

滕水昌,张敏,滕杰,等. 1951—2016年甘肃乌鞘岭气候变化特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(1): 75-81. [TENG Shuichang, ZHANG Min, TENG Jie, et al. Climatic Change Characteristics in Wushaoling Region of Gansu Province During 1951-2016[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(1): 75-81], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0075

1951—2016年甘肃乌鞘岭气候变化特征

滕水昌¹, 张敏¹, 滕杰², 乔琴¹

(1. 甘肃省乌鞘岭气象站, 甘肃 天祝 733200; 2. 甘肃省武威市气象台, 甘肃 武威 733000)

摘要:基于甘肃乌鞘岭站1951—2016年的气象观测资料,用小波变换等方法分析乌鞘岭地区在全球气候变暖背景下的气候变化特征。结果表明:该地区气温呈上升趋势,增温率为 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,其中1997—2016年偏暖幅度最大,年均距平达 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,近5 a达 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,1997年气温发生增暖突变;年降水量线性趋势不明显,存在准5 a、13 a、17 a、43 a的周期变化,1950年代、1980年代气候湿润,1960—1970年代气候干燥;近期(2011—2016年)年降水离散度增加,强降水频次增多,无霜期延长,雨雪日减少,气候变暖特征明显;Db5小波函数和赫斯特指数判别序列变化趋势表明该地区未来气温将持续上升,降水仍将延续增加态势。

关键词:气候变化;气温;降水;统计分析

文章编号:1006-7639(2018)01-0075-07 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-01-0075

中图分类号:P463.1

文献标志码:A

引言

IPCC第五次评估报告(AR5)指出,1880—2012年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,平均升高 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$,且冬半年升温比夏半年明显,中国近60 a气温上升明显,平均每10 a约上升 $0.23\text{ }^{\circ}\text{C}$,21世纪前10 a是近100 a来最暖的10 a^[1]。甘肃乌鞘岭地区位于祁连山脉北支冷龙岭的东南端,为陇中高原和河西走廊的天然分界,也是半干旱区向干旱区过渡的分界线,海拔高度2 400~3 600 m,人烟稀少,以牧业为主。近50 a来祁连山区平均气温呈波动上升,降水量也呈现增加趋势^[2-3]。有关河西走廊及祁连山地区在全球变暖背景下的气候变化已有很多研究,如贾文雄等^[4]研究了河西走廊平原区1956—2005年期间气温、降水的变化特征,认为1960—1980年代气温偏低,1990年代以后明显偏高,而降水在1960年代、1980年代偏少,1970年代最多,1990年代以后偏多,气温突变明显,而降水突变不明显;张耀宗^[5]对1960—2005年祁连山地区的气候变化研究指出:气温呈显著上升趋势,突变时间比中国及西北地区的气温突变滞后,降水变化幅度较大,在波动中呈增加趋势,存在8 a、5 a、17 a、

23 a、12 a周期变化;张存杰等^[6]通过对1960—2000年祁连山气温和降水的REOF分析,认为祁连山东端气温变暖始于1990年代后期且增温明显,降水1980年代和1990年代都有不同程度增加。该区域气候具有局地性和多样性,以上研究在一定时期和范围内具有代表性,但因资料长短影响,气候分析会产生一定偏差。乌鞘岭气象站是我国地面气温参考站,观测资料符合气候变化研究要求的“四性”,探究该区域气候的波动特征,一方面加深对局地气候的认知,其次对于祁连山区域生态保护与畜牧业可持续发展,也具有积极的现实意义和参考价值。

1 资料和方法

1.1 资料

采用甘肃省天祝县乌鞘岭气象站1951—2016年的气象观测资料,气候基准值采用1981—2010年的平均值。结合当地天气气候特点和农牧业生产实际情况,定义月平均气温大于等于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为暖季、小于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为冷季,按此标准把5—9月划分为暖季,10月至次年4月为冷季。雨日、雪日、积雪日、结冰日、无霜期日数均来自地面气象记录年报表,相关天气日数的定义和统计方法参照《地面气象观测规范》^[7]。

