

天山北麓近 50 年气温和降水的变化特征

李 成^{1,2}, 王让会^{1,2}, 黄 进¹

(1. 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 南京 210044;

2. 中国气象局 树木年轮理化研究重点开放实验室, 乌鲁木齐 830002)

摘 要:根据天山北麓 8 个气象站 1961—2010 年气温和降水资料,采用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验、Hurst 指数等方法,分析了天山北麓气温和降水的变化特征。结果表明:(1) 50 a 来,天山北麓年平均气温和年降水量均呈增加趋势,其变化率分别为 0.26 °C/10 a、15.67 mm/10 a;冬季增温最为明显,升温幅度达 0.49 °C/10 a 左右,降水倾向率表现为夏季最大,为 5.44 mm/10 a;(2) 年平均气温和年降水量的突变年份分别在 1996 年和 1983 年;未来两者整体上呈增加趋势;(3) 极端高(低)温指数在近 50 a 呈现增加(减少)趋势;极端降水指数中零降水日数和最长连续无降水日数呈不同程度的递减趋势,1 日最大降水量和极端强降水日数以 1.36 mm/10 a 和 1.81 d/10 a 的速率递增,各极端气候指数空间差异明显;极端气温指数与年平均气温、极端降水指数与年降水量均有很好的相关性。

关键词:气候变化; 气温; 降水; 极端气候; 天山北麓

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)06-0117-08

Variation Characteristics of Temperature and Precipitation in the North of Tianshan Mountains in Recent 50 Years

LI Cheng^{1,2}, WANG Rang-hui^{1,2}, HUANG Jin¹

(1. School of Environmental Science and Technology, Nanjing University of Information

Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Key Open Laboratory of Tree-ring

Physical and Chemical Research of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on the data of daily maximum temperature, daily minimum temperature, daily mean temperature and daily precipitation at 8 meteorological stations in the north of Tianshan Mountains from 1961 to 2010, the climate change was analyzed by linear trend analysis, sliding average method, Mann-Kendall test method, Hurst index method and so on. Results showed that the average annual temperature and precipitation increased in the north of Tianshan Mountains in recent 50 years. The linear increase trends were 0.26 °C/decade and 15.67 mm/decade, respectively. The warming trend was obvious in winter, showing a rate of about 0.49 °C/decade, followed by autumn with a rate of 0.35 °C/decade. Precipitation increment was about 5.44 mm/10 a in summer which was largest in all seasons. The abrupt examination indicated that the annual mean temperature and precipitation had the discontinuous ascension in 1996 and 1983, respectively. The future temperature and precipitation would present a trend of increase on the whole. The extreme high temperature indices increased and the extreme low temperature indices decreased. Among the extreme precipitation indices, the longest continuous days without precipitation and the days without precipitation presented diminishing trend with different degrees, while one-day maximum precipitation and extreme rainfall days presented increasing trend with a ratio of 1.36 mm/decade and 1.81 d/decade. Meanwhile, the differences in their spatial distributions were significant. The extreme temperature indices correlated with annual mean temperature, and extreme precipitation indices correlated with annual precipitation too.

Key words: climate change; temperature; precipitation; climate extremes; north of Tianshan Mountains

收稿日期: 2012-12-26

修回日期: 2013-04-26

资助项目: 国家科技支撑计划(2012BAC23B01, 2012BAD16B0305); 中国沙漠气象科学研究基金(sqj2012006); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB705809)

作者简介: 李成(1988—), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向为气象生态。E-mail: licheng_nj@163.com

通信作者: 王让会(1963—), 男, 陕西人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事景观生态、全球变化的区域响应等领域的研究。E-mail: rhwang@nuist.edu.cn

20 世纪后半叶以来,全球变暖趋势进一步加剧。IPCC 第四次评估报告也指出,过去 100 a 来全球地表温度升高 0.74°C ^[1];温度升高可能导致极端气候事件频发,给人类社会带来巨大的负面影响。我国年平均气温呈现增高趋势,升温幅度约为 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[2-3],北疆年平均气温上升率达 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ^[4];全国年降水量呈减少趋势^[5],但北疆及天山地区降雨增加趋势明显。施雅风等^[6]指出,我国西北气候在上世纪 80 年代末发生了由暖干向暖湿的转变,北疆及天山是气候转型的显著区域。在极端气候方面,近 50 a 全球大部分陆地冷夜明显减少,而暖夜增加趋势显著^[7];中、美、俄等国的强降水事件均有所增加^[8]。我国高温日数略有减少,暖日(夜)增加明显,极端气温冷指数整体呈下降趋势^[7];全国极端降水变化具有区域性特点,西北地区降水强度在增强,极端降水事件频率显著增加^[8-9]。目前,有关天山地区气候变化已有一些研究。如普宗朝等^[10]研究指出,近 36 a 天山山区气候呈较明显的暖湿化趋势,主要表现为气温上升,降水增多,线性增多速率达 $18.8\text{ mm}/10\text{ a}$,下垫面湿润指数也明显增大。蓝永超等^[11]分析了 1960—2005 年来天山地区气温和降水的变化,发现自上个世纪 80 年代以来天山山区气温明显升高,近 10 a 来增温幅度最大;天山南坡降水增加幅度高于北坡,尤其是南坡西段是近 10 a 降水增幅最大的区域。赵勇等^[12]采用 1961—2007 年 32 个气象站的逐日降水资料分析发现,天山地区极端降水事件呈增多趋势,极端降水量在天山南北坡均随地形增加而增多。但有关天山地区极端气温的研究还很少见。

