

1960—2014年祁连山南坡及其附近地区 气温时空变化特征

曹广超^{1,2}, 付建新^{1,2}, 李玲琴^{1,2}, 曹生奎^{1,2}, 唐仲霞^{1,2},
蒋刚^{1,2}, 虞敏^{1,2}, 袁杰^{1,2}, 汉光昭^{1,2}, 刁二龙^{1,2}

(1. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室,
西宁 810008; 2. 青海师范大学 地理科学学院, 西宁 810008)

摘要: 基于祁连山南坡及其附近 19 个气象站点的 1960—2014 年气温数据, 利用线性趋势法、相关分析法、多项式趋势法、5 年滑动平均、R/S 分析方法、ArcGIS 方法对其气温的时间变化与空间分布作了详细分析。结果表明: 多年平均气温变化趋势为波动上升趋势, 增长率为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 最低气温与最高气温的增长率分别为 $0.478, 0.275^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 季节气温同样为上升趋势, 其中冬季气温增幅最大, 说明最低气温与冬季气温对气温上升贡献最大; 从年代际变化来看, 2000—2014 年气温的升高趋势比 1990—1999 年有所下降, 并不能说明全球变暖停滞, 可能受到自然外强迫造成的; 气温的 Hurst 指数为 $0.5 < H < 1$, 表明今后气温的变化趋势与过去变化趋势具有相同的特征; 大部分气象站点多年平均气温与季节气温的变化均为增长趋势, 通过显著性检验站点的比率较高, 而年代际气温的空间变化差异较大。

关键词: 气温; 变化趋势; 空间分布; 祁连山

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)03-0088-09

Analysis on Temporal and Spatial Variation Characteristics of Air Temperature in the South Slope of Qilian Mountains and Its Nearby Regions During the Period From 1960 to 2014

CAO Guangchao^{1,2}, FU Jianxin^{1,2}, LI Lingqin^{1,2}, CAO Shengkui^{1,2}, TANG Zhongxia^{1,2},
JIANG Gang^{1,2}, YU Min^{1,2}, YUAN Jie^{1,2}, HAN Guangzhao^{1,2}, DIAO Erlong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Qinghai Province Physical Geography and Environmental Process, Qinghai Normal University, Xining 810008, China; 2. College of Geography Science Qinghai Normal University, Xining 810008, China)

Abstract: Based on air temperature data observed in 19 meteorological stations in the south slope of Qilian Mountains and its nearby regions from 1960 to 2014, the methods of linear regression, correlation analysis, polynomial trend, moving mean, Hurst index and ArcGIS were used to analyze the temporal variability and spatial distribution of air temperature. The results are as follows. (1) The mean annual air temperature, the minimum and the maximum temperature exhibited unanimously fluctuating increasing trend with the rates of $0.35^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, $0.27^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, $0.47^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, respectively. (2) The variation trend of seasonal mean temperature, the maximum and the minimum temperature showed an upward trend, and the most significant increase occurred in winter. (3) From the point of view on the inter-decadal mean temperature, the maximum and the minimum temperature variation, the trend of temperature rise in 2000—2014 was lower than that of 1990—1999, which did not mean that global warming had stagnated, was caused by external force of nature. (4) The Hurst index of air temperature was $0.5 < H < 1$, which indicated that the variation trend of temperature was the same as that of the past temperature. (5) The variation trend of the mean annual air temperature and seasonal mean temperature presented the upward trend in most of the meteorological stations, the most meteorological stations passed the significance test, however, the diversity of spatial distribution of the

收稿日期: 2017-06-30

修回日期: 2017-07-15

资助项目: 国家自然科学基金(41361005); 国家重点研发计划项目(2017YFC0404304)

第一作者: 曹广超(1971—), 男, 山东苍山人, 教授, 博士生导师, 主要从事青藏高原地区环境变化与地理信息系统应用研究。E-mail: caguangchao@126.com

通信作者: 付建新(1980—), 男, 山西大同人, 博士研究生, 研究方向: 环境地表过程与生态响应研究。E-mail: fujx@163.com

variation trend of inter-decadal mean temperature was significantly different.

Keywords: temperature; change trend; spatial distribution; Qilian Mountains

IPCC 从第一次评估报告(1990 年)到第四次评估报告(2007 年)分别指出过去 100 a 以来地球表面温度分别上升了 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$, $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$, $0.4 \sim 0.8^{\circ}\text{C}$, 0.74°C , 说明全球变暖是不变的趋势, 气候变暖的主要原因是人类活动^[1]。在全球变暖的背景下, 中国^[2]及其西北^[3]、华北^[4]、东北^[5]、青藏高原^[6]等地区平均气温变化趋势与全球一致。青海省作为我国国家级重点生态功能区^[7], 当前与今后重点任务之一就是生态环境保护, 祁连山南坡的生态环境是全省生态环境保护与治理的一部分, 气温的变化直接影响植被等的变化, 进而影响生态环境; 全球变暖导致祁连山地区冰雪融化及出现的水资源短缺问题严重影响“丝绸之路经济带”的发展^[8], 所以在新形势下, 研究祁连山南坡及其附近地区气温的变化具有重要的理论与现实的意义。

前人对祁连山(气候)气温研究成果较多, 汤懋苍等^[9]、张存杰等^[10]、蓝永超等^[11]、贾文雄等^[12-14]、尹宪志等^[15]、张耀宗等^[16]对祁连山气候包括气温作了研究。对于位于青海省境内的祁连山南坡地区的气温尚未作系统、多种方法的研究, 本文对祁连山南坡多年平均气温、平均最高与最低气温、季节气温的时空特征进行分析。

1 研究区概况

研究区分为核心区与外围区, 核心区是研究主体, 位于青海省境内, 但是核心区气象站点较少, 所以增加了附近的气象站点作为辅助研究, 外围区为祁连山南坡的南北两侧, 分别位于青、甘两省。祁连山位于青藏高原东北部边缘, 青甘交界处, 海拔 $2\,257 \sim 5\,235\text{ m}$, 是我国重要的西北—东南走向的一系列山

脉, 是我国重要的地理分界线之一^[17], 其垂直地带性明显, 具有高原大陆性气候特征^[18]。祁连山南坡是青海省重要的水源涵养保护区, 气候的变化直接会对当地植被等生态环境造成影响, 通过研究祁连山南坡及其附近地区气温的变化为进一步研究祁连山南坡水源涵养区的生态系统等研究做铺垫。