收稿日期:2017-03-18;改回日期:2017-08-21

作者简介:滕水昌(1966—),男,甘肃武威人,工程师,主要从事天气预报服务. E-mail: yctsc@126.com。

强降水等级依照 24 h(前一日 20:00 至当日 20:00, 北京时)日降水量确定。

1.2 方法

1.2.1 趋势分析

用公式 $Y_i = a + bX_i$ 分析线性趋势, b 为气候倾向率。小波基函数 DbN 常用来对离散序列进行滤波分析, 这里选择 Db5 小波基函数^[8]对降水、气温序列进行分解, 提取低频分量来表征信号历史趋势, 也就是通过连续的近似逐渐滤除信号中的高频信息, 减少噪声干扰, 得到低频部分来呈现信号的变化。采用 Hurst 创立的基于重标极差 (R/S) 分析方法基础上的赫斯特指数 (H) 研究时间序列长程相关性, 判读其未来变化趋势^[9]。赫斯特指数有 3 种情形: (1) 当 $H = 0.5$, 表明时间序列是随机性的; (2) 当 $0.5 < H < 1$, 表明时间序列具有正效应, 表示未来的趋势与过去一致, H 愈接近 1, 持续性愈强; (3) 当 $0 \leq H < 0.5$, 表明序列具有负效应, 表示未来的趋势与过去相反, H 愈接近 0, 反持续性愈强。

SNHT 方法^[10]用来对温度序列进行非均一性检验。其基本原理是: 统计量 T_k 为显著性判据 ($T_k = k\bar{Z}_1^2 + (n - k)\bar{Z}_2^2, k = 1, \dots, n$), $T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} T_k$, 当 T_k 在 $k = K$ 时取得最大值 T_0 且 T_0 大于临界值, 则待检序列在 K 年存在间断点。

Mann-Kendall 法^[11]进行序列趋势的突变检验。

1.2.2 小波变换

Morlet 小波在时-频两域均具有良好的分辨率且在时间与频率的局部化之间有着很好的平衡^[12-13]。文中用 Morlet 小波函数进行小波变换, 用变换后的小波系数实部等值线表征序列周期性变化, 系数模判别各种时间尺度的周期变化在时域上的分布情况, 模值越大, 其所对应的时段和尺度的周期性就越明显, 模方(能量密度)表征各尺度周期的振荡能量, 系数方差表现各主周期。

1.2.3 概率密度分布

利用 MATLAB 统计工具箱中的 Ksdensity 函数^[14]求样本的概率密度估计, 绘制极端温度的概率密度分布曲线。

1.2.4 阈值确定

将乌鞘岭站日最大降水序列的第 95 个百分点上的值定义为强降水事件。强降水阈值确定采用 Bonsal 非参数化方案^[15]。具体方法为: 设某站的日最大降水量有 n 个值, 将这些值按升序排列 $x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n$, 某个值小于或等于 x_m 的概率为: $p = m - 0.31/n + 0.38$, 其中 m 为 x_m 的序号。

2 气温变化特征

2.1 年平均气温变化

图 1 为乌鞘岭站 1951—2016 年间年平均气温距平及 5 a 滑动平均。可以看出, 该地年平均气温呈上升趋势, 气温距平的气候倾向率为 $0.20 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。其中, 1987 年以前的 36 a 中, 仅 4 a 气温为正距平, 其余年份均为负距平; 1987—2016 年, 有 7 a 气温为负距平, 其余年份都为正距平, 且近 10 a 气温距平为 $0.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, 近 5 a 达 $0.8 \text{ } ^\circ\text{C}$, 气温持续偏暖显著。

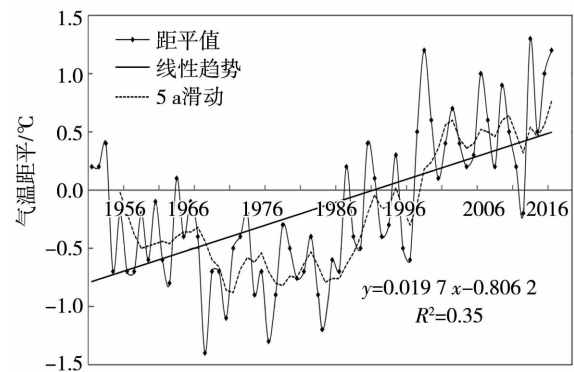


图 1 乌鞘岭站 1951—2016 年年平均气温距平
Fig. 1 The annual average temperature anomalies at Wushaoling weather station from 1951 to 2016

