

文章编号: 1000-694X(2011)06-1541-07

巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来气候变化特征

马宁¹, 王乃昂^{1*}, 朱金峰¹, 陈秀莲², 陈红宝¹, 董春雨¹

(1. 兰州大学 资源环境学院/干旱区水循环与水资源研究中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 阿拉善盟气象局, 内蒙古 巴彦浩特 750306)

摘 要: 利用巴丹吉林沙漠周边 9 个气象站的 1960—2009 年逐月平均气温、平均最高气温、平均最低气温、降水量、平均相对湿度和日照时数及 1960—2008 年逐月平均风速的观测资料, 运用线性回归、滑动平均和 Mann-Kendall 突变检验分析了该区近 50 a 来气候变化特征。结果表明, 近 50 a 来, 巴丹吉林沙漠周边地区年平均气温以 0.40 °C/10a 的速率显著升高; 四季平均气温的升高亦很显著, 以冬季的升温速率最大; 年、季节平均最高气温和平均最低气温均呈显著升高趋势; 年、季平均日较差则显著减小, 且以最低气温的升温速率大于最高气温的升温速率为特点。年降水量以 0.87 mm/10a 的速率呈不显著增加趋势; 各季节降水量变化略有差异且均不显著, 春季降水量略有减少, 夏、秋和冬季略有增加。湿润指数的变化不明显, 总体来看, 年和冬季湿润指数略有增大, 春、夏和秋季湿润指数略有减小。年日照时数以 34.8 h/10a 的速率显著增加, 各季节日照时数亦均有增加趋势, 其中春季增加最为明显。年平均风速以 $-0.092 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率呈显著减小趋势; 各季节平均风速均显著减小, 以冬季的减小速率最大。

关键词: 气候变化; 气温; 降水量; 湿润指数; 日照时数; 风速; 巴丹吉林沙漠

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

沙漠作为气候变化的产物, 特殊的下垫面性质使其对气候冷暖和干湿的变化响应十分敏感^[1], 而气候变化往往又直接影响着其生态环境状况及周边地区沙漠化过程^[2-3], 所以近年来沙漠及其周边地区的现代气候变化研究已广泛开展^[1-7]。作为中国北方中部沙区的巴丹吉林沙漠, 地处对气候变化响应敏感的季风边缘区, 高大沙山和湖泊交错分布的独特景观吸引了众多学者的关注^[8-10]。据研究, 巴丹吉林沙漠周边地区诸如民勤绿洲、额济纳绿洲等近几十年土地荒漠化形势十分严峻, 沙尘天气频发, 生态环境不断恶化^[11-13], 处于沙漠腹地的湖泊亦出现明显退缩^[14], 这些现象很可能与区域气候变化有密切关系^[15-16]。前人关于巴丹吉林沙漠气候变化研究主要集中在古气候变迁方面^[17-18], 而对其现代气候变化研究尚付阙如。笔者利用沙漠周边地区 9 个气象站点逐月观测资料, 分析其在全球变暖背景下近 50 a 来气候变化的基本特征, 以期揭示周边地区土地沙漠化和腹地湖泊退缩的气候背景, 亦可为沙漠气候资源利用和周边地区沙漠化治理提供理论依据, 对当地生态环境保护和经济社会发展具有重要的现实意义。

1 资料和方法

选取位于巴丹吉林沙漠周边的民勤、阿拉善右旗、高台、金塔、鼎新、额济纳旗、拐子湖、巴彦诺尔公、雅布赖 9 个气象站点(图 1) 1960—2009 年逐月平均气温、平均最高气温、平均最低气温、降水量、平均相对湿度和日照时数以及 1960—2008 年逐月平均风速观测数据, 其中除雅布赖与巴彦诺尔公以外的 7 个站点资料均来源于中国气象局国家气象信息中心提供的《中国地面气候资料月值数据集》(<http://cdc.cma.gov.cn/>), 该数据经过严格的质量控制, 具有较好的均一性和准确性。雅布赖与巴彦诺尔公资料来自于内蒙古自治区阿拉善盟气象局, 实地考察发现, 雅布赖气象站于 1965 年(由雅布赖迁至中泉子)和 2007 年(又由中泉子迁回雅布赖)发生过两次迁移, 但两地地形地貌差别甚微, 海拔高度几乎相等, 距离亦仅约 15 km。按照中国气象局建议, 水平距离相差在 50 km 以内、海拔相差在 100 m 以内的台站迁移, 观测记录一般不会出现不连续现象, 故雅布赖站观测数据亦具有较好的一致性。首先运用差值订正法^[19]对上述所选资料中的部分缺测记录进行插补, 然后为了减小站点分布不均匀带来的误差, 采用泰森三角形法求出

