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(6): 22-31.
- [14] 刘精, 江远安, 樊静, 等. 塔里木盆地区域寒潮的气候变化特征及大气环流异常分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2018, 12(4): 38-44.
- [15] 陈少勇, 郭江勇, 郭忠祥, 等. 中国西北干旱半干旱区年平均气温的时空变化规律分析[J]. 干旱区地理, 2009, 32(3): 364-372.
- [16] 商沙沙, 廉丽妹, 马婷, 等. 近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 68-76.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [18] 徐宗学, 米艳娇, 李占玲, 等. 和田河流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1833-1838.
- [19] 辛渝, 陈洪武, 张广兴, 等. 新疆年降水量的时空变化特征[J]. 高原气象, 2018, 27(5): 993-1003.
- [20] 李佳秀, 陈亚宁, 刘志辉. 新疆不同气候区的气温和降水变化及其对地表水资源的影响[J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(3): 370-381.
- [21] 赵东升, 高璇, 吴绍洪, 等. 基于自然分区的 1960—2018 年中国气候变化特征[J]. 地球科学进展, 2020, 35(7): 750-760.