2 数据来源与研究方法

数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>), 选取 1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区 19 个气象站点的平均气温、平均最低气温、平均最高气温的数据, 数据的完整性与可靠性高; 研究方法包括线性趋势法、相关分析法、多项式趋势法、5 a 滑动平均、R/S 分析方法^[19-20], 利用 ArcGIS 10.0 对气温的空间变化做制图分析, 对于趋势系数采取的是 $p < 0.05$ 显著性检验方法。

3 气温的时间序列变化

3.1 多年平均气温变化

1960—2014 年多年平均气温(图 1A)为 0.360°C , 平均气温的最高值出现在 1998 年, 为 1.594°C , 与最低气温 -0.858°C (1976 年)相差 2.452°C , 年际变化较大, 与全国近 50 a 平均最高气温出现的年份一致^[5]; 20 世纪 60, 70, 80 年代的平均气温低于多年平均值, 60, 70 年代的平均气温低于 0°C , 80 年代至今高于 0°C , 90 年代与 2000 年以来的平均气温均高于平均值; 平均气温的变化趋势整体上为波动上升趋势, 这与施雅风等^[21]对西北地区气温、杨东等^[22]对青海省气温研究的结论一致, 55 a 间累计增温 1.324°C 。

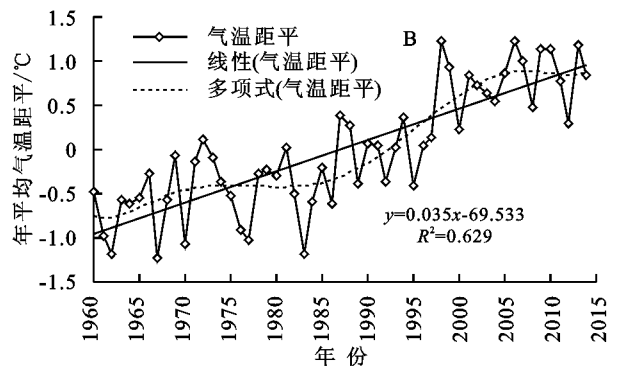
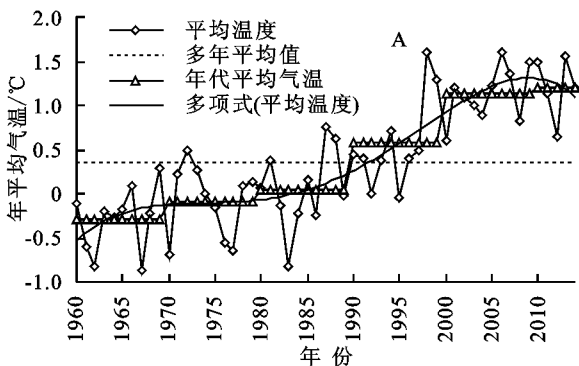


图1 1960—2014年祁连山南坡及其附近地区多年平均气温变化特征

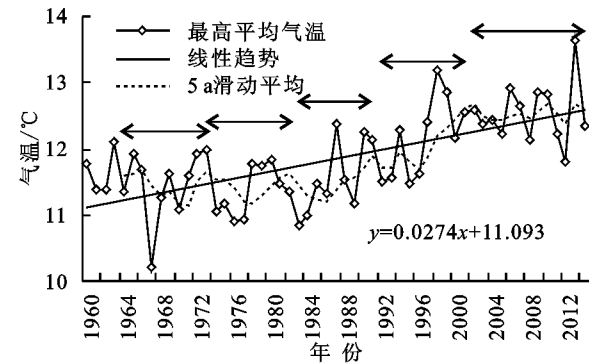
年均温(图 1B)以 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($p < 0.01$) 的速率增加, 高于全国平均值 ($0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)^[2], 呈现出明显的增长趋势; 从多项式拟合曲线可以看出 20 世纪

60 到 70 年代初缓慢上升, 70 年代初期到 80 年代中期呈现略微下降的趋势, 从 80 年代中期到 21 世纪初呈现明显上升趋势, 近 10 a 略有下降, 这种现象与前

人研究的结论相似^[23-24]。

3.2 多年平均最高气温与最低气温变化

最高气温与最低气温整体上呈现出上升的态势(图 2),增长率分别为 0.27℃/10 a($p<0.01$), 0.41℃/10 a($p<0.01$);最低气温的升温幅度大于最高气温,最低气温变化趋势与青藏高原东部变化趋势^[25]相符;最高气温的增长率低于平均气温的增长率,最低气温的增长率与之相反,与尹宪志等对近 50 a 年祁连山的平均气温(0.26℃/10 a)、最高气温



(0.20℃/10 a)、最低气温(0.30℃/10 a)的研究基本一致^[15],说明平均气温的上升幅度受最低气温比受最高气温影响大;最高气温 5 个周期依次为,即 1964—1974 年、1 974—1983 年、1983—1992 年、1992—2002 年、2002—2014 年,最低气温也同样为 5 个周期,即 1964—1975 年、1975—1983 年、1983—1992 年、1992—2003 年、2003—2014 年,发现气温变化周期与太阳黑子变化周期 11 a 很相似。(图 2 中双向箭头表示周期)

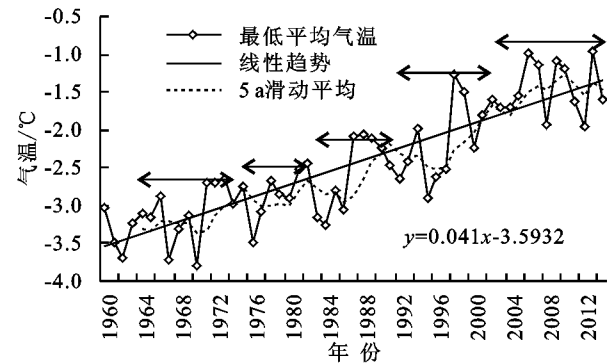


图 2 1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区年平均最低与最高气温变化特征

3.3 季节气温变化

从四季平均气温的线性回归图(图 3A,D,G,J)得出,春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月—次年 2 月)的平均气温倾向率分别为:0.24℃/10 a, 0.29℃/10 a, 0.34℃/10 a, 0.51℃/10 a,均通过了 $p<0.01$ 的显著性检验,四季平均温度均为上升趋势,上升的速率由小到大依次为:春、夏、秋、冬,冬季速率最大,说明冬季气温增幅对年平均气温影响最大,与尹宪志等对祁连山四季平均气温的倾向率(0.11, 0.17, 0.25, 0.37℃/10 a)研究^[15]一致,冬季增温速率高于全国增幅(0.36℃/10 a)^[5],秋季速率与多年平均气温速率接近,夏季与春季低于平均气温速率,春季增温速率与全国值(0.23℃/10 a^[5])接近。