近年来,特殊地域对气候变化的响应已成为研究热点。受自然和人为因素的影响,全疆各地区气候变化趋势并不一致,区域性特征明显^[13]。天山北麓($43^{\circ}24'\text{--}45^{\circ}24'\text{N}$, $81^{\circ}01'\text{--}90^{\circ}14'\text{E}$)地处准噶尔盆地南缘,欧亚大陆腹地,总面积约 $14.90\times 10^4\text{ km}^2$ 。境内地势总体为南高北低,东高西低,降水稀少,蒸发强烈,气候干燥,属典型的温带大陆性干旱气候。这里既是气候变化敏感区域,又是生态脆弱带,还是全疆经济社会发展的重点区域,土地和矿产资源丰富,城镇化率超过了 60%。

有鉴于此,本文选取天山北麓 8 个气象站 1961—2010 年的观测资料,对其气候特征及极端气温、降水事件的变化趋势进行较系统和全面的研究,旨在揭示气候变化的演变规律,为今后区域经济发展、生态建设及资源可持续利用等提供科学依据。

1 资料与方法

采用的逐日最高温度、最低温度、平均温度及日降水量资料来源于中国气象科学数据共享网。资料经过完整的质量控制,去除了由于台站资料缺失以及部分台站搬迁造成的资料不连续,最后选取天山北麓 8 个气象站 1961—2010 年的资料进行分析(图 1)。

采用线性趋势分析、Mann-Kendall 检验和 Hurst 指数等方法来研究气温和降水的变化特征。另外,从 WMO 发布的 50 种极端气候指数中选取 10 种极端气温和降水指数[冰(霜)日、冷日(夜)、暖日(夜);1 日最大降水量、极端强降水日数、零降水量日数、最长连续无降水日数]进行分析,用以描述极端气候指数的变化趋势^[14-15]。在资料统计中,四季的划分以 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季。通过算术平均法分别构建天山北麓近 50 a 气温、降水及 10 种极端气温和降水指数变化的时间序列。

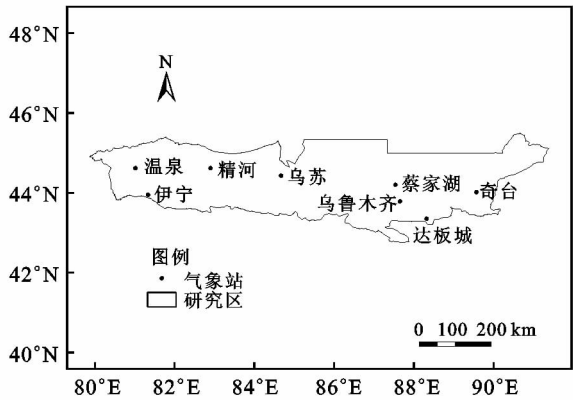


图 1 天山北麓气象站点的分布

2 气温和降水变化特征

2.1 年际变化特征

近 50 a 天山北麓年平均气温为 6.89°C ,其中 2006 年达到年平均最高气温 8.17°C ,1969 年达到历年平均最低气温 5.09°C ,相差近 3.08°C ,并且从 20 世纪 60 年代开始,气温一直呈上升趋势,特别是从 90 年代开始气温升温速率明显加快,进入偏暖期(表 1)。天山北麓 50 a 来年平均气温上升趋势显著($p<0.01$),气温增长约 1.30°C ,升温幅度在 $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 左右(表 2)。相较全国近 50 a 线性升温趋势($0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)和全球近 50 a 气温变暖趋势($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)则更加明显^[5,16]。这表明在气候变暖背景下,天山北麓增温幅度较其它地区突出。

如表 2 所示,所有站点年平均气温增温趋势明显

($p<0.05$),但升温幅度有一定的差异,其中气温上升幅度最大的为伊宁站,增温幅度可达 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其次是乌苏站,增温幅度为 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。其它地区气象站也有 $(0.16\sim0.32)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 左右的增幅。

表 1 天山北麓年际气温与降水量变化

年代	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2010 年
年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	6.50	6.53	6.77	7.06	7.60
距平值	-0.39	-0.36	-0.12	0.17	0.71
年降水量/mm	151.66	156.00	185.45	199.87	206.91
距平值	-28.32	-23.98	5.47	19.89	26.93

