

doi: 10.13866/j.azr.2018.01.09

近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征^①

商沙沙¹, 廉丽姝², 马婷¹, 张琨¹, 韩拓¹

(1. 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东 曲阜 276826)

摘要: 利用中国西北地区 1961—2014 年 191 个台站的逐月气温和降水资料, 通过线性倾向估计、滑动平均、累积距平、IDW(反距离空间插值)等方法, 研究了西北地区气温和降水的时空变化特征。结果表明: 近 54 a 西北地区平均气温呈波动上升趋势, 其中冬季的增温速率最大, 极端最高、最低气温均呈上升趋势。降水量也呈上升趋势, 尤其是近几年上升速度较快。降水主要集中在夏季, 进入 21 世纪后冬季降水增加。多年平均气温较高区域集中在南疆地区、祁连山东南部, 其中升温较明显区域集中在准噶尔盆地和天山地区西南部分地区。降水量表现出东多西少的特征, 降水量较多区域集中在祁连山东南部, 降水量较少区域集中在南疆地区, 其中降水增加较明显区域集中在北疆地区、塔里木盆地的西部地区。从西北地区近 54 a 气温和降水的时空变化可以看出, 西北地区有向暖湿转变的趋势。

关键词: 气温; 降水量; 气候变化; 时空特征; 西北地区

IPCC 第五次评估报告指出: 1880—2012 年, 全球平均地表温度升高了 0.85 °C; 预计 2016—2035 年全球平均地表温度将升高 0.3 ~ 0.7 °C, 2081—2100 年将升高 0.3 ~ 4.8 °C; 而全球降水将呈现“干者愈干, 湿者愈湿”的趋势。自 20 世纪 80 年代以来, 很多学者对中国气候变化也进行了大量的研究⁽¹⁻⁴⁾。如范泽孟等⁽²⁾、翟盘茂等⁽³⁾利用全国气象台站长期观测的气温和降水数据进行空间统计分析, 发现中国气温变化与全球有同样的持续上升趋势, 而降水总量变化幅度不大, 存在显著的区域分布差异及变化特征。

西北地区降水变率大, 是我国气候变化的敏感区和生态脆弱区⁽⁵⁾; 西北是重要的粮食生产基地, 降水的变化对粮食生长和产量有很大影响⁽⁶⁾, 因此, 研究西北地区气候变化特征有助于科学调整农业结构, 制定合理的水资源利用策略。此外, 西北地区冰川广布, 是对全球气候变暖响应最明显的地区之一。近年来, 西北地区出现降水增加、湖泊水位上升、冰雪融化、沙尘暴日数减少等现象, 施雅风等⁽⁷⁻⁸⁾认为这些都是西北地区气候转向暖湿的强劲信号, 提出了西北地区气候正由暖干向暖湿转化趋

势的推断。窦睿音等⁽⁹⁾、赵一飞等⁽¹⁰⁾的研究表明, 甘肃省、河西及河东地区都表现出明显暖化趋势, 李栋梁等⁽¹¹⁾利用西北地区建站至 2000 年常规气象观测站资料也揭示了西北地区暖湿化的事实; 赵传成等⁽¹²⁾、张强等⁽¹³⁾利用 1959—2008 年的地面气温和降水资料, 分析了西北地区气候的时空变化特征, 都发现西北地区气温呈显著的上升趋势, 而降水具有显著的区域差异并表现出整体暖干化局部暖湿化现象。

纵观这些研究, 多数文献⁽¹⁻²³⁾利用 1951—2000 年的气象观测资料, 亟需补充观测资料的时间长度, 获得西北地区气候变化的完整图像。此外, 多数研究侧重于年平均变化特征, 而对气温和降雨的季节变化特征研究较少。本文系统收集西北地区 191 个站点 1961—2014 年的气温和降水资料, 分析年际和季节变化特征, 揭示西北地区的气候变化特征, 为应对西北地区气候变化提供参考依据。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

研究区主要包括西北地区的陕西、宁夏、甘肃、

① 收稿日期: 2017-02-27; 修订日期: 2017-06-06

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFC0500203); 国家自然科学基金项目(31370467 and 41571016); 中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2015-862151)资助

作者简介: 商沙沙(1994-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事干旱区水文过程研究。E-mail: shangshsh16@lzu.edu.cn

通讯作者: 廉丽姝。E-mail: llsh8210@163.com

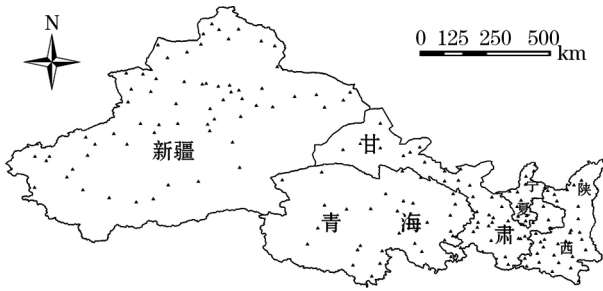


图 1 西北地区气象站点分布示意图

Fig. 1 Spatial distribution of the meteorological stations in northwest China

青海、新疆 5 个省。该区域深居内陆, 由于地形对湿润气流的阻挡, 本区仅东南部为温带季风气候, 其他区域为温带大陆性气候, 冬季严寒而干燥, 夏季高温, 降水稀少, 干旱是本区的主要自然特征(为半干旱、干旱气候)。选用西北地区 191 个气象站 1961—2014 年的观测资料, 分析西北地区近 54 a 来的气温和降水的时间特征。研究区域及站点分布情况见图 1。