从四季平均最低气温的线性回归图(图 3B,E,H,K)得出,春、夏、秋、冬的最低气温倾向率分别为:0.34, 0.45, 0.43, 0.67℃/10 a,均通过了 $p<0.01$ 的显著性检验,四季的速率均大于各自平均气温的速率,分别比均温速率高 0.10, 0.16, 0.09, 0.16℃/10 a;四季最高气温倾向率(图 3C,F,I,L)分别为:0.16, 0.22, 0.33, 0.37℃/10 a,四季均通过了显著性检验,各个季节的速率均小于各自平均气温的速率,分别比均温速率低 0.08, 0.07, 0.01, 0.14℃/10 a;说明四季最低气温的升温率对年均温的贡献比最高温的大。

3.4 年代际气温变化

从表 1 可以看出:(1) 平均气温:60 年代表现为下降趋势,之后一直升高,从 90 年代开始,其升高的

趋势降低,2000—2014 年比 1990—1999 年升高的趋势降低了 71.74%;(2) 平均最低气温:各年代均表现为升高的趋势,从 60 年代到 90 年代升高趋势增加了 0.77℃/10 a,2000—2014 年比 1990—1999 年升高趋势降低了 53.01%;(3) 平均最高温度:60 与 70 年代表现为降低趋势,之后表现为升高趋势,从 90 年代开始,升高趋势变慢,2000—2014 年比 1990—1999 年升高的趋势降低了 78.22%,这并不能说明近 10 多年全球变暖停滞,可能是受到太阳活动和火山活动等自然外强迫造成的^[26]。

表 1 年代际气温变化率 ℃/10 a

时间	平均气温	平均最低气温	平均最高气温
1960—1969 年	-0.125	0.072	-0.528
1970—1979 年	0.08	0.279	-0.046
1980—1989 年	0.42	0.773	0.089
1990—1999 年	0.924	0.854	1.008
2000—2014 年	0.191	0.34	0.179

3.5 气温的 R/S 分析

对全年与四季的均温、最低气温、最高气温作 R/S 分析,得出相应的 Hurst 指数(表 2),均为 $0.5<H<1$,说明过去 55 a 气温变化的趋势在今后将延续相同的变化趋势,即气温升高;各个气象站的年均气温、最低气温、最高气温的 Hurst 指数均大于 0.7,说明各个气象站的气温在未来的变化趋势与过去一致即变暖,而且 Hurst 指数较大,说明增暖的趋势会很稳定。

根据 Hurst 指数的等级^[27]可以看出趋势持续性(或反持续性)的强弱,本研究均为持续性。从全年来

看,多年平均气温、最低气温、最高气温,三者 Hurst 指数强度等级均为强;从四季来看,除了冬季最低气温和春季最高气温的等级为强,其余均为较强;各气象站点平均气温的 Hurst 指数强度等级除了托勒、祁连、刚察、恰卜恰为较强外,其余站点等级均为强;

57.89%的站点最低气温 Hurst 指数强度等级均为强,42.11%的站点最低气温 Hurst 指数强度等级均为较强;各气象站点平均气温的 Hurst 指数强度等级除了刚察、恰卜恰、山丹为强外,其余站点等级均为较强。