表 2 1961—2010 年天山北麓各站平均气温和降水量的变化特征

气象站	气温倾向率($^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)					降水倾向率(mm/10 a)				
	年	春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬
蔡家湖	<u>0.29</u>	0.23	0.11	<u>0.60</u>	0.34	<u>10.48</u>	2.40	3.09	0.91	<u>3.73</u>
达坂城	<u>0.23</u>	0.15	<u>0.15</u>	<u>0.44</u>	0.29	<u>6.86</u>	-0.36	<u>6.42</u>	0.45	<u>0.68</u>
精河	<u>0.32</u>	0.21	<u>0.27</u>	<u>0.48</u>	0.43	<u>6.66</u>	0.68	1.20	<u>2.35</u>	<u>2.18</u>
奇台	<u>0.16</u>	0.15	-0.09	<u>0.44</u>	0.27	<u>12.29</u>	3.38	4.96	-0.64	<u>4.11</u>
温泉	<u>0.19</u>	-0.08	-0.09	<u>0.37</u>	0.67	<u>20.45</u>	2.81	<u>11.61</u>	3.54	<u>3.23</u>
乌鲁木齐	<u>0.16</u>	-0.09	<u>-0.31</u>	<u>0.38</u>	0.79	<u>30.42</u>	<u>9.79</u>	<u>10.29</u>	2.83	<u>7.47</u>
乌苏	<u>0.34</u>	0.25	0.15	<u>0.53</u>	<u>0.53</u>	<u>14.83</u>	<u>5.61</u>	0.76	4.05	<u>4.03</u>
伊宁	<u>0.39</u>	0.31	<u>0.32</u>	<u>0.44</u>	<u>0.60</u>	<u>23.34</u>	6.35	4.87	<u>6.14</u>	<u>5.97</u>
天山北麓	<u>0.26</u>	0.14	0.06	<u>0.35</u>	<u>0.49</u>	<u>15.67</u>	3.83	5.44	2.45	3.92

注:下划线部分表示通过 95%信度检验。

在年降水量方面,近 50 a 天山北麓年均降水量为 179.98 mm,最高 1987 年为 273.91 mm,最低 1968 年为 105.70 mm。50 a 来年降水量增加趋势显著($p<0.01$),降水倾向率达 $15.67\text{ mm}/10\text{ a}$ (表 2)。从 20 世纪 60 年代开始,各年代降水量逐渐增加(表 1)。20 世纪 60、70 年代是相对枯水期,年降水量明显低于均值;80 年代总体处于降水波动期;而从 90 年代以后,降水明显增多,进入丰水期。这是由于天山北麓受西风环流影响,来自北冰洋和大西洋的水汽在天山北坡受地势阻挡被迫抬升,形成丰沛的地形雨。气候变暖导致水循环加快,海洋和陆地水汽蒸发量加大,80 年代中后期以来,西风环流增强,带来了丰沛的水汽,水汽输入量增加,从而使天山降水量增多^[17]。这与胡汝骥^[18]、施雅风等^[19]的研究结论相似。

从各个台站降水增加的显著性看(表 2),所有站点降水增加明显($p<0.05$)。其中乌鲁木齐站的降水增加最为明显,降水倾向率达到了 $30.42\text{ mm}/10\text{ a}$,为天山北麓最高,伊宁站其次,降水倾向率达到 $23.34\text{ mm}/10\text{ a}$,其它气象站的降水倾向率也有 $(6.66\sim14.83)\text{ mm}/10\text{ a}$ 左右的增加。

2.2 季节变化特征

近 50 a 天山北麓四季平均气温总体呈上升趋势(表 2),其中,秋、冬季升温明显($p<0.01$),且以冬季增温速度最快,气温平均增长 $2.45\text{ }^{\circ}\text{C}$,上升幅度为 $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,秋季增温幅度略小,升温率为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/$

10 a,均高于年平均气温的增长,春、夏季气温升温率分别为 $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。秋、冬季近 50 a 来总增温大于年增温,这可能是由于不同季节气温上升不同步所致^[20],且秋、冬季气温的上升对天山北麓整体气温增高有直接的作用。

天山北麓各站气温在不同季节表现出不同的差异(表 2):春季除温泉和乌鲁木齐外,气温年际变化倾向率在 $0.15\sim0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间,其中伊宁地区上升最高;夏季气温下降区域进一步扩大,奇台地区以 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 趋势略呈下降趋势,气温年际变化倾向率在 $(0.11\sim0.32)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间;秋、冬季各站点全部呈上升趋势,其年际变化倾向率分别为 $(0.37\sim0.60)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $(0.27\sim0.79)\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