收稿日期: 2010-11-16; 改回日期: 2010-12-17

基金项目: 国家基础科学人才培养基金项目(J1030519)和国家自然科学基金项目(50879033)联合资助

作者简介: 马宁(1990—), 男, 安徽蒙城人, 硕士研究生, 主要从事区域气候变化研究。Email: ma.n2007@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 王乃昂 (Email: wangna@lzu.edu.cn)

每个站点对应的面积权重,应用面积加权平均得到巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来年、季气候要素时间序列。气候要素的多年平均值(距平计算标准)采用

WMO 推荐的 1971—2000 年平均值。季节划分取 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至翌年 2 月为冬季。

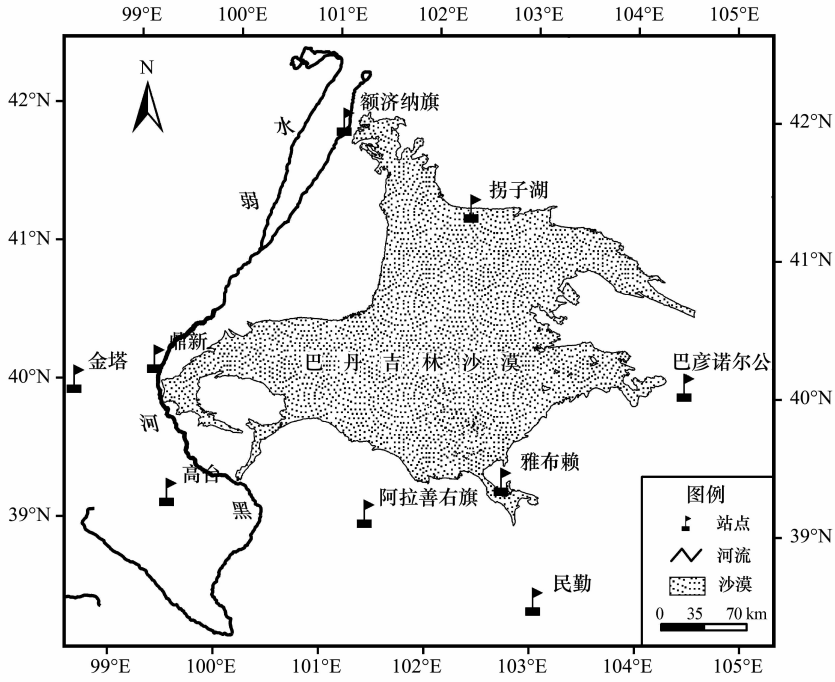


图 1 巴丹吉林沙漠周边气象站点分布图

Fig. 1 The geographical location of the meteorological stations around the Badain Jaran Desert

采用线性回归法^[20]分析气候要素变化速率,并对其趋势系数(气候要素值与年份的相关系数)进行显著性检验。运用 5 a 滑动平均和年代距平法分析气候要素的阶段变化特征。气候要素的突变检验采用 Mann-Kendall 法(以下简称 M-K 突变检验),它无需样本遵从一定分布,亦可避免少数异常值的干扰,目前普遍用于气候要素的突变检验^[21-22],其具体计算方法参见文献^[23]。

偏冷,最冷时段出现在 60 年代(距平 $-0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$),1990 年以前年平均气温仅有 4 个年份(1965、1982、

2 气温变化

2.1 平均气温变化

2.1.1 年平均气温变化

从 1960—2009 年巴丹吉林沙漠周边地区年平均气温变化趋势(图 2)可见,年平均气温以 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率明显上升,高于全国 1951—2001 年平均升温速率 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ^[24]。其升温趋势系数达 0.738,通过信度为 0.001 的显著性检验,和同期新疆东南、西藏中部、华南沿海部分地区和华北北部等地年平均气温的升温趋势系数相当^[24],升温趋势十分显著。从年平均气温的阶段变化可见(图 1,表 1),巴丹吉林沙漠周边地区在 20 世纪 90 年代之前

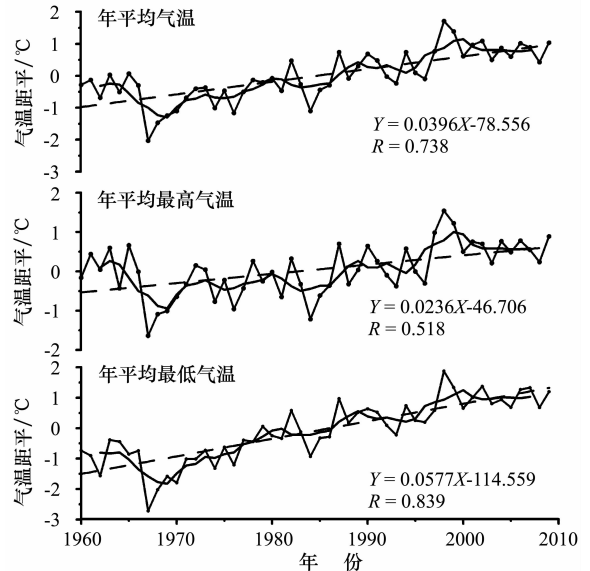


图 2 巴丹吉林沙漠周边地区年平均气温、平均最高气温、平均最低气温距平变化(1960—2009 年)