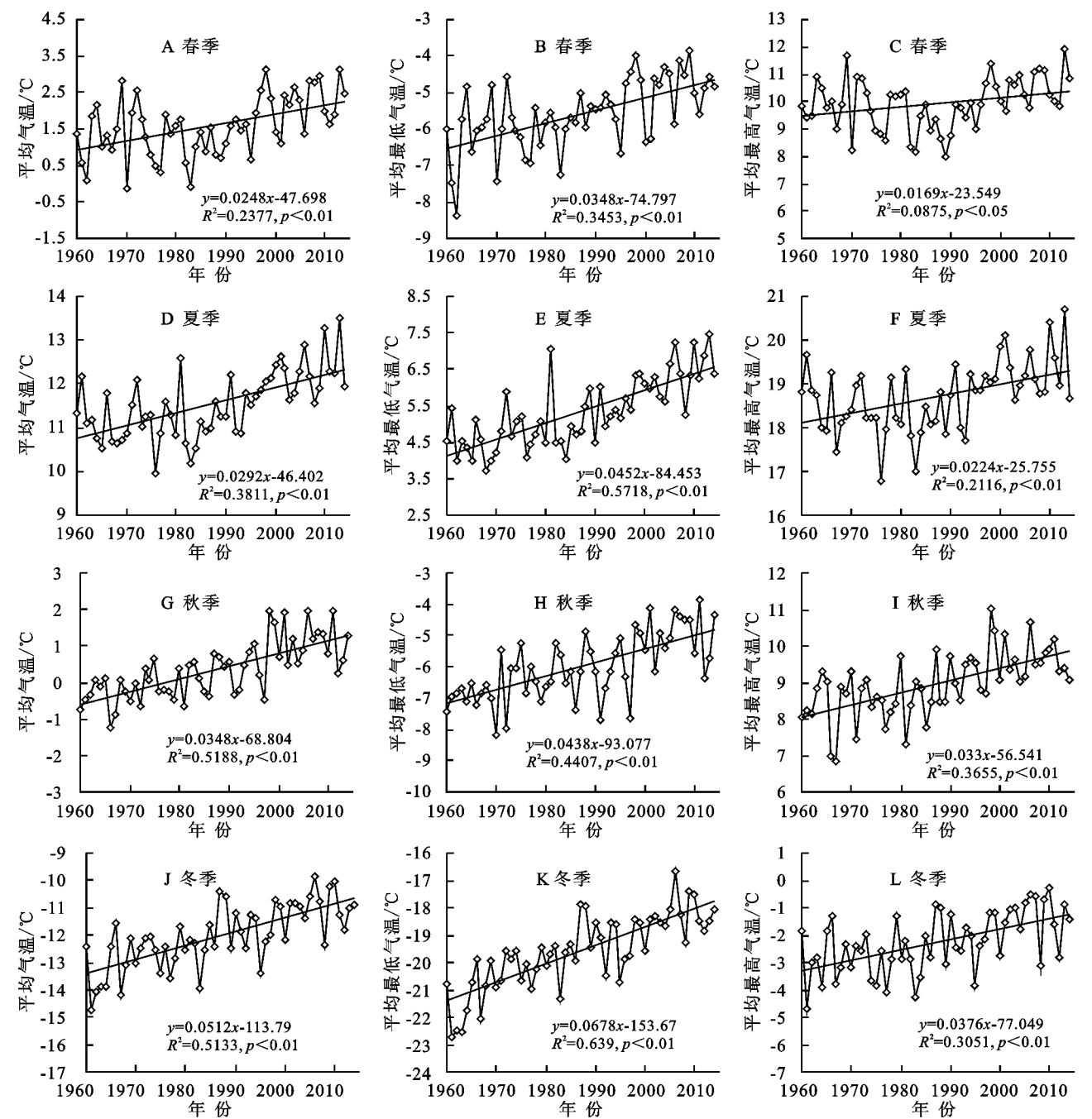


图 3 1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区季节气温变化特征

4 气温空间变化

4.1 多年平均气温的空间变化

从图 4 可知,各站点的平均气温、最高气温均为增长趋势,分别为 0.05~0.51℃/10 a,0.20~0.35℃/10 a,最低气温除了西宁为减小趋势(-0.03℃/10 a),其余均为增长趋势,为 0.26~0.88℃/10 a。(1) 平均气

温:核心区的野牛沟站平均气温增长趋势较为明显(0.44℃/10 a),托勒站(0.37℃/10 a)仅次于野牛沟站,而门源站增长率最低(0.09℃/10 a),整体上大致由西北向东南递减;外围区恰卜恰站增长率(0.51℃/10 a)最高,西宁站增长率最低(0.05℃/10 a),研究区内增长率>0.31℃/10 a 的站点比例为 52.63%,其中核心区为 50.00%;除了门源站与西宁站没有通过

显著性检验,其余的站点均通过了检验,显著性检验通过比例为 89.47%。(2) 最高气温:核心区四站点表现出由西北向东南先减小后增大的趋势,其中门源站增长率最大(0.34℃/10 a),祁连增长率最小(0.20℃/10 a);外围区都兰站与恰卜恰站的增长率均为0.35℃/10 a,增长最快,民勤站增长最慢为(0.20℃/10 a);除了门源站没有通过显著性检验,其余的站点均通过了检验,显著性检验通过比例为 94.74%。(3) 最低气温:核心区各站点最低气温增长

率较为明显,由大到小依次为门源站(0.40℃/10 a)、祁连站(0.39℃/10 a)、野牛沟站(0.36℃/10 a)、托勒站(0.29℃/10 a),四站点增长率相差最大为 0.11℃/10 a,最小为 0.01℃/10 a,整体上呈现出与多年平均气温相反的趋势,由东南向西北递增;外围区德令哈站(0.88℃/10 a)增长最快,西宁站(−0.03℃/10 a)为减小趋势,二者相差 0.91℃/10 a;除了野牛沟站与西宁站没有通过显著性检验,其余的站点均通过了检验,显著性检验通过比例为 89.47%。

表 2 祁连山南坡及其附近地区气温的 Hurst 指数

季节站点	平均气温		年均最低温度		年均最高温度		历史趋势	未来趋势
	H	强度	H	强度	H	强度		
全年	0.755	强	0.751	强	0.766	强	增加	增加
春季	0.746	较强	0.734	较强	0.751	强	增加	增加
夏季	0.730	较强	0.728	较强	0.728	较强	增加	增加
秋季	0.763	强	0.729	较强	0.749	较强	增加	增加
冬季	0.740	较强	0.756	强	0.746	较强	增加	增加
托勒	0.761	强	0.763	强	0.729	较强	增加	增加
野牛沟	0.744	较强	0.748	较强	0.736	较强	增加	增加
祁连	0.760	强	0.746	较强	0.750	较强	增加	增加
德令哈	0.730	较强	0.732	较强	0.737	较强	增加	增加
刚察	0.753	强	0.743	较强	0.749	较强	增加	增加
门源	0.743	较强	0.740	较强	0.740	较强	增加	增加
茶卡	0.746	较强	0.751	强	0.750	强	增加	增加
西宁	0.742	较强	0.765	强	0.737	较强	增加	增加
民和	0.724	较强	0.750	较强	0.717	较强	增加	增加
都兰	0.720	较强	0.736	较强	0.717	较强	增加	增加
恰卜恰	0.760	强	0.761	强	0.757	强	增加	增加
山丹	0.735	较强	0.756	强	0.752	强	增加	增加
永昌	0.727	较强	0.769	强	0.726	较强	增加	增加
张掖	0.732	较强	0.758	强	0.748	较强	增加	增加
武威	0.747	较强	0.765	强	0.747	较强	增加	增加
乌鞘岭	0.727	较强	0.742	较强	0.741	较强	增加	增加
高台	0.736	较强	0.751	强	0.736	较强	增加	增加
民勤	0.740	较强	0.754	强	0.731	较强	增加	增加
酒泉	0.727	较强	0.754	强	0.737	较强	增加	增加

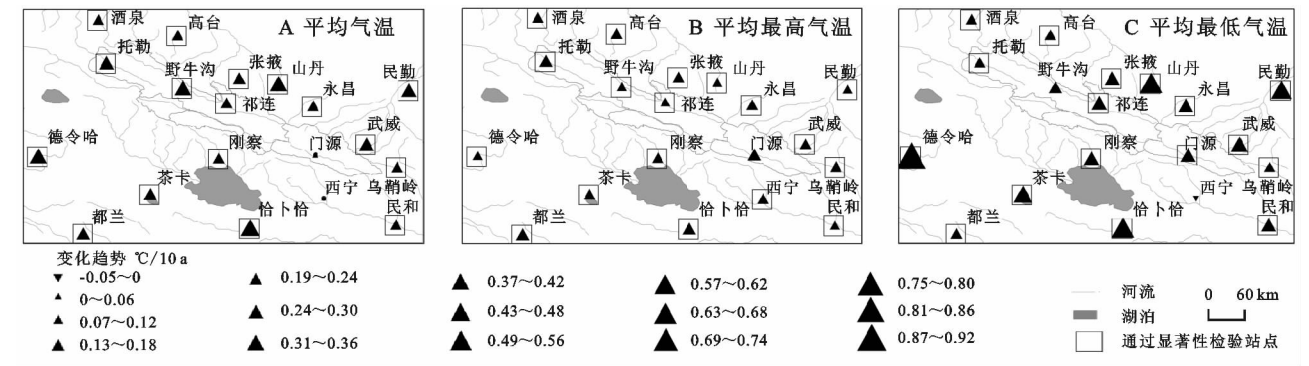


图 4 多年平均气温、最高与最低气温的变化趋势空间分布

4.2 年代际气温的空间变化

4.2.1 年代际平均气温的空间变化 从图 5 可知, 1960—1969 年各站点的平均气温处于下降趋势的为 西宁、民和、都兰、山丹、永昌、张掖、乌鞘岭、高台、民