1.2 数据来源与处理

本文主要是针对西北地区气温和降水的气候变化特征进行分析, 选用的资料是西北地区 191 个国际地面气象观测站 1961—2014 年的逐月地面气温和降水资料, 包括平均气温、极端最高气温、极端最低气温和降水量。资料来源于中国气象数据网 ([www. http//data. cma. cn](http://data.cma.cn)) , 其中有些台站某些月份为缺失资料, 分析时予以剔除, 共用 176 个台站。其中四季的划分为春季(3、4、5 月)、夏季(6、7、8 月)、秋季(9、10、11 月)、冬季(12、1、2 月)。

1.3 研究方法

为了解气温和降水的长期变化趋势, 利用一元线性回归和 5 a 滑动平均来描述气温和降水的长期变化趋势。一元线性回归是最简单的线性回归模式, 其意义是建立 x 、 y 之间的线性关系, 描述其线性趋势。滑动平均是趋势拟合技术最基础的方法, 它相当于低通滤波器, 用确定时间序列的平滑值来显示变化趋势。对样本量为 n 的序列 x , 其滑动平均表示为:

$$x_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1}, \quad (j=1, 2, \dots, n-k+1) \quad (1)$$

式中: k 为滑动长度。分析时主要从滑动平均曲线图来判断其变化趋势, 看其变化趋势有几次明显的波动是呈上升趋势还是下降趋势。

累积距平是一种常用的方法, 可通过曲线直观

地判断变化趋势。对于序列 x 其某一时刻 t 的累积距平表示为:

$$\hat{x}_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

从曲线起伏的变化情况可以判断长时间的演变趋势, 甚至还能诊断出突变发生的大概时间。

2 结果与分析

2.1 气温的时间变化特征

2.1.1 年际变化 近 54 a 来西北地区平均气温为 $6.67 \text{ }^\circ\text{C}$, 其中年平均气温最高的是 2013 年, 为 $8.46 \text{ }^\circ\text{C}$ 。从年平均气温的线性变化趋势(图 2a) 可知, 近 54 a 年来平均气温呈上升趋势, 气温倾向率为 $0.42 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 且通过了 0.01 的显著性检验, 上升趋势显著, 反映出近 54 a 尤其是 1997 年以来西北地区气候趋于变暖。平均气温距平变化曲线表明 1997 年以前气温距平主要为负值, 而 1997—2014 年距平值全部为正值且有 14 a 距平值在 $+0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 其中 1998、2006、2007、2009、2010、2013、2014 年距平值超过 $+1 \text{ }^\circ\text{C}$, 甚至 2013 年距平值为 $+1.8 \text{ }^\circ\text{C}$, 可见近 20 a 来气候变暖加快。这与赵传成等^[12]的研究结果相一致, 20 世纪 90 年代后气温上升明显, 本文研究也发现 2010 年以来气温上升非常明显, 说明近几年气温上升趋势只增未减。西北地区平均气温距平 5 a 滑动平均曲线表明, 西北地区气温在波动中上升, 20 世纪 60—90 年代初期呈下降趋势, 20 世纪 90 年代中期至 21 世纪初呈上升趋势, 尤其是 21 世纪初期上升趋势明显。

近 54 a 来西北地区极端最低气温总体呈上升趋势(图 2c), 气温倾向率为 $0.58 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 通过了 0.01 的显著性检验, 上升趋势比较显著。极端最低气温距平变化曲线表明, 20 世纪 90 年代以来, 西北地区极端最低气温明显升高, 1994—2014 年的气温距平全部为正值, 其中有 16 a 距平值在 $+0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 11 a 距平值在 $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上, 2013 年距平值甚至达到 $+2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。而 5 a 滑动平均曲线表明, 西北地区极端最低气温 20 世纪 60—70 年代呈下降趋势, 而 70 年代以后至今一直呈显著的上升趋势, 尤其是近几年上升趋势明显。

从平均气温、极端最高、最低气温距平变化曲线对比中可知: ① 气温均呈上升趋势; ② 极端最低气

温的线性上升趋势最显著,而极端最高气温线性上升趋势低于极端最低和平均气温。可见,西北地区气候变暖是明显的,而气候变暖贡献率较大的是极端最低气温的升高,极端最高气温贡献率较小。这与赵军等⁽²¹⁾、孙莹等⁽²²⁾对中国大陆极端气温时空变化分析相一致,极端最低气温的升幅大于极端最高气温的升幅,极端气温差趋于缓和。

2.1.2 季节变化 近 54 a 西北地区各个季节气温都呈上升趋势(图 3),春季气温倾向率为 $0.40\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,夏季为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,秋季为 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,冬季为 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,且都通过了 $r=0.01$ 的显著性检验,上升趋势明显,其中冬季的增温速率最大。大约从 1997 年开始四个季节气温距平值为正值,尤其是近几年距平值都在 $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,这与西北地区年平均气温的变化趋势一致。四季气温的滑动平均曲线表明,春季和夏季气温从 20 世纪 60—90 年代波动变化较小,90 年代后呈迅速上升趋势。秋季和冬季从 60—80 年代中期气温呈缓慢上升趋势,80 年代中期以后气温呈迅速上升趋势,尤其是冬季近几年气温上升迅速。夏、秋、冬季极端最高气温从 60 年代至今一直呈上升趋势,其中夏季 20 世纪 90 年代初至 21 世纪初呈迅速上升趋势。

近 54 a 西北地区各个季节极端最高气温都呈上升趋势(图 4),春季倾向率为 $0.40\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,

夏季为 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,秋季为 $0.47\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,冬季为 $0.37\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,且都通过了 $r=0.01$ 的显著性检验,上升趋势显著。

西北地区四季极端最高气温距平变化曲线表明,各个季节的极端最高气温均呈上升趋势。四个季节大约是从 1997 年开始气温距平值为正值,尤其是近几年距平值都在 $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,其中 2013、2014 年极端最高气温距平值达到 $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,可见,近几年西北地区极端高温天气发生概率较大,这和王鹏祥等⁽²³⁾对西北地区极端高温事件的研究结果一致,西北地区极端高温事件发生频次呈增加趋势。西北地区四季极端最高气温的 5 a 滑动平均曲线表明,夏、秋、冬季极端最高气温从 60 年代至今一直呈上升趋势,其中夏季 20 世纪 90 年代初至 21 世纪初呈迅速上升趋势,冬季在 80 年代初期至中期呈缓慢下降趋势。