50 a 来,天山北麓四季降水总体呈增加趋势(表 2),其年际变化倾向率分别为 $3.83,5.44,2.45,3.92\text{ mm}/10\text{ a}$ 。其中,降水增加趋势在春、夏、冬季较为明显($p<0.05$),尤其是夏季降水在年降水变化中起主导作用。

就空间分布而言(表 2),除达坂城(春)和精河(秋)降水呈减少趋势,减幅分别为 $-0.36\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $-0.64\text{ mm}/10\text{ a}$ 外,其他各站点四季降水均呈增加趋势,年际变化倾向率分别为 $(0.68\sim9.79)\text{ mm}/10\text{ a}$ 、 $(0.76\sim11.61)\text{ mm}/10\text{ a}$ 、 $(0.45\sim6.14)\text{ mm}/10\text{ a}$ 和 $(0.68\sim7.47)\text{ mm}/10\text{ a}$,其中乌鲁木齐在春、冬季降水显著增多,温泉和伊宁分别在夏、秋季降水较多。

2.3 突变检验及趋势分析

由图2年平均气温 M-K 突变检验曲线可知,20 世纪 60—80 年代 UF 值在零值上下波动,此后一直大于零值,从 2000 年开始,UF 值超出了信度线,增温趋势更加显著。UF 和 UB 曲线在 1996 年相交,且交点处于两条信度线内,说明 1996 年为年平均气温的突变年份。这与姚俊强等^[21]提出的天山地区气温从 1996 年突然发生变化的观点一致。从年降水量 M-K

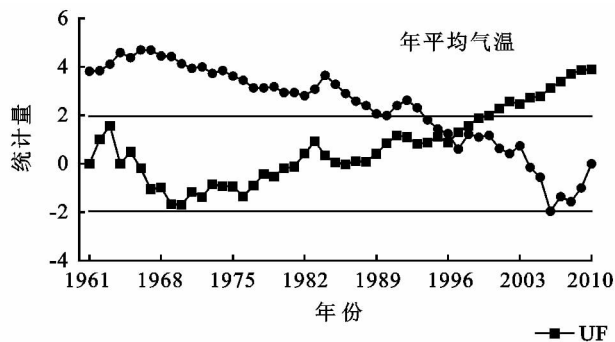


图2 天山北麓年平均气温和年降水量 M-K 检验

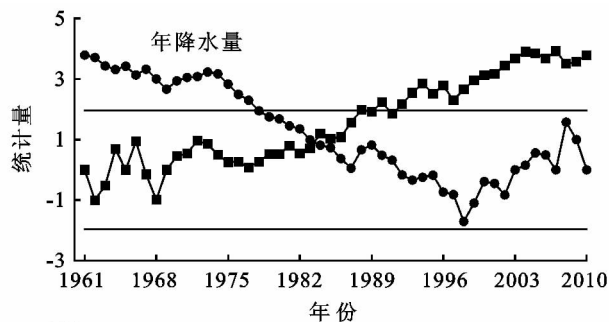
天山北麓年平均气温和年降水量的 Hurst 指数值分别为 0.70 和 0.75,两者均大于 0.5,说明未来两者变化趋势具有持续性,即与过去 50 a 的变化趋势相同。由 M-K 检验结果可知,两者过去呈明显的增加趋势,因而未来天山北麓年平均气温和年降水量整体上也将呈增加趋势。

3 极端气候指数变化特征

3.1 年际变化特征

如图3所示,近 50 a 天山北麓冰(霜)日呈明显下降趋势($p < 0.05$),其年际变化倾向率分别为 $-1.78 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $-2.40 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。冰日在 20 世纪 70 年代中期之前呈增加趋势,之后处于波动变化,上升或下降趋势不明显,近 15 a 呈较明显的下降趋势;而霜日在 20 世纪 70 年代之前呈增加趋势,此后开始减少,80 年代初又出现短暂上升,但从 80 年代中期以来一直呈明显的下降趋势。对同期冷日(夜),暖日(夜)进行分析可知,50 a 来冷日(夜)呈显著减少趋势($p < 0.05$),线性倾向率分别为 $-2.20 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $-4.40 \text{ d}/10 \text{ a}$,而暖日(夜)分别以 $0.68 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $2.59 \text{ d}/10 \text{ a}$ 的趋势增加,尤其是暖夜增加趋势明显($p < 0.05$)。冷日(夜)在 70 年代之前呈增加趋势,之后一直处于波状下降趋势;暖日(夜)在 70 年代前呈下降趋势,此后迅速上升,70 年代中期之后又开始减少,近 15 a 出现波状上升趋势。冷日(夜)的变化幅度大于暖日(夜),夜间增暖的幅度明显大于白天,说明夜间气温升高对变暖的贡献更大。同时冰(霜)日、冷日(夜)的