2.2 年代际及冷、暖季气温变化

图 2 为乌鞘岭站年代际、冷季与暖季的气温变化。可以看出, 乌鞘岭冷暖气、年代际气温总体呈非连续上升, 其距平的气候倾向率均为 $0.20 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。其中, 1950—1980 年代, 冷季气温距平为 $-0.8 \sim -0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$, 处于偏冷状态; 1990 年代气温比 1970—1980 年代上升约 $0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 2001—2016 年比 1970—1980 年代上升约 $1.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。暖季 1950—1980 年代气温距平为 $-0.7 \sim -0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$, 温度相对略低; 进入 1990 年代后, 气温连续上升且幅度加大, 1990 年代比 1970—1980 年代上升 $0.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, 2001—2016 年比 1970—1980 年代上升约 $1.0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。冷暖气增温对本地气候变暖的贡献基本一致, 1970—1980 年代冷、暖气均较低, 1990 年代后期冷季气温增幅略大于暖季, 且冷暖气增温较之前更为显著。从年代际变化来看, 1950—1980 年代气温相对较低, 气温距平为 $-0.6 \sim -0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$; 1990 年代、2001—2016 年气温距平分别为 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 、 $0.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, 1990 年代后期气温持续上升且增幅较大。

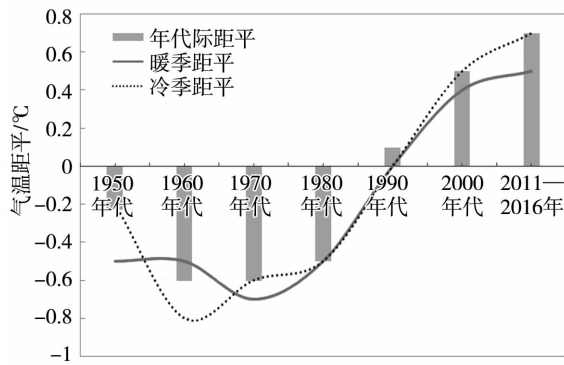


图2 1951—2016年乌鞘岭站年代际、冷季与暖季平均气温距平

Fig. 2 Departure variations of decadal average temperature, cold and warm seasons average temperature at the Wushaoling weather station during 1951 - 2016

2.3 最高、最低气温变化

最高、最低气温是表征某地气温波动的主要气象因子。1951—2016年间,乌鞘岭平均最高气温1960—1980年代偏低,2000年代及近6a偏高,极端最高气温28.1℃出现在2000年,次值27.3℃出

现在2010年;平均最低气温1950—1980年代偏低,极端最低气温-30.6℃出现在1958年,2000年代及近6a偏高,极端最低气温-30.4℃出现在2004年。图3是乌鞘岭站1951—2016年极端最高、最低气温的概率密度估计。可以看出,极端高温1960、1980年代分布集中,1950、1970年代分布向高值区移动,1990年代以来年际分布更加扁平、范围扩大且明显向高值区伸展,说明极端高温强度逐渐增大;极端低温1950—1980年代分布在低温区且较为集中,说明这一时期极端低温强度变化不大,1990年代开始分布曲线向高值区移动,包含的面积明显增大,说明极端低温强度减弱,且1990年代以后极端低温的波动范围更大。

2.4 积雪日和无霜期

积雪日数与气温及降水量分别呈反相关、正相关关系^[16],而无霜期是农业上重要的热量指标,无霜期长短与农作物的生长期密切相关。通过对1951—2016年乌鞘岭积雪日和无霜期距平的统计(表1),发现积雪日逐渐减少、无霜期增加。其中,1950、1960、1970、1980年代积雪日距平分别为10 d、