近 54 a 西北地区四季极端最低气温呈上升趋势(图 5),春季倾向率为 $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,夏季为 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,秋季为 $0.63\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,冬季为 $0.59\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,且都通过了 $r=0.01$ 的显著性检验,上升趋势显著,其中秋季的增温速率最大,这与四季极端最高气温的变化趋势一致。

西北地区四季极端最低气温距平变化曲线表明,四个季节大约是从 1997 年开始气温距平值为正值,近几年距平值都在 $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,其中从 2010 年

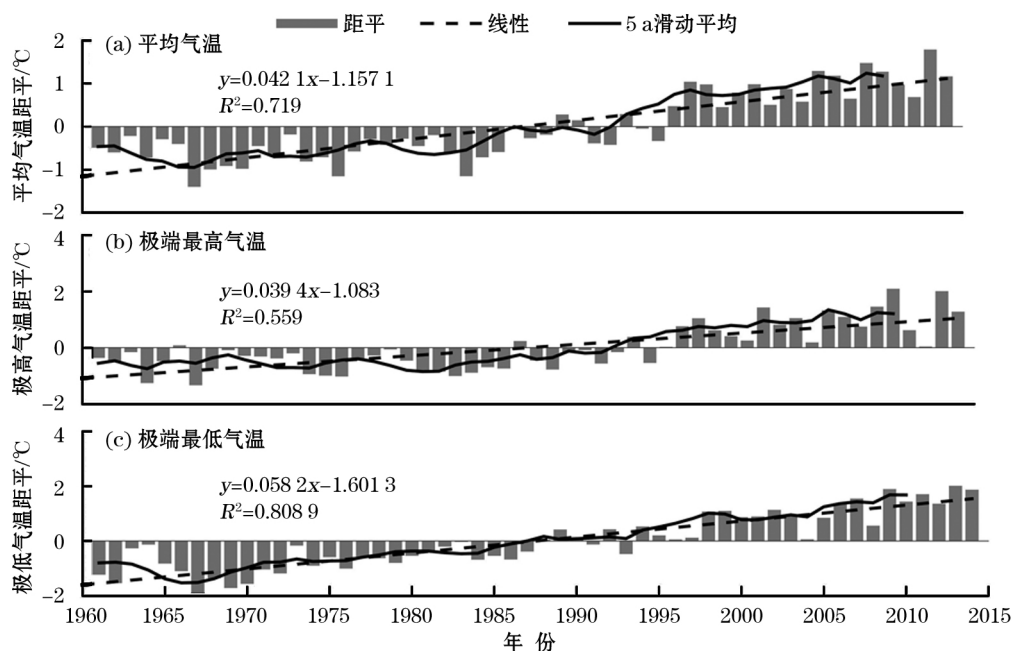


图 2 西北地区气温距平变化曲线

Fig. 2 Variation of annual temperature in northwest China in the period of 1961–2014