突变检验曲线可以看出(图2),20 世纪 60—80 年代初 UF 值在零值上下波动,年降水变化趋势不明显,从 80 年代末开始降水明显增加,且通过了 $\alpha = 0.05$ 临界线,UF 和 UB 曲线在 1983 年相交,交点在 ± 1.96 信度线之间,表明年降水量在 1983 年发生了突变。这与姜逢清等^[4]报道的北疆年降水量于 1984 年前后发生突变的论述基本一致,但较天山山区(1986 年)略早^[10]。



减少趋势和暖日(夜)的增加趋势也在一定程度上反映了天山北麓近 50 a 气温呈升高趋势。

各站点冰(霜)日、冷日(夜)均呈现减少的趋势(图4),其中伊宁站在冰日、霜日和冷日指数中,下降趋势最为明显;而冷夜下降中心则在乌鲁木齐。大部分站点暖日(夜)呈增加趋势,上升趋势最显著的地区分别在精河和伊宁。

50 a 来,1 日最大降水量和极端强降水日数呈逐渐增加的趋势(图3),其倾向率分别为 $1.36 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 和 $1.81 \text{ d}/10 \text{ a}$,而零降水日数和最长连续无降水日数呈减少趋势变化,下降速率分别为 $-2.86 \text{ d}/10 \text{ a}$ 和 $-0.96 \text{ d}/10 \text{ a}$,除最长连续无降水日数外,其他指数均通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。1 日最大降水量和极端强降水日数在 20 世纪 70 年代中期开始呈明显的波状增加趋势,而零降水日数和最长连续无降水日数自 60 年代至今均呈减少的趋势,尤其是零降水日数振幅增加明显。

由图4可看出,各站点 1 日最大降水量和极端降水日数均呈增加趋势,乌鲁木齐站这两个指数增加幅度最明显,倾向率分别为 $28.35 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 和 $2.22 \text{ d}/10 \text{ a}$;而零降水日数和最长连续无降水日数在大部地区呈减少趋势,下降趋势最明显的区域均位于精河县。

3.2 极端气温指数与年平均气温的关系

由表3可知,平均气温和各极端气温指数的相关系数均大于 0.5,且通过了 0.01 的置信度检验。平均气温与暖日(夜)呈较显著的正相关,相关系数分别为 0.52 和 0.609;平均气温与冷指数呈显著负相关,负