(点折线为历年气温值,虚线为线性回归,曲线为 5 a 滑动平均)

Fig. 2 Change of anomalies of annual mean temperature, mean maximum temperature, mean minimum temperature around the Badain Jaran Desert during 1960—2009

1987 年和 1989 年)高于多年平均值,90 年代以后明显偏暖,年代距平分别为 0.6 °C 和 0.8 °C。最近 20 a 来,年平均气温除 1993 年和 1996 年略微偏低外,其余皆在多年平均值之上。M-K 突变检验结果表明,巴丹吉林沙漠周边地区年平均气温在 1989 年发生突变升高,并于 1995 年开始升温显著,突变前后(1989—2009 年平均值与 1960—1988 年平均值之差)温差达 1.1 °C。另外,值得注意的是,2000—2009 年间年平均气温仅以 0.025 °C/10a 的速率不显著(未通过信度为 0.05 的显著性检验)升高,说明最近 10 a 来,年平均气温虽然仍维持在较高水平,但升温趋势已不明显。

2.1.2 季节平均气温变化

近 50 a 来,巴丹吉林沙漠周边地区各季节平均气温整体呈上升趋势,其中冬季升温速率最大,为 0.59 °C/10a,对年平均气温的升高贡献最突出。秋季次之(0.41 °C/10a),春、夏季分别为 0.36 °C/10a 和 0.3 °C/10a。4 个季节的升温趋势系数分别为 0.522、0.550、0.585 和 0.461,均通过信度为 0.001 的显著性检验,升温趋势亦很显著。从各季节平均气温的阶段性变化(表 1,图略)可见,春、夏季气温变化趋势相似,20 世纪 60—70 年代均有明显的降低趋势(其中夏季气温在 1965—1979 年间皆低于多年平均值),80 年代波动中缓慢升高,90 年代后期开始迅速升温;秋季气温除 60 年代后期略有降低外,其余一直在波动中上升,60—80 年代整体偏冷,之后整体偏暖;冬季气温

表 1 年、季节平均气温的年代际距平

Table 1 Decadal mean anomalies of annual and seasonal mean temperature around the Badain Jaran Desert

季节	气温的年代际距平/°C				
	20 世纪 60 年代	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	2000—2009 年
年	-0.7	-0.6	-0.1	0.6	0.8
春季	0.1	-0.6	-0.1	0.5	1.2
夏季	-0.1	-0.5	0	0.4	1.1
秋季	-0.7	-0.5	-0.1	0.5	0.8
冬季	-2.1	-0.8	-0.2	0.7	0.2

在 80 年代中期之前整体偏冷(1985 年之前仅 3 个年份偏暖),之后气温在波动中升高,90 年代整体偏暖,但 2000 年以来冬季气温出现了明显的降温趋势,年代距平亦由 90 年代的 0.7 °C 降至 0.2 °C。

2.2 平均最高气温和平均最低气温变化

近 50 a 来,巴丹吉林沙漠周边地区年平均最高气温和平均最低气温分别以 0.24 °C/10a 和 0.58 °C/10a 的速率明显升高(图 2),升温的趋势系数分别为 0.518 和 0.839,通过信度为 0.001 的显著性检验,上升趋势十分显著。各季节平均最高气温和平均最低气温亦均显著上升,且皆以冬季升温速率最大,分别为 0.38 °C/10a 和 0.75 °C/10a。年、季平均最低气温的升温速率是平均最高气温的两倍左右(表 2),表明该区最低气温对全球变暖的响应程度更大,平均气温的升高主要受最低气温的影响。运用 M-K 法分别对年平均最高气温和最低气温进行了突变检验(图 3),发现最低气温于 1985 年即发生突变,并于 1987 年开始升温显著,而最高气温于 1990 年方才发生突变,2003 年开始升温显著,最低气温突变时间及升温显著的开始时间均早于最高气温。

表 2 年、季节平均最高气温、平均最低气温和平均气温日较差趋势变化率

Table 2 Tendency rates of annual and seasonal mean maximum, mean minimum temperature and mean diurnal temperature range around the Badain Jaran Desert (°C/10a)

项目	气温日较差趋势变化率/(°C/10a)				
	年	春季	夏季	秋季	冬季
平均最高	0.24	<u>0.20</u>	<u>0.17</u>	<u>0.28</u>	<u>0.38</u>
平均最低	0.58	0.56	0.49	0.58	0.75
平均日较差	-0.34	-0.36	-0.33	-0.30	-0.37