勤与酒泉,占 52.63%,倾斜率为 −0.09~−1.36℃/10 a,民勤站降低最明显,为 −1.36℃/10 a,其余站点均为增长趋势,占 47.37%,增长率最大站点为武威 (1.22℃/10 a),31.58%的气象站点通过了显著性检

验,其中核心区站点的倾斜率均为增长趋势,平均值为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;1970—1979 年倾斜率处于增长的站点多于处于下降的站点,比例分别为 63.16%与 36.84%,德令哈增长最快($1.06^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),门源下降最快($-1.01^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),二者相差 $2.07^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,15.79%的站点通过了显著性检验,其中核心区站点的倾斜率均为降低趋势,平均值为 $-0.51^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;1980—1989 年各站点均处于上升趋势,平均值为 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,上升率最大为门源($1.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),民和最小($0.05^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),大部分站点的倾斜率为 $0\sim 0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,所占比例为 73.68%,核心区均为增长趋势,从大到小依次为门源、托勒、祁连、野牛沟,该阶

段只有门源站通过了显著性检验;1990—1999 年 94.74%的站点气温处于增长趋势,只有西宁站为负增长($-1.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),最大值为武威($1.42^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),二者相差 $2.83^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,52.63%的站点通过了显著性检验,其中核心区西北两站较其余两站增长快;2000—2009 年除了都兰($-0.30^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)和山丹($-0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)为负增长,其余站点均为正增长,均值为 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,26.32%的站点通过了显著性检验;2000—2014 年除了西宁($-0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)为负增长,其余站点均为正增长,均值为 $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,显著性检验通过率为 21.05%;核心区 60 年代、70 年代、80 年代门源站平均气温变化最大,之后野牛沟站变化最大。

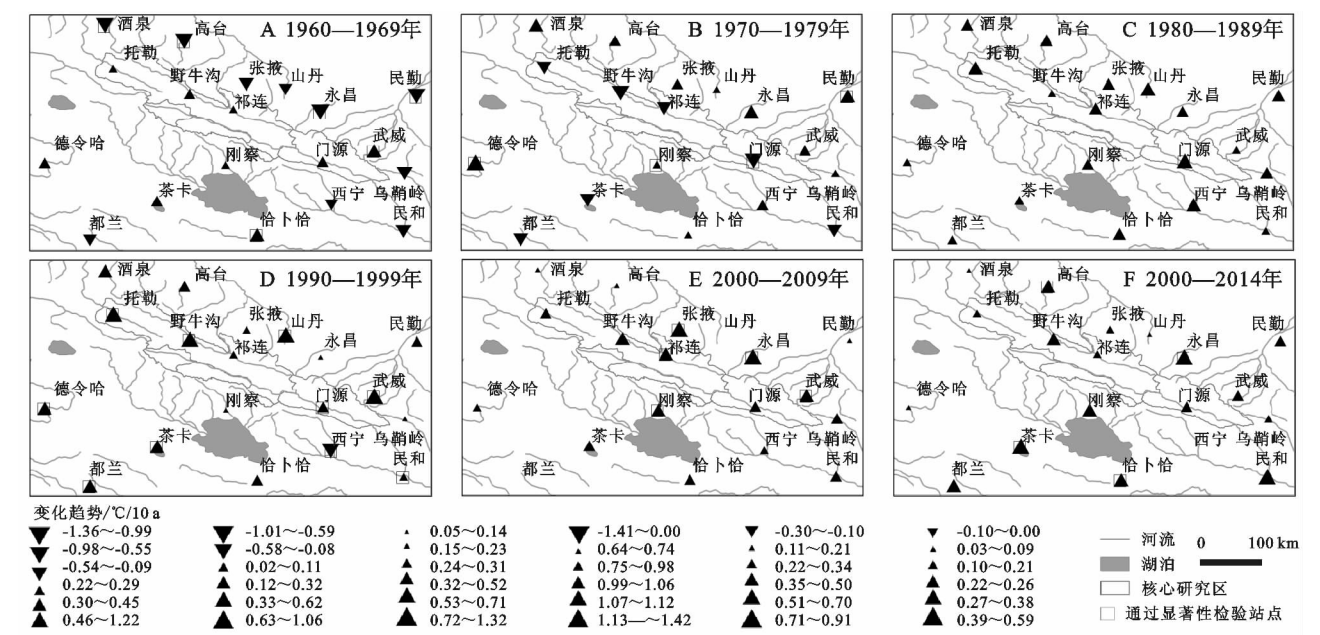


图 5 1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区年代际平均气温的变化趋势空间分布

4.2.2 年代际平均最低气温的空间变化 由图 6 可知,1960—1969 年各站点的平均最低气温的变化趋势正负增长之比为 9:11,其中茶卡增长最快,增长趋势 $\geq 1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的站点为刚察($1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、茶卡($1.15^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、恰卜恰($1.03^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),增长趋势 $\leq -1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的站点为民和($-1.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),相差最大的二者相差 $3.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,显著性通过率为 26.32%,其中核心区增长趋势为由西北向东南递减,依次为托勒($0.78^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、野牛沟($0.70^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、祁连($0.34^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、门源($0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$);1970—1979 年 57.89%的站点为正增长,德令哈($3.97^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)增长最快,42.11%站点为负增长,门源($-2.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)下降的最快,二者相差 $6.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,门源、德令哈、刚察、民勤四站点通过了显著性检验,其中核心区站点均为负增长,均值为 $-0.73^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,降低较为明显;1980—1989 年各站点均为增长趋势,均值为 $0.73^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,门源增长最快,增长趋势 $\geq 1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的站点为门