相关系数范围在 $-0.6 \sim -0.9$ 之间。说明随着年平均气温的升高,极端高(低)温事件显著增加(减少)。

除平均气温外其它各极端冷指数之间及暖日、暖夜之间也有很好的相关性。

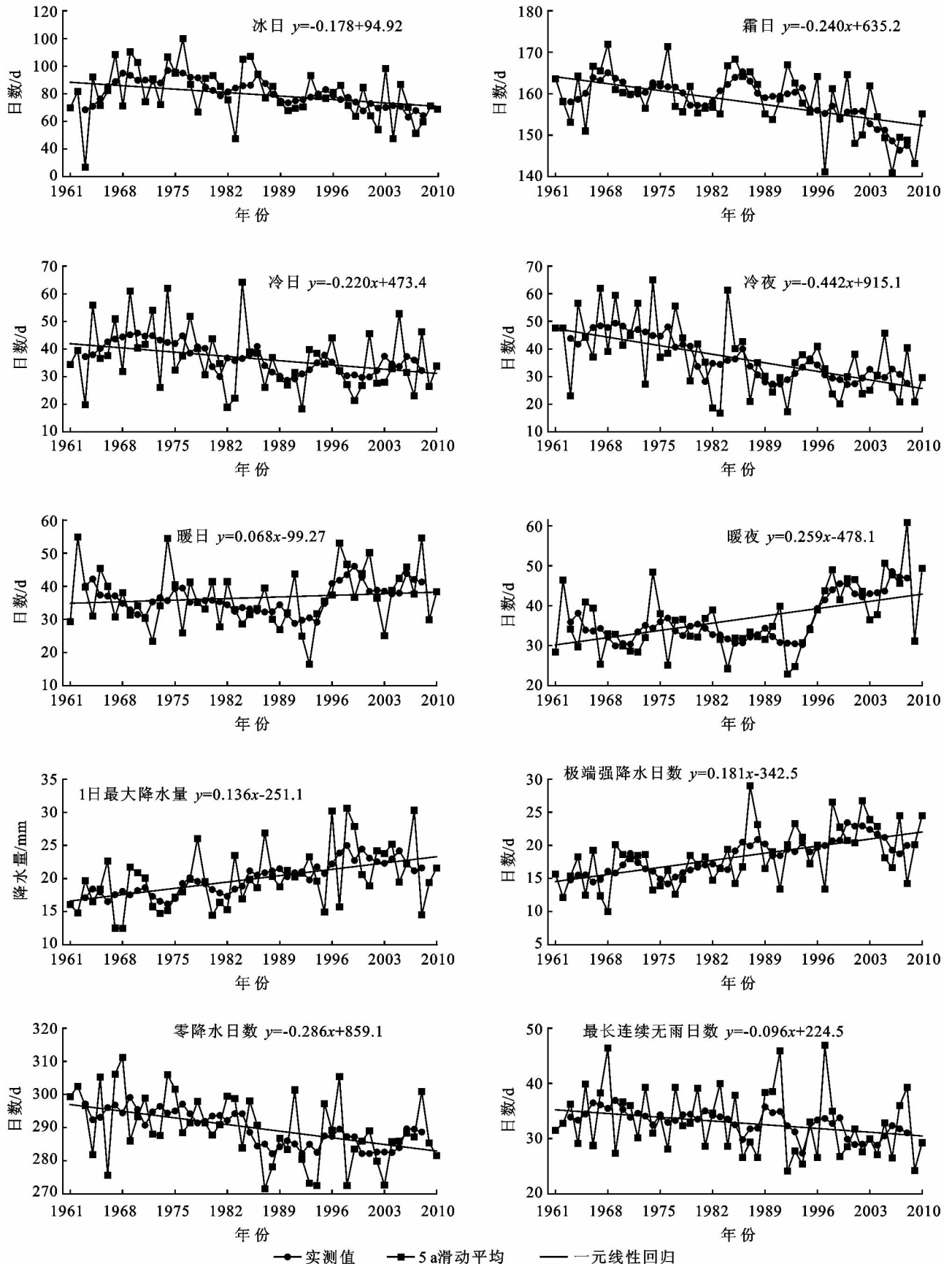


图 3 1961—2010 年天山北麓极端气候指数的年际变化

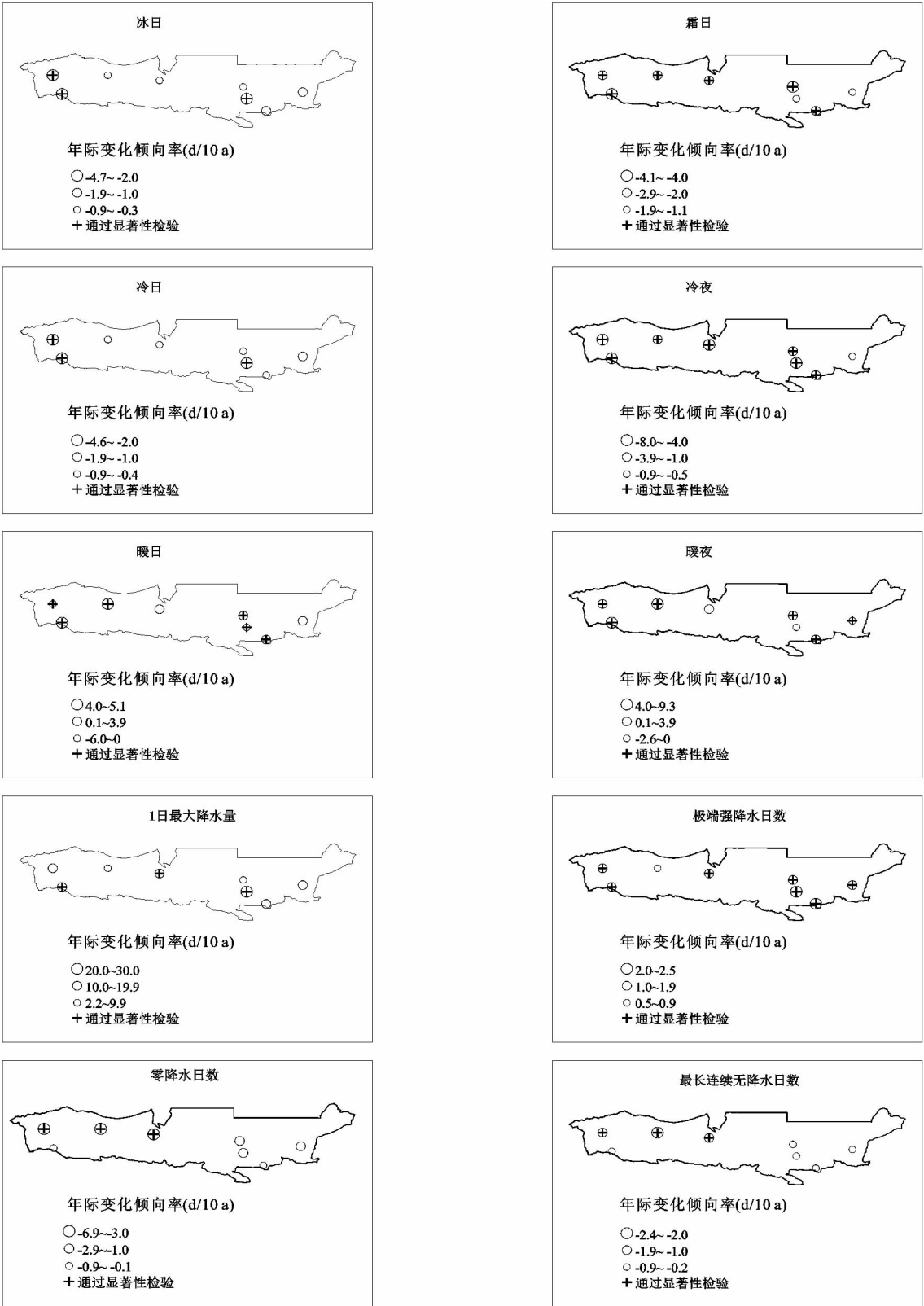


图 4 1961—2010 年天山北麓极端气候指数年际变化的空间分布

3.3 极端降水指数与年降水量的关系

年降水量与极端降水指数也有很高的相关性,且通过了 0.01 的显著性检验(表 4)。这与江志红等^[22]得出中国,尤其是北疆,年极端降水事件与年降水量之间存在较好的相关性的结论相符。年降水量与 1

日最大降水量和极端降水日数呈显著正相关,而与零降水日数和最长连续无降水日数呈显著负相关,尤其是年降水量与极端降水日数和零降水日数的相关性最好,分别达到 0.972 和 -0.864。除年降水量外大部分极端降水指数之间也有很好的相关性。

表 3 1961—2010 年天山北麓极端气温与年平均气温的相关系数

项目	年平均气温	冰日	霜日	冷日	冷夜	暖日	暖夜
年平均气温	1						
冰日	−0.805**	1					
霜日	−0.777**	0.517**	1				
冷日	−0.613**	0.591**	0.199	1			
冷夜	−0.649**	0.599**	0.312*	0.936**	1		
暖日	0.520**	−0.239	−0.413**	0.039	0.027	1	
暖夜	0.609**	−0.324*	−0.522**	−0.044	−0.141	0.812**	1

注：“*”、“**”分别表示通过 0.05、0.01 的置信度检验

表 4 1961—2010 年天山北麓极端降水与年降水量的相关系数

项目	年降水量	1 日最大降水量	极端降水日数	零降水日数	最长连续无降水日数
年降水量	1				
1 日最大降水量	0.527**	1			
极端降水日数	0.972**	0.423**	1		
零降水日数	−0.864**	−0.269	−0.862**	1	
最长连续无降水日数	−0.584**	−0.100	−0.571**	0.622**	1

注：“**”表示通过 0.01 的置信度检验。

4 结论与讨论