表中划单横线和双横线分别表示相应的趋势系数通过信度为 0.05 和 0.01 的信度检验,无横线表示均通过信度为 0.001 的显著性检验。

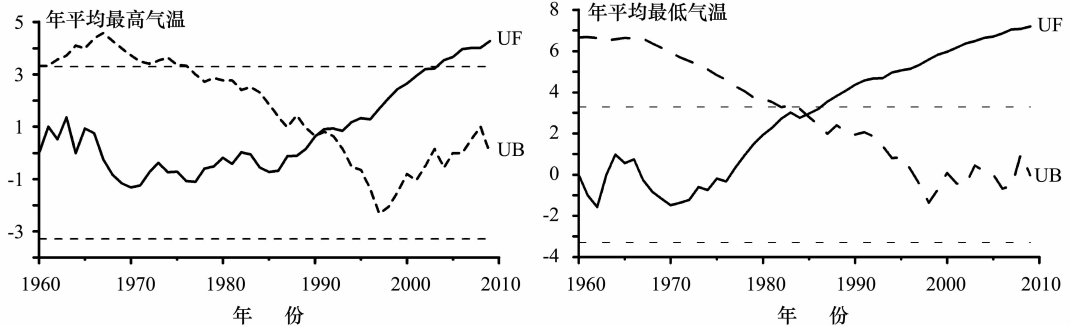


图 3 年平均最高气温和最低气温的 M-K 突变检验

(其中水平虚线表示信度为 0.001 的临界值)

Fig. 3 Mann-Kendall abrupt test of annual mean maximum and minimum temperature around the Badain Jaran Desert

2.3 平均日较差变化

华丽娟等^[25]研究表明,1961—2000 年中国大多数地区年、季平均日较差呈减小趋势。与此一致,巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来年平均日较差以 $-0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著减小(趋势系数为 -0.805 ,通过信度为 0.001 的显著性检验)。1978 年以前一般在多年均值之上,此后距平开始多为负值。20 世纪 60 年代巴丹吉林沙漠周边地区年平均日较差距平为 $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,70 年代降至 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,80 年代至 21 世纪前 10 a 距平分别为 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。各季平均日较差亦均显著减小,以冬、春季减小速率最大,分别达 $-0.37\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。从表 2 平均最低气温和平均最高气温的升温速率差异可见,年、季平均日较差的减小,是以最低气温升温速率显著大于最高气温升温速率为特点的。

3 降水变化

3.1 年降水量变化

巴丹吉林沙漠地处阿拉善高原,属典型的大陆性气候,常年盛行西风和西北风,降水量稀少,蒸发量大,常年干旱。1960—2009 年,巴丹吉林沙漠周边地区年降水量最大值为 120.8 mm (1979 年),最小值为 41.1 mm (1979 年),多年降水平均值仅为 76.9 mm 。近 50 a 来该区年降水量以 $0.87\text{ mm}/10\text{a}$ 的速率略有增加(图 4),但其趋势系数未通过信度

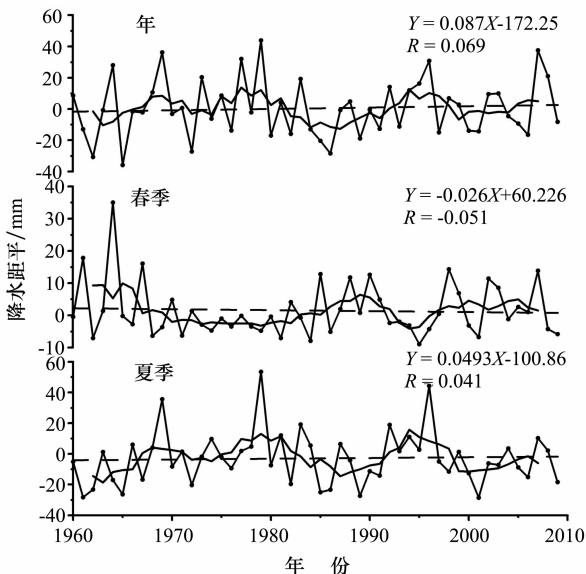


图 4 年、春季、夏季降水量距平变化(1960—2009 年)
(点折线为历年气温值,虚线为线性回归,曲线为 5 a 滑动平均)
Fig. 4 Change of anomalies of annual, spring, summer precipitation around the Badain Jaran Desert during 1960—2009

为 0.05 的显著性检验,所以增加趋势并不显著,可以认为是沙漠地区降水量的年际变化较大所致的正常波动。从年降水量阶段性变化(图 4,表 3)可见,20 世纪 60—70 年代在多年均值上下波动,80 年代迅速减少,出现最大年代负距平(-8.6 mm),90 年代前期波动增加,之后变化不大。M-K 法突变检验表明(图略),近 50 a 来巴丹吉林沙漠周边地区年降水量发生了多次突变,但均未通过 0.05 的显著性水平,突变并不显著。