源($2.37^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、西宁($1.06^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、山丹($1.15^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、民勤($1.02^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),显著性检验通过率为 36.84%,其中核心区站点的倾斜率由西北向东南表现为增大趋势;1990—1999 年除了西宁($-2.51^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)为负增长,其余站点均为正增长,均值为 $0.83^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其中 10 个站点通过了显著性检验。2000—2009 年除了都兰($-0.30^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)为负增长,其余站点均为正增长,均值为 $0.82^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,均值与 80 年代相似,52.63%的站点通过了显著性检验;2000—2014 年 84.21%的站点增长率为正值,永昌的增温趋势最大为 $1.00^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,通过显著性检验的比率为 42.11%。核心区除了 1970—1979 年的站点变化趋势为负增长之外,其余年代均为正增长。

4.2.3 年代际平均最高气温的空间变化 从图 7 分析得出 1960—1969 年 73.68%的站点平均最高气温的变化趋势为下降趋势,武威降低最为明显($-1.80^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$),均值为 $-0.81^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,刚察没有发生变化,托勒、

门源、德令哈、恰卜恰为增长趋势,31.58%的站点通过了显著性检验;1970—1979年50%的站点为正增长,9个站点为负增长,托勒站无变化,德令哈变化最大($-1.07^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),张掖的增长趋势最明显($0.49^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),二者相差 $1.56^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,只有酒泉站点通过了相关显著性检验;1980—1989年大部分站点为正增长,高台站增长最快($0.42^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),26.32%的站点为负增长,酒泉站点通过了相关显著性检验;1990—1999年各站点均为正增长,门源增长最快($1.48^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),增长趋势

$\geq 1.00^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的站点为12个,占到全部站点的63.16%,西宁增长最慢($0.06^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),核心区平均增长率为 $1.11^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,增长较快;2000—2009年除了都兰($-0.30^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)、山丹($-0.09^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)为负增长与野牛沟为零增长外,其余16个站点均为正增长,全部站点增长趋势均值为 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;2000—2014年除了野牛沟($-0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)、山丹($-0.05^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)为负增长外,其余17个站点均为正增长,增长最快的是都兰($0.72^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)只有高台通过了显著性检验。