(1) 近 50 a,天山北麓年平均气温和年降水量均呈增加趋势,其年际变化倾向率分别为 0.26℃/10 a、15.67 mm/10 a。这与施雅风等^[19]得出的中国西北地区存在气温上升、降水增加,并有可能出现气候由暖干向暖湿转型的结论相一致。天山北麓作为全疆经济核心区域,工农业发达,土地和矿产资源丰富。增温可能与温室气体的排放及土地利用方式的改变有关。而气候变暖导致水循环加快,蒸发增强,大气中水汽含量的增加及大气环流形式的改变可能是降水量增加的主要原因^[4]。

(2) 50 a 来四季平均气温和降水量总体均呈上升趋势。其中,秋、冬季升温趋势要高于春、夏季,且以冬季增温速度最快;降水增加趋势在春、夏、冬季较为明显,尤其是夏季降水在年降水变化中起主导作用。

(3) 天山北麓年平均气温和年降水量的突变年份分别在 1996 年和 1983 年,两者的 Hurst 指数值均大于 0.5,未来年平均气温和年降水量整体上仍呈增加趋势。

(4) 天山北麓各站冰(霜)日、冷日(夜)均呈下降趋势,即极端低温事件明显减少,暖日(夜)呈明显上升趋势,大部分地区增加趋势较为明显。而在极端降水方面,所有站点 1 日最大降水量和极端强降水日数均表现为一致的增加趋势,零降水日数和最长连续无降水日数各站的变化趋势并不一致,多数站点减少趋势较为明显。极端气温指数与年平均气温、极端降水指数与年降水量均有很好的相关性。

天山北麓气候呈“暖湿化”趋势,在一定程度上有利于生态建设与环境保护,对于提高绿洲农牧业生产力具有重要影响^[23]。植被作为陆地生态系统的核心要素,在物质与能量循环中起重要作用。相关文献表明,由于温湿条件配合较好,天山地区自然植被净第一性生产力呈较明显增长,有助于调节区域碳平衡、减缓大气中温室气体排放^[24]。但降水的有限增加,并不能从根本上改变整个干旱区的基本面貌,相反降水分布不均匀,造成地表径流空间分布不均匀,是形成山地—绿洲—荒漠系统和沙漠、戈壁的主要原因^[25]。因此,如何基于多元数据(气象、土壤、水文、社会经济发展等相关资料),合理反映气候变化对天山北麓生态环境的潜在影响,积极探索适应气候变化的措施,仍有待于进一步深入探讨。

参考文献:

[1] 姜创业,魏娜,程肖侠,等. 1961—2008 年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析[J]. 水土保持研究,2011,18(1):197-200.