表 3 年、季节降水量的年代际距平

Table 3 Decadal mean anomalies of annual and seasonal precipitation around the Badain Jaran Desert

项目	降水量的年代际距平/mm				
	20 世纪 60 年代	20 世纪 70 年代	20 世纪 80 年代	20 世纪 90 年代	2000—2009 年
年	-0.1	5.3	-8.6	4.4	1.1
春季	5.0	-2.1	1.0	1.8	1.6
夏季	-6.9	3.0	-6.3	3.8	-8.1
秋季	1.8	4.7	-3.5	-1.1	6.4
冬季	0.2	-0.3	0.2	0	0.9

3.2 季节降水量变化

1960—2009 年巴丹吉林沙漠周边地区各季节降水量变化有所差异,春季降水以 $-0.30\text{ mm}/10\text{a}$ 的速率略有减少(图 4),而夏、秋和冬季降水略有增加,其中夏季增加速率最大,为 $0.49\text{ mm}/10\text{a}$ (图 4)。但所有季节降水量的趋势系数均未通过信度为 0.05 的显著性检验,变化并不显著。从各季节降水量的阶段性变化来看(表 3),春季降水在 60 年代后期至 70 年代有明显的减少趋势,70 年代整体偏少(距平为 -2.1 mm),80 年代波动增加,90 年代前期迅速减少,之后变化不大;夏季降水与年降水量变化趋势基本一致,二者相关系数为 0.741 (通过信度为 0.01 的显著性检验),这是由于夏季降水占全年比重最大(比重多年平均值为 65%)所致。秋季降水在 60—70 年代偏多,80 和 90 年代偏少,21 世纪以来又有增加的趋势。冬季降水波动变化较小,除 70 年代略微偏少外,其余年代均高于多年平均值。

4 湿润指数的变化

湿润指数是一个区域干湿程度的整体反映,为了综合探讨气温与降水对于沙漠周边地区综合影响,我们采用 N. N. 伊万诺夫指标来分析其干湿状况,它综合考虑了水热平衡关系,目前已被广泛应用于沙漠地区干湿程度的评价中^[3,5],具体表达式为:

$$H = \frac{R}{0.0018(100 - RH)(T + 25)^2}$$

式中: H 为月湿润指数; RH 为月平均相对湿度($\%$); T 为月平均气温($^{\circ}\text{C}$); R 为月降水量(mm),年

湿润指数用各月湿润指数算术平均求得。伊万诺夫湿润度分级标准^[26]为: H 值小于 0.13 为极干旱, 0.13~0.29 为干旱, 0.3~0.59 为半干旱, 0.6~1.0 为半湿润, 大于 1.0 为湿润。

由于沙漠地区常年气候干旱, 湿润指数多年平均值仅为 0.0391, 属极干旱等级。就各季节湿润指数大小而言, 夏季>秋季>春季>冬季。线性拟合的结果表明(图略), 近 50 a 来, 巴丹吉林沙漠周边地区年和冬季湿润指数有增加趋势, 春、夏和秋季湿润指数有减小趋势, 但无论增加还是减小的趋势系数均未通过信度为 0.05 的显著性检验, 所以湿润指数的变化并不显著。

5 日照时数与平均风速变化

1960—2009 年, 巴丹吉林沙漠周边地区年日照时数以 34.8 h/10a 呈显著(趋势系数为 0.477, 通过信度为 0.001 的显著性检验)的增加趋势(图 5), 与 1956—2002 年全国平均年日照时数以 -37.6 h/10a 减少的结论^[24]相反。M-K 突变检验表明(图略), 年日照时数于 1997 年发生突变, 并与 2005 年开始显著增加, 突变十分显著。年日照时数在 20 世纪 60 年代距平值为 -57.3 h, 70 年代增加至 27.9 h, 80—90 年代有明显的减少趋势, 年代距平分别为 -16.6 h 和 -19.3 h, 2000 年以来迅速增加, 年代距平达 145.9 h。各季节日照时数均有增加趋势, 但仅春季增加显著且速率最大, 为 17.7 h/10a。日照时数的变化在短时间尺度上与云量和大气透明度有密切关系, 而大气透明度又主要受大气水汽和气溶胶含量的影响^[27]。前人的研究表明, 与巴丹吉林沙

漠邻近的西北地区东部及河西地区云量在 1961—2000 年呈显著减少趋势^[28], 此外, 由于沙漠周边地区人类活动较少, 人为因素导致的气溶胶排放数量及其随时间的变化相对缓慢, 皆可能是该区近 50 a 来日照时数增加的原因。