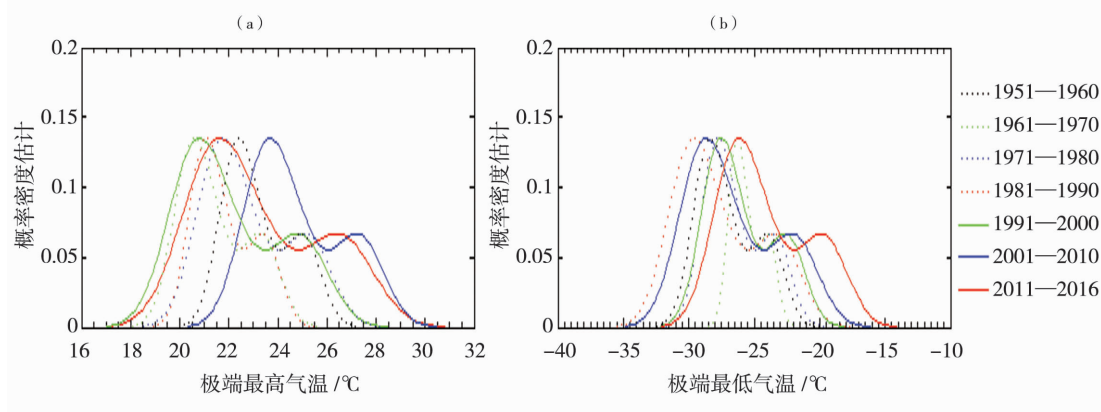


图3 乌鞘岭站1951—2016年极端最高、最低气温的概率密度估计

Fig. 3 The Kernel density estimation of extreme maximum and minimum temperature at Wushaoling weather station during 1951 - 2016

表1 乌鞘岭站各类天气日数距平统计

Tab. 1 The anomalies statistics of different weather types days at Wushaoling weather station 单位:d

时段	日降水量≥1 mm 日数	雨日	雪日	积雪日	结冰日	无霜期
1951—1960	16	-41	-29	10	5	16
1961—1970	-6	-47	-41	9	-26	10
1971—1980	-3	-41	-36	15	-19	-15
1981—1990	2	-4	13	3	3	-16
1991—2000	-3	3	-5	-5	2	2
2001—2010	0	1	-9	1	-6	16
2011—2016年	6	-13	-13	-16	1	38

9 d、15 d、3 d,1990 年代为 -5 d,2001—2016 年为 -15 d。无霜期距平 1970、1980 年代分别为 -15 d、-16 d,2000 年代 16 d,2011—2016 年为 38 d,进一步表明该区域 1970—1980 年代气候寒冷、生长期短;而气候变暖、生长期变长,主要发生在 1990 年代之后。

综上所述,乌鞘岭地区气温存在明显的年代际和季节波动,1950—1980 年代气温相对偏低,冷季气温波动大于暖季且冷季增温略大于暖季;1990 年代后期气温上升加剧,积雪日数减少,无霜期延长,气候变暖明显。

2.5 气温突变分析

在显著性水平 $\alpha_{0.01} = 11.79$ 的情况下,用 SNHT 方法对温度序列进行非均一性检验,计算统计量 T_k 值,其中出现两个极大值 T_0 分别是 14.16 (1994 年)、16.46 (1997 年),由此可判断该值出现的年份均可作为断点。查阅乌鞘岭站档案,发现没有发生过迁站、仪器变更、观测标准变化等严重影响数据改变的情况。同时,对气温序列进行分布检验,偏度和峰度系数绝对值均小于判据(值略),表明其遵从正态分布,说明气温的突变不是人为因素造成。图 4 是 Mann-Kendall 法对气温序列的突变检验结果,可以看出,1990 年代后期变化超过临界值 1.96 (显著性水平 $U_{0.05} = 1.96$),甚至超过 0.001 显著性水平 ($U_{0.001} = 2.56$),UF 和 UB 曲线在 1996—1997 年之间出现交点,表明气温发生突变,结合非均一性检验分析结果,确定 1997 年为突变时间点,这比河西走廊气温突变时间晚 1 a^[17],比西北地区气温突变时间晚 10 a^[18],突变滞后,表现出明显的局地特点。