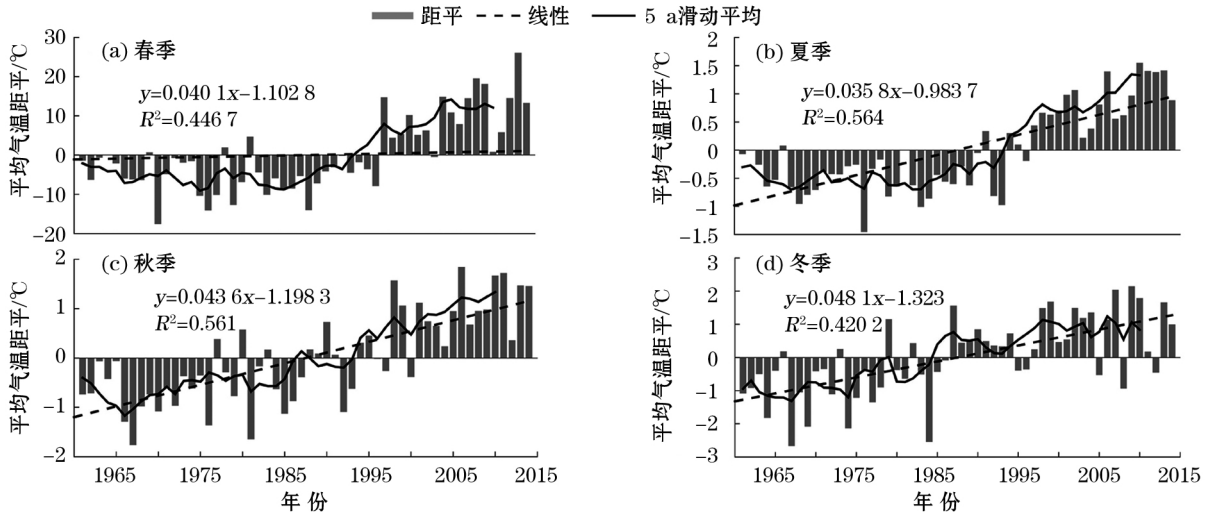


图 3 西北地区四季平均气温距平变化曲线

Fig. 3 Variation of seasonal average temperature in northwest China

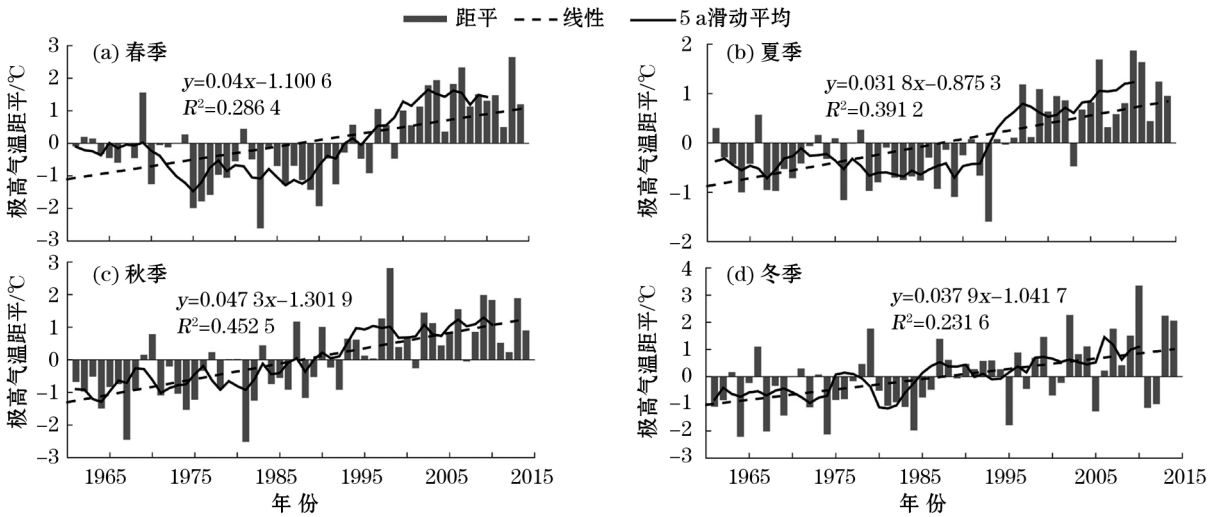


图 4 西北地区四季极端最高气温距平变化曲线

Fig. 4 Variation of seasonal extreme maximum temperature in northwest China

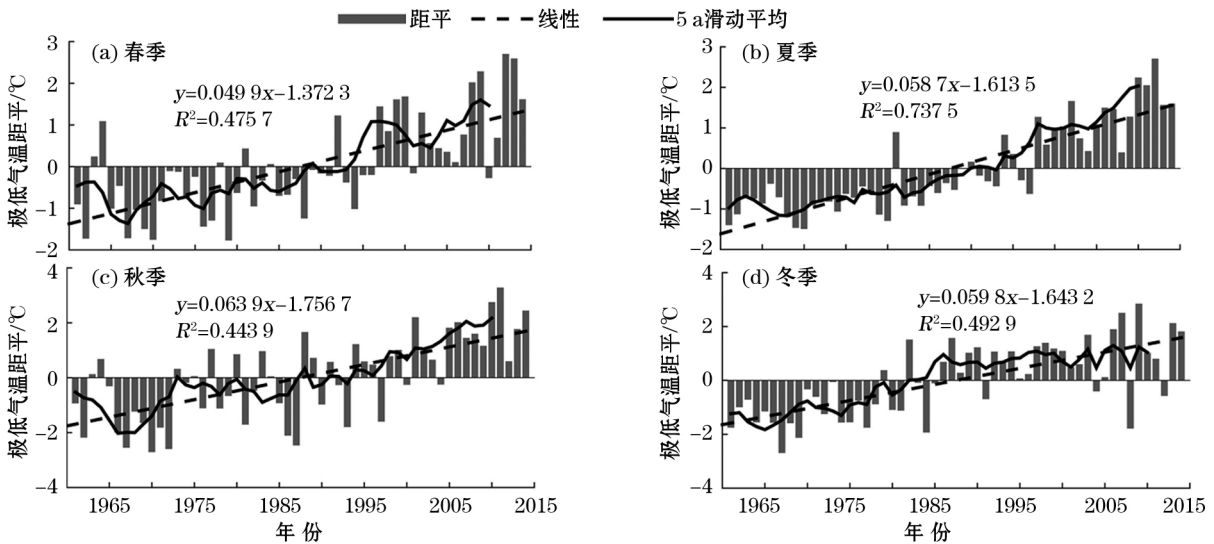


图 5 西北地区四季极端最低气温距平变化曲线

Fig. 5 Variation of seasonal extreme minimum temperature in northwest China

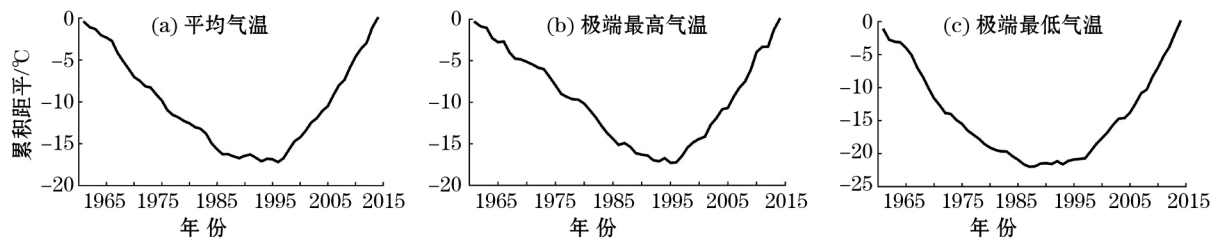


图6 西北地区平均气温、极端最高气温、极端最低气温累积距平曲线

Fig. 6 Cumulative anomalies of average temperature, extreme maximum temperature and extreme minimum temperature in northwest China

至今极端最低气温距平值达到 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,可见近几年西北地区极端低温呈升高趋势,这和任富民等^[24]的研究结果相一致。极端低温在各季都表现出明显的增温趋势。说明西北地区平均气温的上升可能是由于极端低温的上升。

西北地区四季极端最低气温的 5 a 滑动平均曲线表明,春季和秋季极端最低气温从 60—70 年代初期呈下降趋势,70 年代初期至今一直呈波动上升趋势。夏季、冬季从 60 年代至今一直呈上升趋势,可见西北地区气候变暖是毋庸置疑的事实,且变暖速率较快。