1960—2008 年, 巴丹吉林沙漠周边地区年平均风速以 $0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率呈显著(趋势系数为 0.541, 通过信度为 0.001 的显著性检验)减小趋势(图 5)。年平均风速在 20 世纪 60 年代有增加趋势, 较高的风速维持到 70 年代中期, 自 1974 年至 90 年代中期, 年均风速明显减小, 90 年代后期以来风速略有回升, 但仍基本低于多年平均值。M-K 突变检验表明, 年平均风速于 1986 年发生突变减小, 并于 2000 年突破 0.001 的显著性水平线, 突变亦十分显著。各季节平均风速均呈显著减小趋势, 冬季减小速率最大, 达 $0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 春、夏次之, 分别为 $0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 秋季减小速率最慢, 仅为 $0.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。四季平均风速阶段变化特征与年均风速基本一致, 但最近 10 a 来冬季平均风速依旧呈明显的减小趋势。至于巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来平均风速减小的原因, 可能与大范围的大气环流变化有关。众所周知, 全球大气环流在 20 世纪 70 年代中后期发生了明显的年代际变化。曾红玲等^[29]通过对比 60 年代以来全球海平面气压场、500 hPa 高度场的年代际变化分布特征指出, 冬季蒙古高压、夏季印度低压和大陆低压在 70 年代中期以后趋于减弱。施能^[30]的研究也表明, 亚洲地区 80 年代以来中高纬冬季经向环流减弱非常明显, 纬向环流则有增强趋势。巴丹吉林沙漠位于中国北部沙区中部, 冬季受蒙古高压影响显著, 冬季风的势力强弱直接影响到该区风速的大小, 而从另一方面来说, 作为中国沙尘暴主要源区之一^[31]的巴丹吉林沙漠, 平均风速的减小无疑对中国北方沙尘天气的减少有积极意义, 值得有关部门的关注与重视。

6 讨论与结论

1) 近 50 a 来, 巴丹吉林沙漠周边地区对全球变暖响应十分明显, 年平均气温以 $0.40 \text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ 呈显著升温趋势, 并于 1989 年发生显著突变, 其升温速率明显大于中国 1951—2001 年平均气温升温速率 $0.22 \text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$ ^[24]。考虑到所选时间序列起止不同, 我们计算了 1960—2001 年巴丹吉林沙漠地区年平均气温升温速率, 为 $0.41 \text{ }^\circ\text{C}/10\text{a}$, 亦明显大于上述全国平均值。造成这种差别的原因: 一方面是由于 20 世纪以来中国升温趋势显著的地区主要集中在东

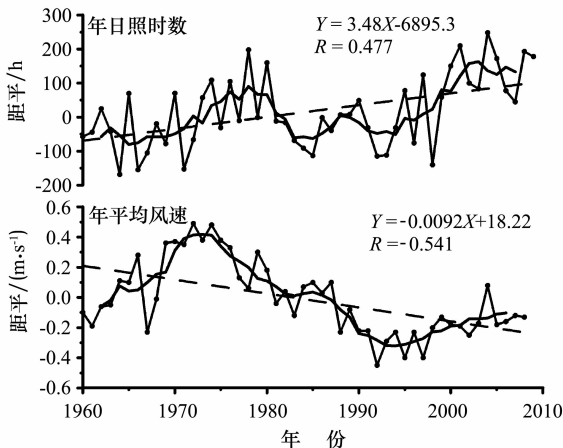


图 5 年日照时数(1960—2009 年)和年平均风速(1960—2008 年)的距平变化

(点折线为历年气温值, 虚线为线性回归, 曲线为 5 a 滑动平均)
Fig. 5 Change of anomalies of annual sunshine duration during 1960—2009 and annual mean wind speed during 1960—2008 around the Badain Jaran Desert

北、华北及西北的北部和东部地区,西南部分地区甚至降温^[24];另一方面,可能是沙漠及其周边地区,植被盖度较小,降水稀少,蒸发量大,地表水分含量极少,气候系统脆弱,气候变化的敏感性所致。各季节平均气温亦显著升高,其中冬季升温速率达 $0.59\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,对年平均气温的升高贡献最突出。秋季次之($0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),春、夏季分别为 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。至于最近10a来的巴丹吉林沙漠周边地区的升温不明显现象,全球及中国其他地区亦有发生^[32-33],这可能与同时期太阳辐射的减少,抵消了部分人类活动造成的变暖有关^[32]。