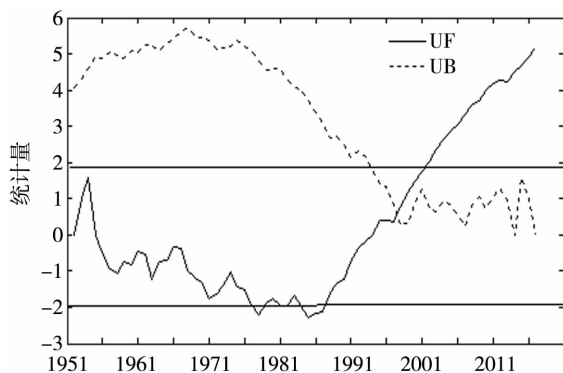


图 4 乌鞘岭站年平均气温的 M-K 检验
Fig. 4 The M-K test of annual average temperature at Wushaoling weather station

3 降水变化特征

3.1 年降水

图 5 是乌鞘岭站 1951—2016 年年降水量距平。

可以看出,乌鞘岭 1950 年代、1976—1989 年、2011—2016 年年降水偏多,其中 2012 年出现历史最大值 592.8 mm,1961 年出现次多值 555.2 mm;1962—1975 年、1990—1995 年降水相对偏少,其间出现历史最小值 231.3 mm (1962 年)及次小值 236.4 mm (1965 年),1962—1966 年年均降水偏少 3 成,是最干旱的时期,1990—1991 年次之。年降水大约经历了 5 次明显的波动,1951—1961 年、1976—1986 年、2011—2016 年处于波峰期;1962—1975 年、1990—2001 年处于波谷。降水距平的气候倾向率为 $-0.0007\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,表明年降水基本没有变化,而且 3 a 滑动拟合曲线与年际波动基本吻合。从日降水量大于等于 1 mm 日数(表 1)也反映出该地区年代际的干湿变化特征,即 1950 年代、1980 年代气候相对湿润,1960—1970 年代前期、1990 年代干燥,近期有转湿迹象。

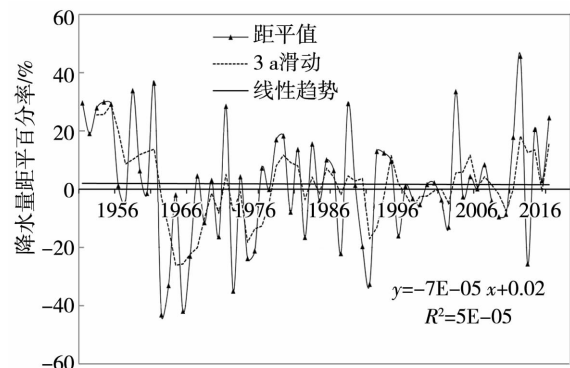


图 5 乌鞘岭站 1951—2016 年年降水量距平
Fig. 5 The annual precipitation anomalies at Wushaoling weather station from 1951 to 2016

3.2 冷、暖季降水

从表 2 中看出,冷暖季降水量变化呈现不同特征。冷季 1950 年代降水偏多,1960—1970 年代降水偏少。冷季降水量距平的气候倾向率为 $-0.013\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;暖季 1950 年代、2011—2016 年略多,1960 年代略少。暖季降水量距平的气候倾向率为 $0.002\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。从各年代降水量变异系数来讲,1950 年代最小,1960 年代较大,2011—2016 年偏离度变大。冷季的变异程度大于暖季,近年来冷暖季降水偏离度也在变大,表明降水的不稳定性在增大。

3.3 强降水特征

Bonsal 非参数化百分位法确定日降水量大于等于 10 mm 为该站强降水的阈值。统计发现:1951—2016 年间,日降水量大于等于 10 mm 年均出现 10 次,1950 年代略多、1960 年代略少;日降水量大于

表 2 乌鞘岭站冷、暖季降水量距平与变异系数

Tab. 2 The statistics table of annual and quarterly precipitation anomalies of Wushaoling weather station