西北地区四季平均气温、极端最高气温、极端最低气温的距平变化曲线对比分析表明:①气温都呈显著的上升趋势;②气温变率最大的主要集中在秋季和冬季,其中极端最高和最低气温都在秋季增温最显著。

2.1.3 年际变化的阶段性特征 西北地区气温 1961—1980 年气温以偏冷为主,1980—1997 年气温偏暖,但偏暖幅度较小,平均气温大约在 1996 年发生突变,1997—2014 年气温偏暖幅度增大(图 6a),表明近 30 a 来气候变暖加快。极端最高气温从 1971—1995 年以偏冷为主,大约在 1995 年左右发生突变,从 1995 年以后极端最高气温以偏暖为主(图 6b)。极端最低气温 1961—1980 年以偏冷为主,1980—1997 年偏暖,但偏暖幅度较小,1997—2014 年偏暖幅度迅速增大(图 6c),但气温偏暖变化的时间比极端最高气温稍早(偏冷和偏暖相对平均值来说)。

近 54 a 来西北地区平均气温、极端最高气温和极端最低气温累积距平变化曲线对比来看:①气温变化经历了一个偏冷期和偏暖期;② 1981—1995 年是西北地区气温变化的敏感区,1995 年左右是气温变化的启动区,其中极端最低气温回升的启动时间

要比平均气温和极端最高气温稍早一点。

2.2 气温的空间变化特征

1961—2014 年西北地区平均气温倾向率空间分布(图 7a)表明,年平均气温升温较明显的区域集中在准噶尔盆地和天山西南部分地区,极端最高气温(图 7b)升温最明显区域集中在准噶尔盆地、塔里木盆地的部分地区。极端最低气温(图 7c)升温明显区域主要分布在天山地区附近。

2.3 降水的时间变化特征

2.3.1 年际变化 近 54 a 西北地区降水量呈上升趋势(图 8),年均降水量为 299 mm,其中年降水量最多的年为 1964 年(369 mm),最少年为 1997 年(190 mm)。降水量倾向率为 $4.87\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,没有通过 0.05 的显著性检验,上升趋势不显著。1961—2008 年降水量距平值大部分为负值,而 2008—2014 年降水量距平值全部为正值,且 2013 年距平值达到了 50 mm,与任国玉等^[25]的研究一致。进入 21 世纪以来西北地区降水量相对 20 世纪 90 年代及以前有明显的上升,说明近几年西北地区降水量迅速增多,且与年平均气温变化趋势一致,这种趋势正如董思言等^[26]的研究所表明的一样,随着温度的升高,降水将增加。西北地区年降水量 5 a 滑动平均曲线表明,60 年代中期至 80 年代中期降水量呈缓慢上升趋势,20 世纪 80 年代中期至 21 世纪呈缓慢下降趋势,21 世纪后降水量一直呈上升趋势,且在 2013 年上升尤其迅速。

2.3.2 季节变化 近 54 a 西北地区春季平均降水量为 59 mm,夏季 157 mm,秋季 71 mm,冬季为 10 mm。其中春季占年降水量的 19.9%,夏季占 52.6%,秋季占 23.9%,冬季占 3.7%。从各季节分配情况可以看出,西北地区降水主要集中在夏季,冬季降水最少(图 9)。春季降水倾向率为 $4.8\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$,没有通过 0.05 的显著性检验,上升趋势

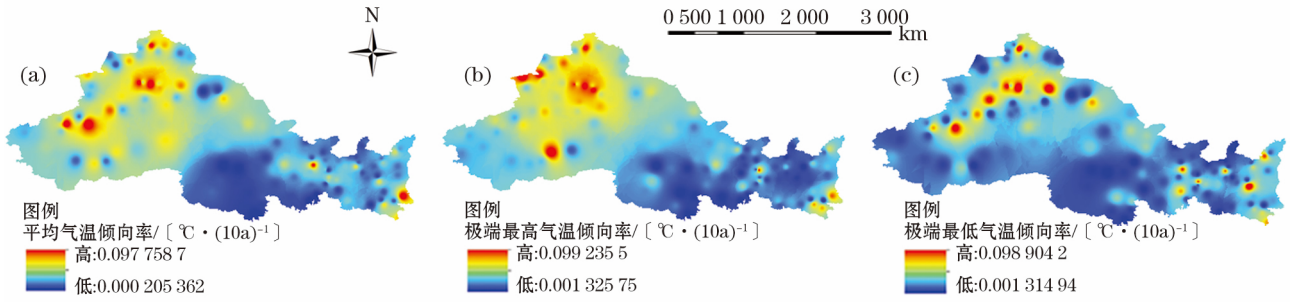


图 7 平均气温、极端最高气温、极端最低气温的空间变化特征

Fig. 7 Spatial variation of average temperature , extreme maximum temperature and extreme minimum temperature