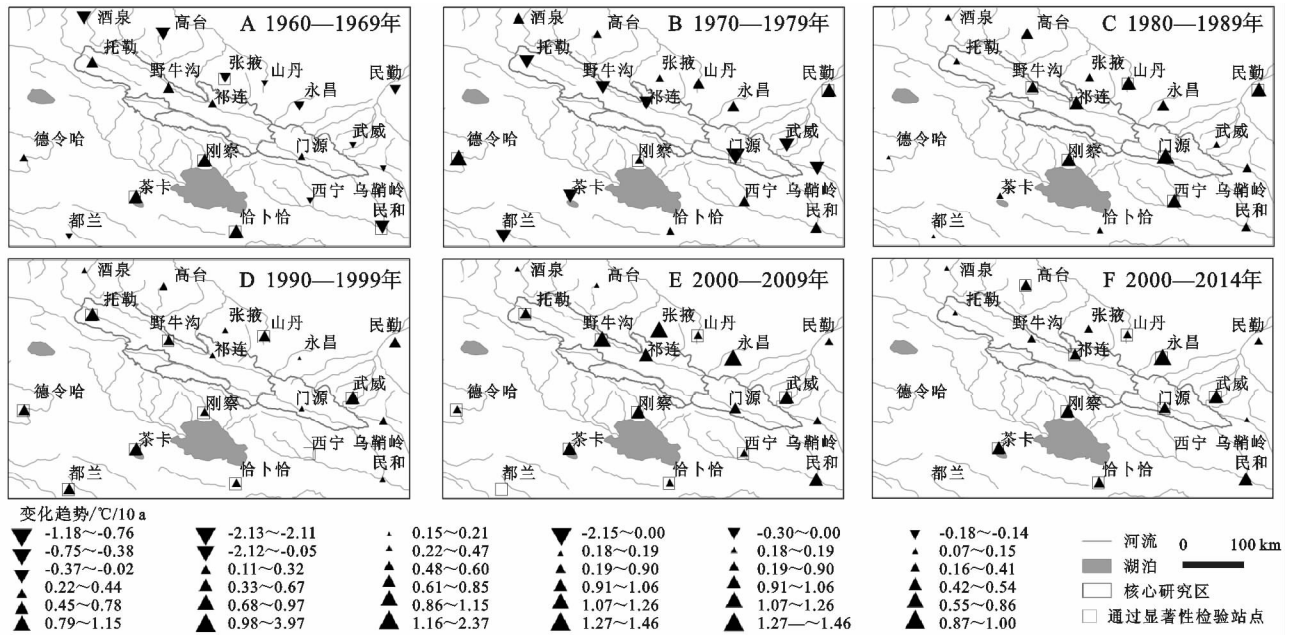


图6 1960—2014年祁连山南坡及其附近地区年代际平均最低气温的变化趋势空间分布

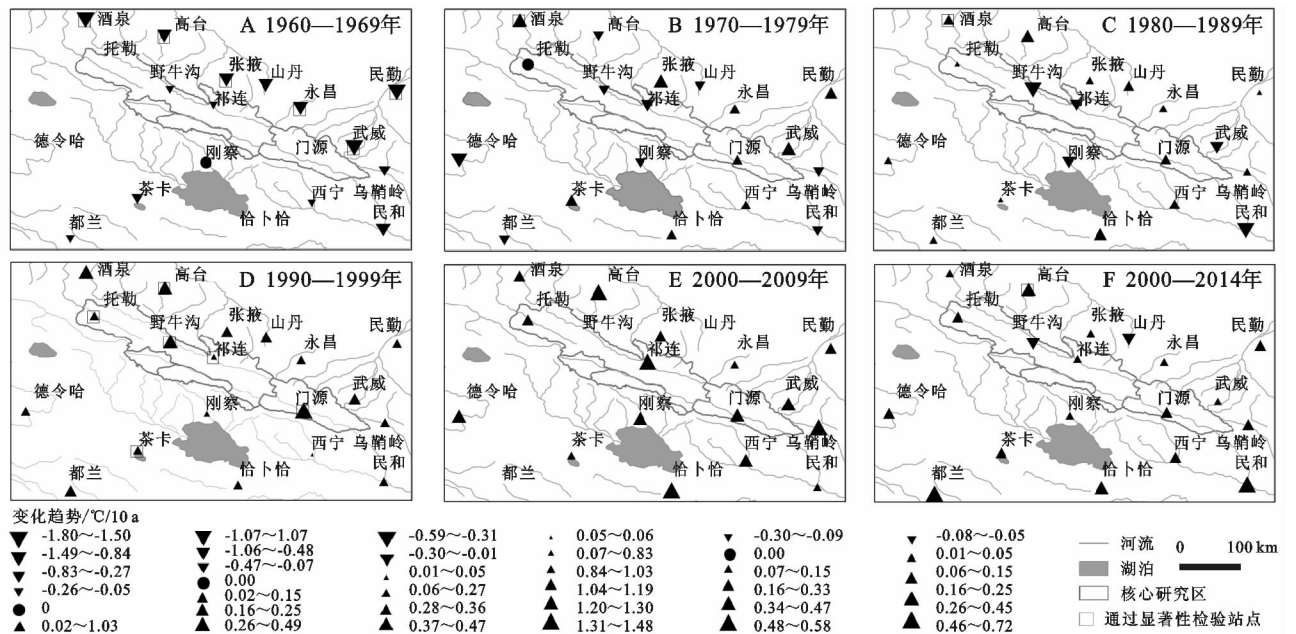


图7 1960—2014年祁连山南坡及其附近地区年代际平均最高气温的变化趋势空间分布

4.2.4 季节平均气温的空间变化 从图8可知,研究期内各站点除了西宁春季($-0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)和秋季($-0.09^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)平均最低气温为负增长之外,其余

季节的平均气温、平均最低气温、平均最高气温均为增长趋势,87.28%站点的变化趋势为 $0\sim 0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。(1)春季(图8A):平均气温、平均最低气温、平均最

高气温的倾斜率范围分别为 $0.05\sim0.39^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $-0.13\sim0.68^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.10\sim0.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 平均值分别为: $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.20^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 变化趋势由大到小依次为: 平均最低气温、平均气温、平均最高气温; 平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率最大值与最小值分别为武威与西宁、德令哈与西宁、张掖与祁连; 核心研究区比外围研究区春季的平均气温、平均最低气温、平均最高气温的变化趋势均较小, 其平均值分别比外围研究区低 $0.05^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.09^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.09^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 除了西宁春季平均气温未通过显著性检验之外, 其余均通过。(2) 夏季(图 8B): 变化趋势由大到小依次为: 平均最低气温、平均最高气温、平均气温, 其平均值分别为 $0.40^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 其中平均气温的最大值(恰卜恰, $0.40^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)与最小值(西宁, $0.02^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)相差较大 ($0.38^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$), 平均最低气温的最大值(德令哈, $0.66^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)与最小值(西宁, $0.02^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)相差 $0.64^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 平均最高气温的最大值(西宁, $1.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)与最小值(民勤, $0.10^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)相差 $1.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 差值由大到小依次为平均最高气温、平均最低气温、平均气温; 核心研究区平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率范围分别为 $0.17\sim0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.35\sim0.60^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.16\sim0.41^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 其平均值分别为 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.44^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 比外围研究区的平均气温、平

均最低气温、平均最高气温变化趋势均较大; 除了西宁的平均气温与平均最低气温、山丹与民勤的平均最高气温未通过显著性检验, 其余均通过了显著性检验。(3) 秋季(图 8C): 平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率最大值与最小值的差值分别为: $0.47^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.82^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 其均值分别为: $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.38^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 变化趋势相近; 核心研究区平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率均值分别为 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 比外围研究区春季的平均气温、平均最低气温、平均最高气温变化趋势均较小, 其平均值分别比外围研究区低 $0.003^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.04^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.01^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 显著性检验通过率为 94.44%。(4) 冬季(图 8D): 平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率范围分别为 $0.14\sim0.87^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.08\sim1.43^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.15\sim0.50^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 变化趋势与春季相似, 由大到小依次为: 平均最低气温、平均气温、平均最高气温, 平均值分别为: $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 核心研究区平均气温、平均最低气温、平均最高气温的倾斜率均值分别为 $0.44^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 比外围研究区春季的平均气温、平均最低气温、平均最高气温变化趋势均较小, 其平均值分别比外围研究区低 $0.009^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.06^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, $0.01^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; 显著性检验通过率为 91.67%。