[2] 张月丛,张才玉,成福伟,等. 承德市近 58 年气温和降水序列多时间尺度分析[J]. 水土保持研究,2012,19(5):70-73.

[3] 李海东,沈渭寿,余光辉,等. 雅鲁藏布江源区近 35 年气候变化特征[J]. 水土保持研究,2010,17(5):63-67.

[4] 李珍,姜逢清. 1961—2004 年新疆气候突变分析[J]. 冰川冻土,2007,29(3):351-359.

[5] 傅小城,王芳,王浩,等. 柴达木盆地气温降水的长序列变化及与水资源关系[J]. 资源科学,2011,33(3):408-415.

[6] Shi Y F, Shen Y P, Hu R J. Preliminary study on sig-

- nal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219-226.
- [7] 蔡新玲, 吴素良, 贺皓, 等. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1095-1101.
- [8] 张延伟, 魏文寿, 姜逢清, 等. 1961—2008 年新疆极端降水事件的变化趋势[J]. *山地学报*, 2012, 30(4): 417-424.
- [9] You Qinglong, Kang Shichang, Enric Aguilar, et al. Changes in daily climate extremes in China and its connection to the large scale atmospheric circulation during 1961—2003[J]. *Climate Dynamics*, 2011, 36(11/12): 2399-2417.
- [10] 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 近 36 年新疆天山山区气候暖湿变化及其特征分析[J]. *干旱区地理*, 2008, 31(3): 409-415.
- [11] 蓝永超, 沈永平, 苏宏超, 等. 全球变暖情景下新疆降水的变化[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(10): 66-71.
- [12] 赵勇, 邓学良, 李秦, 等. 天山地区夏季极端降水特征及气候变化[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(5): 927-934.
- [13] 郭鹏程, 包安明, 陈曦, 等. 1960—2006 年艾比湖流域冷暖季气候状况分析[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(1): 132-142.
- [14] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984—2012), 2006, 111(D5): 1-22.
- [15] Xiaohui Fan, Qixiang Wang, Mengben Wang. Changes in temperature and precipitation extremes during 1959—2008 in Shanxi, China[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, 109(1/2): 283-303.
- [16] 操信春, 吴普特, 郝仕龙, 等. 西北内陆县域气候变化及其对河川径流的影响[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 26-34.
- [17] 冯思, 黄云, 许有鹏. 全球变暖对新疆水循环影响分析[J]. *冰川冻土*, 2006, 28(4): 500-504.
- [18] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J]. *干旱区地理*, 2002, 25(3): 194-200.
- [19] 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.
- [20] 周正朝, 胡娜娜, 周华. 西安市气温和降水变化趋势分析[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(1): 27-34.
- [21] 姚俊强, 杨青, 赵玲. 全球变暖背景下天山地区近地面水汽变化研究[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(2): 320-327.
- [22] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. *气候与环境研究*, 2008, 13(1): 75-83.
- [23] 苏里坦, 宋郁东, 张展羽. 近 40a 天山北坡气候与生态环境对全球变暖的响应[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(3): 342-346.
- [24] 张山清, 普宗朝, 伏晓慧, 等. 气候变化对新疆自然植被净第一性生产力的影响[J]. *干旱区研究*, 2010, 27(6): 905-914.
- [25] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 14-18.

(上接第 105 页)

- [7] 刘希林, 王小丹. 云南省泥石流风险区划[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(3): 104-107.
- [8] 刘涛, 张洪江, 吴敬东, 等. 层次分析法在泥石流危险度评价中的应用: 以北京市密云县为例[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(5): 6-10.
- [9] 广东省防灾减灾年鉴编纂委员会. 广东省防灾减灾年鉴 1995—2010 年[M]. 北京: 气象出版社, 1995—2010.
- [10] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. *地学前缘*, 2001, 8(2): 279-283.
- [11] 殷坤龙, 张桂荣, 陈丽霞, 等. 滑坡灾害风险分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [12] 尚志海, 刘希林. 自然灾害生态环境风险及其评价: 以汶川地震极重灾区次生泥石流灾害为例[J]. *中国安全科学学报*, 2010, 20(9): 3-8.
- [13] 彭羽, 刘雪华, 张爽, 等. 基于综合生态损失度的顺义区生态风险评价[J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2008, 48(3): 367-370.
- [14] 尚志海, 林培松, 张连兰. 区域滑坡灾害风险评价: 以梅州市为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2012, 34(4): 55-57.