2)近50a来,巴丹吉林沙漠周边地区年平均最低气温和最高气温分别以 $0.58\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率呈显著升高趋势。各季节平均最高气温和最低气温亦均显著升高,且皆以冬季升温速率最大。年平均最低气温和最高气温分别于1985年和1990年发生显著突变升高,前者的突变时间及开始显著升温的时间均早于后者。日较差主要反映气温的变化幅度,取决于日最高气温和最低气温的大小。早在1991年,Karl等^[34]就指出,20世纪后半叶以来北半球部分地区的升温更多地体现在最低气温上,进而导致气温日较差的减小。中国1951—1990年最高气温在 95°E 以西及黄河以北普遍升高, 95°E 以东及 35°N 以南却以降温趋势为主,最低温度则在全国范围升高且速率更大,大部分地区日较差呈显著减小趋势^[35],但其减小幅度有明显的区域和季节差异^[25]。巴丹吉林沙漠周边地区1960—2009年间年平均日较差以 $-0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著减小。各季节平均日较差亦均呈显著减小趋势,其中以冬、春季减小速率最大。年、季平均日较差的减小皆以最低气温升温速率显著大于最高气温升温速率为特点。然而,引起日较差变化的根本原因,除了云量、气溶胶和温室气体等自然因素^[36-37]外,人类活动诸如城市热岛效应^[38]、土地利用变化^[39]亦不可忽视,故近50a来巴丹吉林沙漠周边地区平均日较差减小诸原因的量级,尚需进一步深入研究方可得知。

3)巴丹吉林沙漠周边地区年降水量变化趋势不显著,在50a尺度上以 $0.87\text{ mm}/10\text{a}$ 的速率略有增加,可以认为是沙漠地区降水量的年际变化较大所致的正常波动现象。四季降水量的变化有所差异且均不显著,春季略有减少,夏、秋和冬季略有增加。

4)巴丹吉林沙漠周边地区年湿润指数较小,属极干旱等级。近50a来湿润指数的变化并不显著,年、冬季湿润指数略有增加,春、夏、秋季湿润指数略有减小。

5)近50a来,巴丹吉林沙漠周边地区日照时数以 $34.8\text{ h}/10\text{a}$ 的速率显著增加,并于1997年发生显著突

变;各季节日照时数亦呈增加趋势,但仅春季较为显著且速率最大,为 $17.7\text{ h}/10\text{a}$ 。与巴丹吉林沙漠邻近的西北地区东部及河西地区云量的显著减少,加之沙漠周边地区人为排放的气溶胶数量及其随时间变化速率相对较小,可能是导致日照时数增加的主要原因。

6)1960—2008年,巴丹吉林沙漠周边地区年均风速以 $0.092\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 显著减小,20世纪70年代中期以来减小趋势最为明显,近20a来的年均风速基本低于多年平均值。各季节平均风速亦皆呈显著减小趋势,冬季减小速率最大,春夏次之,秋季变化较小。大气环流的变化可能是导致该区风速变化的主要原因。

参考文献(References):

- [1] 魏文寿. 现代沙漠对气候变化的响应与反馈:以古尔班通古特沙漠为例[J]. 科学通报, 2000, 45(6): 636—641.
- [2] 王训明, 李吉均, 董光荣, 等. 近50a来中国北方沙区风沙气候演变与沙漠化响应[J]. 科学通报, 2007, 52(24): 2882—2888.
- [3] 尚可政, 董光荣, 王式功, 等. 我国北方沙区气候变化对全球变暖的响应[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 387—392.
- [4] 孙安健, 刘德松. 浑善达克沙地近期气候变化的研究[J]. 南京气象学院学报, 1992, 15(3): 414—420.
- [5] 杨莲梅. 塔克拉玛干地区气候变化对全球变暖的响应[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 497—502.
- [6] 白美兰, 沈建国, 裴浩, 等. 气候变化对沙漠化影响的评估[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(4): 457—464.
- [7] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 近47a塔克拉玛干沙漠周边地区气候变化[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 413—421.
- [8] 王涛. 巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J]. 中国沙漠, 1990, 10(1): 29—40.
- [9] 杨小平. 巴丹吉林沙漠腹地湖泊的水化学特征及其全新世以来的演变[J]. 第四纪研究, 2002, 22(2): 97—104.
- [10] 张伟民, 王涛. 巴丹吉林沙漠高大沙山形成演化初步探讨[J]. 中国沙漠, 2005, 25(2): 281—286.
- [11] 张凯, 司建华, 王润元, 等. 气候变化对阿拉善荒漠植被的影响研究[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 879—885.
- [12] 王心源, 郭华东, 王长林, 等. 额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 60—62.
- [13] 蒋志荣, 安力, 柴成武. 民勤县荒漠化影响因素定量分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 35—38.
- [14] 熊波, 陈学华, 宋孟强, 等. 基于RS和GIS的沙漠湖泊动态变化研究——以巴丹吉林沙漠为例[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(8): 91—98.
- [15] Wang X M, Chen F H, Dong Z B, et al. Evolution of the southern Mu Us Desert in North China over the past 50 years: An analysis using proxies of human activity and climate parameters[J]. Land Degradation & Development, 2005, 16(4): 351—366.
- [16] 时兴合, 李林, 汪青春, 等. 环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响[J]. 气象科技, 2005, 33(1): 58—62.
- [17] 董光荣, 高全洲, 邹学勇, 等. 晚更新世以来巴丹吉林沙漠南缘气候变化[J]. 科学通报, 1995, 40(13): 423—427.
- [18] 杨小平. 近3万年来巴丹吉林沙漠的景观发育与雨量变化