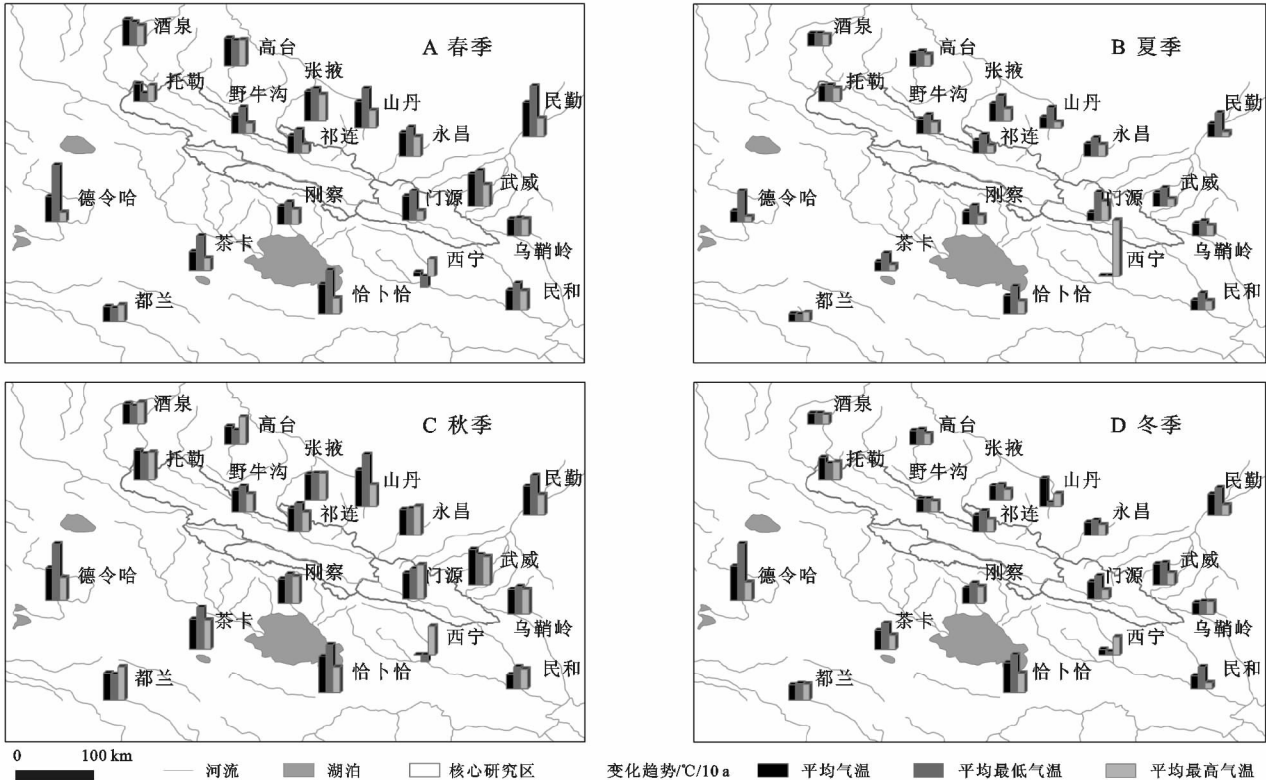


图 8 1960—2014 年祁连山南坡及其附近地区四季气温的变化趋势空间分布

5 讨论与结论

5.1 讨论

2000—2014 年比 1990—1999 年的升高趋势降低了 24.14%,但是并不能说明近 10 多年全球变暖停滞,可能是受到太阳活动和火山活动等自然外强迫造成的,所以关于这部分的内容今后做进一步的研究;本文在分析气温的时间序列变化上没有采用小波分析、功率谱分析等方法,这点是今后研究所考虑的;对于影响气温变化的机制,比如大气环流、局部地形等因素,今后的研究会考虑这方面的研究工作。

5.2 结论

(1) 时间序列变化:祁连山南坡及其附近地区多年平均气温、平均最低气温、平均最高气温、季节气温的变化趋势均为上升趋势,最低气温与冬季气温对全球变暖贡献大,气温的年代际变化除了 20 世纪 60 年代的平均气温、平均最高气温与 70 年代的平均最高气温变化趋势为负增长之外,其余也均为正增长;R/S 分析得出今后变化趋势与过去变化趋势一致。

(2) 空间分布规律:平均气温除了西宁站的最低气温为负增长之外,各站点的平均气温、最高气温均为增长趋势,年代际气温变化各站点差异较大,各站点的季节气温除了西宁春季和秋季的平均最低气温为负增长之外,其余季节的平均气温、平均最低气温、平均最高气温均为增长趋势。

参考文献:

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [2] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.
- [3] 姚玉璧,肖国举,王润元,等. 近 50 年来西北半干旱区气候变化特征[J]. 干旱区地理,2009,32(2):159-165.
- [4] 张一驰,吴凯,于静洁,等. 华北地区 1951—2009 年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(11):1930-1941.
- [5] 贺伟,布仁仓,熊在平,等. 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报,2013,33(2):519-531.
- [6] 宋辞,裴韬,周成虎. 1960 年以来青藏高原气温变化研究进展[J]. 地理科学进展,2012,31(11):1503-1509.
- [7] 樊杰. 中国主体功能区划方案[J]. 地理学报,2015,70(2):186-201.
- [8] 李新武,张丽,郭华东,等. “丝绸之路经济带”干旱—半干旱区生态环境全球变化响应的空间认知[J]. 中国科学院院刊,2016(5):559-566.
- [9] 汤懋苍,许曼春. 祁连山区的气候变化[J]. 高原气象,1984,3(4):23-35.
- [10] 张存杰,郭妮. 祁连山区近 40 年气候变化特征[J]. 气象,2002,28(12):33-39.
- [11] 蓝永超,康尔泗,张济世,等. 祁连山区近 50 a 来的气温序列及变化趋势[J]. 中国沙漠,2001,21(S1):53-57.
- [12] 贾文雄. 近 50 年来祁连山及河西走廊极端气温的季节变化特征[J]. 地理科学,2012,32(11):1377-1383.
- [13] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山及河西走廊气候变化的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2008,28(6):1151-1155.
- [14] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析[J]. 地理学报,2008,63(3):257-269.
- [15] 尹宪志,张强,徐启运,等. 近 50 年来祁连山区气候变化特征研究[J]. 高原气象,2009,28(1):85-90.
- [16] 张耀宗,张勃,刘艳艳,等. 近半个世纪以来祁连山区气温与降水变化的时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(4):125-130.
- [17] 王海军,张勃,靳晓华,等. 基于 GIS 的祁连山区气温和降水的时空变化分析[J]. 中国沙漠,2009,29(6):1196-1202.
- [18] 戴声佩,张勃. 基于 GIS 的祁连山植被 NDVI 对气温降水的旬响应分析[J]. 生态环境学报,2010,19(1):140-145.
- [19] 王亚敏,张勃,郭玲霞,等. 地磁 Ap 指数与太阳黑子数的交叉小波分析及 R/S 分析[J]. 地理科学,2011(6):747-752.
- [20] 李业学,刘建锋. 基于 R/S 分析法与分形理论的围岩变形特征研究[J]. 四川大学学报:工程科学版,2010,42(3):43-48.
- [21] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):152-164.
- [22] 杨东,王慧,程军奇,等. 近 50 年青海省气候变化特征及其与 ENSO 的关系[J]. 生态环境学报,2013(4):547-553.
- [23] Kerr R A. What happened to global warming? Scientists say just wait a bit[J]. Science, 2009,326(5949):28-29.
- [24] 王绍武,罗勇,唐国利,等. 近 10 年全球变暖停滞了吗?[J]. 气候变化研究进展,2010,6(2):95-99.
- [25] 唐红玉,翟盘茂,王振宇. 1951—2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):728-735.
- [26] 赵宗慈,罗勇,黄建斌. 围绕全球变暖“停滞”的争论[J]. 气候变化研究进展,2016,12(6):571-574.
- [27] 冯新灵,罗隆诚,冯自立,等. 中国雨日变化趋势的分形研究[J]. 自然灾害学报,2009,18(6):112-117.