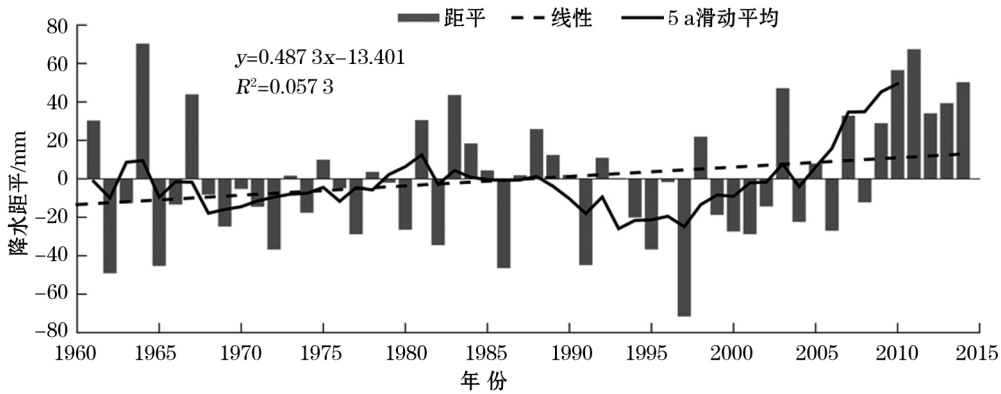


图 8 西北地区降水量距平变化曲线

Fig. 8 Variation of precipitation anomalies in northwest China

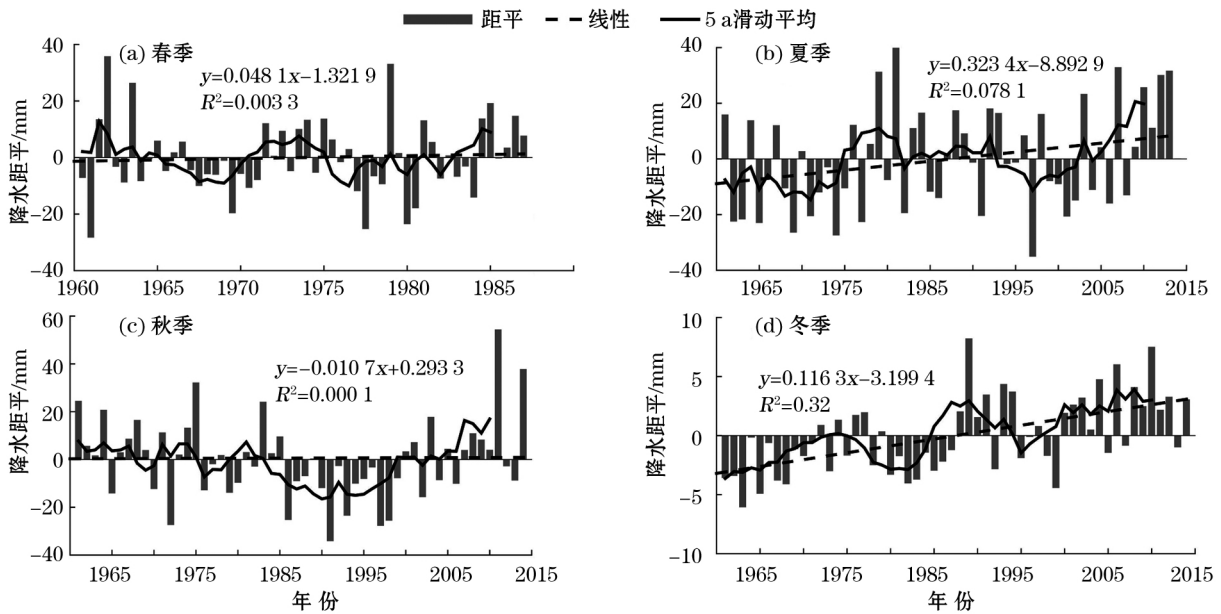


图 9 西北地区四季降水量距平变化曲线

Fig. 9 Variation of seasonal precipitation anomalies in northwest China

不显著;夏季降水倾向率为 $3.2 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,通过了 0. 05 的显著性检验;秋季降水倾向率 $-1.1 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,没有通过 0. 05 的显著性检验,下降趋势非常不显著;冬季降水倾向率为 1.16

$\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,通过了 0. 01 的显著性检验,上升趋势较显著,可知四个季节中夏季降水量的上升趋势最显著,冬季次之,说明西北地区降水量增加主要在夏季。

西北地区降水量距平变化曲线表明,四个季节进入 21 世纪后降水距平值大部分都为正值,其中冬季从 2000—2014 年的 15 a 中其中有 12 a 距平值为正值,说明进入 21 世纪后主要是冬季降水量增加。四季降水的 5 a 滑动平均曲线表明,春季降水 20 世纪 80 年代初期呈缓慢下降趋势,20 世纪 80—90 年代呈上升趋势,20 世纪 90 年代至 21 世纪初期呈下降趋势,21 世纪后变化较小。夏季降水除 20 世纪 80 年代初期至 80 年代中期呈缓慢下降趋势外,一直呈上升趋势。秋季降水从 20 世纪 60—80 年代变化较小,80 年代中期至 21 世纪初期呈缓慢下降趋势,21 世纪以后呈上升趋势。冬季降水从 20 世纪 60—80 年代初期呈缓慢上升趋势,80 年代初期至 90 年代初期呈迅速上升趋势,20 世纪 90 年代初期至 21 世纪初期呈下降趋势,21 世纪后降水量呈上升趋势。

这与西北地区近 54 a 来的四季气温变化较一致,21 世纪以来冬季升温速率最大,降水增加较多。

2.3.3 年际变化的阶段性特征 从 1961—2014 年西北地区降水量累积距平变化曲线(图 10)可知,1961—2002 年降水较大,约在 2002 年发生突变,2002—2014 年降水量呈迅速上升趋势,2001 年左右