- [J]. 科学通报, 2000, 45(4): 428—434.
- [19] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 462—464.
- [20] 纪晓玲, 穆建华, 周虎, 等. 45 a来宁夏雷暴气候统计特征及趋势分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 744—749.
- [21] 陈少勇, 郭江勇, 韩通, 等. 中国西北干旱半干旱区近46 a秋季气候变暖分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 544—550.
- [22] 方修琦, 张学珍, 戴玉娟, 等. 1951—2005年中国大陆冬季温度变化过程的区域差异[J]. 地理科学, 2010, 30(4): 571—576.
- [23] 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: 63—66.
- [24] 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.
- [25] 华丽娟, 马柱国, 罗德海. 1961—2000年中国区域气温较差分析[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 680—688.
- [26] 邓世宗, 韦炳武. 广西森林气候资源分析与利用[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 1—112.
- [27] 郭军, 任国玉. 天津地区近40年日照时数变化特征及其影响因素[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 415—420.
- [28] 陈少勇, 董安祥, 王丽萍. 中国西北地区总云量的气候变化特征[J]. 成都信息工程学院学报, 2006, 21(3): 423—428.
- [29] 曾红玲, 高新全, 戴新刚. 近20年全球冬、夏季海平面气压场和500 hPa高度场年代际变化特征分析[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 66—73.
- [30] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系[J]. 气象学报, 1996, 54(2): 675—683.
- [31] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106—111.
- [32] Kerr R A. What happened to global warming Scientists say just wait a bit[J]. Science, 2009, 326: 28—29.
- [33] 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, 2009, 6(2): 95—99.
- [34] Kral T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophysical Research Letters, 1991, 18(12): 2253—2256.
- [35] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418—429.
- [36] Hansen J, Sato M, Ruedy R. Long-term changes of the diurnal temperature cycle: implications about mechanisms of global climate change[J]. Atmospheric Research, 1995, 37(1): 175—209.
- [37] Cao H X, Mitchell J F B, Lavery J R. Simulated diurnal range and variability of surface temperature in a global climate model for present and doubled CO₂ climates[J]. Journal of Climate, 1992, 5(9): 920—943.
- [38] 赵宗慈, 徐国昌, 王琨玲. 都市化对气候变化的影响[J]. 气象科技, 1990, 10(1): 71—76.
- [39] Kral T R, Jones P D, Knight R W, et al. A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1993, 74(6): 1007—1023.

Climate Change Around the Badain Jaran Desert in Recent 50 Years

MA Ning¹, WANG Nai-ang¹, ZHU Jin-feng¹, CHEN Xiu-lian², CHEN Hong-bao¹, DONG Chun-yu¹

(1. College of Earth and Environmental Science/Center for Hydrologic Cycle and Water Resources in Arid Region, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Alashan Meteorological Bureau, Bayanhaote 750306, Inner Mongolia, China)

Abstract: The meteorological data of 9 stations around the Badain Jaran desert are analyzed based on the liner regression method, 5-year moving average method and Mann-Kendall abrupt test to get the feature of climate change in this area in the past 50 years. The data includes monthly mean temperature, mean maximum temperature, mean minimum temperature, precipitation, mean relative humidity and sunshine duration from 1960 to 2009, and monthly mean wind speed from 1960 to 2008. In this study, the annual mean temperature showed a significant increase with a rate of 0.4 °C/10a in recent 50 years. The increase of seasonal mean temperature was also very apparent, with the most rapid in winter. The annual and seasonal mean maximum and the mean minimum increased also, which was characterized by the fact that the minimum temperature increased faster than maximum. But the annual and seasonal mean daily temperature range decreased obviously. The precipitation increased slightly with a rate of 0.87 mm/10a, and changed differently in different seasons: it decreased slightly in spring and increased slightly in summer, autumn and winter. The fluctuation of wetness degree did not change much, with a overall trend of increase in annual and winter while decrease in spring, summer and autumn. Annual duration of sunshine increased significantly with a rate of 34.8 h/10a. Seasonal sunshine duration also increased and the most significant increase occurred in spring. Annual mean wind speed change showed a dramatic decrease trend with a rate of 0.09 m·s⁻¹·(10a)⁻¹. All seasonal mean wind speed decreased significantly and especially in winter.

Keywords: climate change; temperature; precipitation; wetness degree; sunshine duration; wind speed; Badain Jaran desert