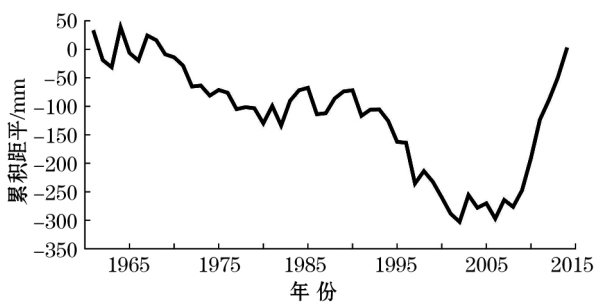


图 10 西北地区降水量累积距平变化曲线

Fig. 10 Cumulative anomalies of precipitation in northwest China

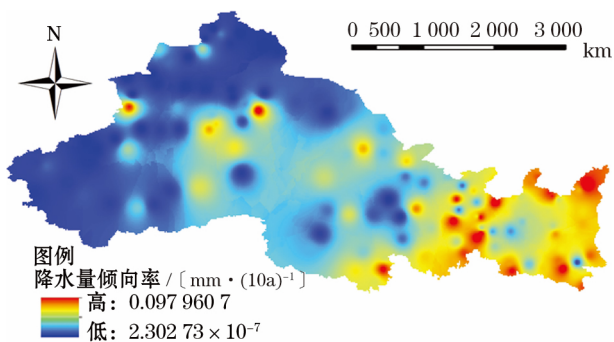


图 11 年降水量的空间变化特征

Fig. 11 Spatial variation of annual precipitation

是西北地区降水量增加的启动区,近几年降水量增加最为明显。

2.4 降水的空间变化特征

1961—2014 年从西北地区降水量倾向率空间分布图(图 11)可以看出,降水量增加率表现出自东南向西北递减的趋势,降水量增加明显区域主要分布在河西走廊的东部地区。

3 结论

(1) 1997 年以来西北地区气候趋于变暖,极端最高气温线性上升趋势低于极端最低气温和平均气温,可见,西北地区气候变暖是明显的,而气候变暖贡献率最大的是极端最低气温的升高。

(2) 近 54 a 来西北地区各个季节平均气温变化趋势大致相同,均呈上升趋势,其中,冬季的增温速率最大且近几年极端高温天气发生概率较大。其中 2010 年至今极端最低气温距平值达到 1.5 °C 以上,可见,近几年西北地区极端低温上升明显,西北地区平均气温的上升可能是由于极端低温的上升。

(3) 近 54 a 西北地区年均降水量为 299 mm,其中年降水量最多的年为 1964 年(369 mm),最少年为 1997 年(190 mm)。近几年西北地区降水量迅速增多,与年平均气温变化趋势一致。从各个季节分配情况可以看出,西北地区降水量主要集中在夏季,冬季降水最少,其中夏季降水的上升速率最大,进入 21 世纪后冬季降水增加。

(4) 年平均气温升温较明显区域集中在准噶尔盆地和天山西南部分地区,降水量增加率表现出自东南向西北递减的趋势,降水量增加明显区域主要分布在河西走廊的东部地区。

(5) 从西北地区近 54 a 气温和降水的时空变化特征分析发现,西北地区有向暖湿转变的趋势。

参考文献(References):

- (1) 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 年来气候变化的研究(J). 气象学报,1998,56(3): 257-271. (Chen Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen, et al. Research of climate change in China in recent 45 years (J). Journal of Meteorology, 1998, 56(3): 257-271.)
- (2) 范泽孟,岳天祥,陈传法,等. 中国气温与降水的时空变化趋势分析(J). 地球信息科学学报,2011,13(4): 526-533. (Fan Zeming, Yue Tianxiang, Chen Chuanfa, et al. Spatial and temporal trends of temperature and precipitation of China (J). Journal of

- Geo-Information Science 2011 ,13(4):526-533.)
- (3) 翟盘茂, 邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响 (J). 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18. (Zhai Panmao, Zou Xukai. Changes of temperature and precipitation in China from 1951 to 2003 and its impact on drought (J). Advances in Climate Change Research 2005, 1(1): 16-18.)
- (4) 杨明. 近 50 年中国气候变化特征研究 (D). 南京: 南京信息工程大学, 2008. (Yang Ming. Study on Characteristics of Climate change in China in recent 50 years (D). Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology 2008.)
- (5) 李延林, 颜亮东. 西北地区降水特征及其变化趋势研究综述 (J). 青海科技, 2011(5): 69-76. (Li Yanlin, Yan Liangdong. A review of the characteristics and trends of precipitation in northwest China (J). Qinghai Science and Technology 2011(5): 69-76.)
- (6) 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区近 43 年降水资源变化对农业的影响 (J). 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 179-185. (Liu Dexiang, Dong Anxiang, Deng Zhengyong. Impacts of precipitation change on agriculture in Northwest China in recent 43 years (J). Agricultural Research in the Arid Areas 2005, 23(4): 179-185.)
- (7) 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 (J). 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226. (Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Signal, impact and outlook of climatic shift from warm-dry to warmHumid in Northwest China (J). Journal of Glaciology and Geocryology 2002, 24(3): 219-226.)
- (8) 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. (Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry (J). Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.)
- (9) 窦睿音, 延军平, 王鹏涛. 全球变化背景下甘肃近半个世纪气温时空变化特征 (J). 干旱区研究, 2015, 32(1): 73-79. (Dou Ruiyin, Yan Junpeng, Wang Pengtao. Spatiotemporal distribution of temperature in Gansu Province climate change during the period from 1956 to 2012 (J). Arid Zone Research 2015, 32(1): 73-79.)
- (10) 赵一飞, 张勃, 汪宝龙, 等. 近 54 a 来甘肃省河东地区气候时空变化特征 (J). 干旱区研究, 2012, 29(6): 956-964. (Zhao Yifei, Zhang Bo, Wang Baolong, et al. Characteristics of climate change in Hedong area of Gansu Province in recent 54 years (J). Arid Zone Research 2012, 29(6): 956-964.)
- (11) 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望 (J). 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142. (Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, et al. The present facts and the future tendency of the climate change in Northwest China (J). Journal of Glaciology and Geocryology 2003, 25(2): 135-142.)
- (12) 赵传成, 王雁, 丁永建, 等. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化 (J). 高原气象, 2011, 30(2): 385-390. (Zhao Chuancheng, Wang Yan, Ding Yongjian, et al. Spatial-temporal variations of temperature and precipitation in Northern China in recent 50 years (J). Plateau Meteorology 2011, 30(2): 385-390.)
- (13) 张强, 张存杰, 白虎志, 等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响: 总体暖干化, 局部出现暖湿迹象 (J). 干旱气象, 2010, 28(1): 1-7. (Zhang Qiang, Zhang Cunjie, Bai Huzhi, et al. New development of climate change in Northwest China and its impact on arid environment (J). Journal of Arid Meteorology, 2010, 28(1): 1-7.)
- (14) 任朝霞, 杨达源. 近 50 a 西北干旱区气候变化趋势研究 (J). 第四纪研究, 2006, 26(2): 299-300. (Ren Chaoxia, Yang Dayuan. Climate change in the arid of Northwest China in recent 50 years (J). Quaternary Sciences 2006, 26(2): 299-300.)
- (15) 任朝霞, 杨达源. 近 50 a 西北干旱区气候变化趋势及对荒漠化的影响 (J). 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 91-95. (Ren Chaoxia, Yang Dayuan. Climate change and surface runoff change impact on desertification in the arid area of Northwest China in recent 50 years (J). Journal of Arid Land Resources and Environment 2008, 22(4): 91-95.)
- (16) 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. (Yao Yubi, Xiao Guojun, Wang Runyuan, et al. Climatic change characteristics of semi-arid region in Northwest China in recent 50 years (J). Arid Land Geography 2009, 32(2): 159-165.)
- (17) 黄小燕, 李耀辉, 冯建英, 等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征 (J). 生态学报, 2015, 35(5): 1359-1370. (Huang Xiaoyan, Li Yaohui, Feng Jianying, et al. Climate characteristics of precipitation and extreme drought events in Northwest China (J). Acta Ecology Sinica 2015, 35(5): 1359-1370.)
- (18) 王鹏祥, 何金海, 郑有飞, 等. 近 44 年来我国西北地区干湿特征分析 (J). 应用气象学报, 2007, 18(6): 769-775. (Wang Pengxiang, He Jinhai, Zhen Youfei, et al. Analysis of wet and wet characteristics in Northwest China in recent 44 years (J). Journal of Applied Meteorological Science 2007, 18(6): 769-775.)
- (19) 孟秀敬, 张士锋, 张永勇. 河西走廊 57 年来气温和降水时空变化特征 (J). 地理学报, 2012, 67(11): 1482-1492. (Meng Xiujing, Zhang Shifeng, Zhang Yongyong. The temporal and spatial change of temperature and precipitation in Hexi Corridor in recent 57 years (J). Acta Geographica Sinica 2012, 67(11): 1482-1492.)
- (20) 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展 (J). 地理科学进展, 2014, 33(7): 874-883. (Qin Dahe. Climate change science and sustainable development (J). Progress in Geography 2014, 33(7): 874-883.)
- (21) 赵军, 师银芳, 王大为, 等. 1961—2008 年中国大陆极端气温时空变化分析 (J). 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 52-56. (Zhao Jun, Shi Yinfang, Wang Dawei, et al. Temporal and spatial changes of extreme temperatures in China during 1961-2008 (J). Journal of Arid Land Resources and Environment 2012, 26(3): 52-56.)
- (22) 孙莹, 孙奇, 武威, 等. 中国 1953—2013 年极端气温事件的变

- 化(J).北京农业 2015 34(26):148-149. (Sun Ying, Sun Qi, Wu Wei, et al. Recent changes in extreme temperature events in 1953-2013 in China (J). Beijing Agriculture 2015 34(26):148-149.)
- (23) 王鹏祥, 杨金虎. 中国西北近 45 a 来极端高温事件及其对区域性增暖的响应(J). 中国沙漠 2007 27(4):649-655. (Wang Pengxiang, Yang Jinhui. Extreme high temperature events and response to regional warming in recent 45 years in Northwest China (J). Journal of Desert Research 2007 27(4):649-655.)
- (24) 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. (Ren Fumin, Zhai Panmao. Study on changes of China's extreme temperatures during 1951-1990 (J). Scientia Atmospherica Sinica 1998 22(2):217-227.)
- (25) 任国玉, 袁玉江, 柳艳菊, 等. 我国西北干燥区降水变化规律(J). 干旱区研究 2016 33(1):1-19. (Ren Guoyu, Yuan Yujiang, Liu Yanju, et al. Changes of precipitation over Northwest China (J). Arid Zone Research 2016 33(1):1-19.)
- (26) 董思言, 高学杰. 长期气候变化: IPCC 第五次评估报告解读(J). 气候变化研究进展 2014 10(1):56-59. (Dong Siyan, Gao Xuejie. Long-term climate change: Interpretation of IPCC fifth assessment report (J). Advances in Climate Change Research, 2014 10(1):56-59.)

Spatiotemporal Variation of Temperature and Precipitation in Northwest China in Recent 54 Years

SHANG Sha-sha¹, LIAN Li-shu², MA Ting¹, ZHANG Kun¹, HAN Tuo¹

(1. Key Laboratory of Environmental Education in West China of the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China;

2. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Qufu 276826, Shandong, China)

Abstract: Based on the temperature and precipitation data from 191 meteorological stations in northwest China during the period from 1961 to 2014, many methods, such as the linear trend, running means, accumulative anomaly and IDW, were used to study the spatiotemporal variation of temperature and precipitation in northwest China. The results showed that the average temperature was in an increase trend, especially in winter. The trend of extreme maximum temperature and extreme minimum temperature was similar to that of average temperature. Precipitation was also in an increase trend, especially in recent years. Precipitation occurred mainly in summer, in particular, the precipitation in winter increased sharply since the 21st century. The high annual temperature occurred mainly in south Xinjiang and the southeast Qilian Mountains, especially in the Junggar Basin and the southwest Tianshan Mountains. Precipitation decreased gradually from the east to the west. More precipitation occurred in the southeast Qilian Mountains, and its low value occurred in south Xinjiang. Precipitation increase was significant in the west Tarim Basin and north Xinjiang. Viewing from the spatiotemporal variation of temperature and precipitation, there was a warming-wetting trend in northwest China.

Key words: temperature; precipitation; climate change; spatiotemporal variation; northwest China