时段	降水量距平			变异系数 C_v		
	暖季	冷季	全年	暖季	冷季	全年
1951—1960	13	41	17	12	22	13
1961—1970	-11	-22	-13	29	36	28
1971—1980	3	-25	-1	23	31	20
1981—1990	2	-3	1	17	30	17
1991—2000	-1	-5	-2	15	17	14
2001—2010	-1	8	0	13	28	13
2011—2016	15	9	14	23	44	20

单位: %

等于 20 mm 的次数年均 2 次;日降水量大于等于 25 mm 每 10 a 出现 6 次,1960 年代 5 次,2000 年代 7 次,2011—2016 年出现 4 次;日降水量大于等于 30 mm 每 10 a 出现 3 次,1950 年代 6 次,1970 年代少 2 次,1990 年代 5 次,2000—2016 年比均数多 9 次,占历史总数的 33%;日降水量大于等于 35 mm 每 10 a 出现 1 次,其中 1950 年代 3 次,2000—2016 年出现 5 次,占历史总数(12 次)的 41%。上述分析表明,从 1990 年代始日降水量大于等于 30 mm 的降水事件逐渐增加,近年强降水明显增多(图 6)。

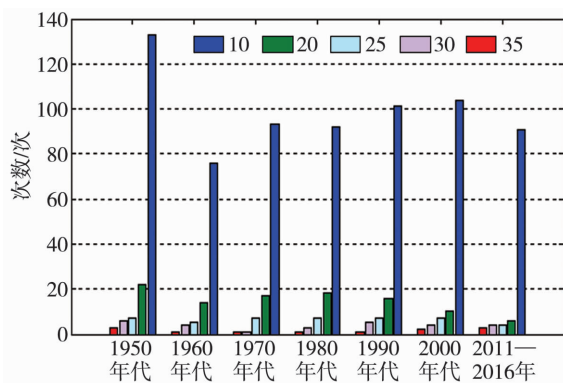


图 6 1951—2016 年乌鞘岭站 10~35 mm 日降水量各年代出现次数

Fig. 6 The occurring frequencies of daily precipitation with different rainfall intensity in each decade during 1951—2016 at Wushaoling weather station

3.4 降水的周期性分析

采用 Morlet 连续复小波变换分析降水的多尺度周期及奇异点特征(图 7)。可以看出,降水存在明显的周期变化,在 38~43 a 的时间尺度上周期振荡非常显著[图 7(a)]。干湿转折发生在 1955 年、

1962 年、1972 年、1991 年、2013 年,存在准 5 a、13 a、17 a、43 a 的周期变化。在降水演变过程中,38~43 a 时间尺度模值最大[图 7(b)],说明该时间尺度周期变化最明显,3~5 a、12~14 a 的周期变化次之,其他时间尺度的周期性变化较小。从小波模方[图 7(c)]可知,38~43 a 时间尺度的能量最强,周期最显著,且此周期具有全局性;12~14 a 能量较弱,周期分布具有局部性(1971 年前),3~5 a 周期分布较零散。小波方差[图 7(d)]中存在 4 个较为明显的峰值,依次对应 43 a、13 a、5 a 和 17 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应 43 a 时间尺度,说明 40 a 左右的周期振荡最强;其次为 13 a 周期,5 a、17 a 周期较弱。

4 气温、降水的趋势分析

4.1 历史变化趋势分析

趋势分析主要用来分析时间序列顺序递增或递减的变化规律,时间序列中的低频成分代表趋势分量。Db5 小波(低频重构误差最小且能满足趋势分析需要)对气温和降水序列进行 5 次分解,提取其低频特征,由图 8(a)、图 8(b)可见,气温、降水序列的低频成分随分解层数的增加,它所包含的高频信息随之减小,它们的趋势变化逐渐呈现。自上而下,依次为重构信号、低频重构、细节系数,从小波分解的第 5 层趋势变化曲线(a5)可以看出,在最近的历史时期内,该区域气温、降水量均呈波动上升趋势。

4.2 未来变化趋势分析

根据 R/S 分析原理,对 $\log(R/S)$ 和 $\log(t/2)$ 进行一元线性回归[图 8(c)、图 8(d)],得到 Hurst 指数 H 值,气温的 $H=1.0$,降水量的 $H=0.7$,表明年气温、降水量存在较明显的赫斯特现象,基于气温、

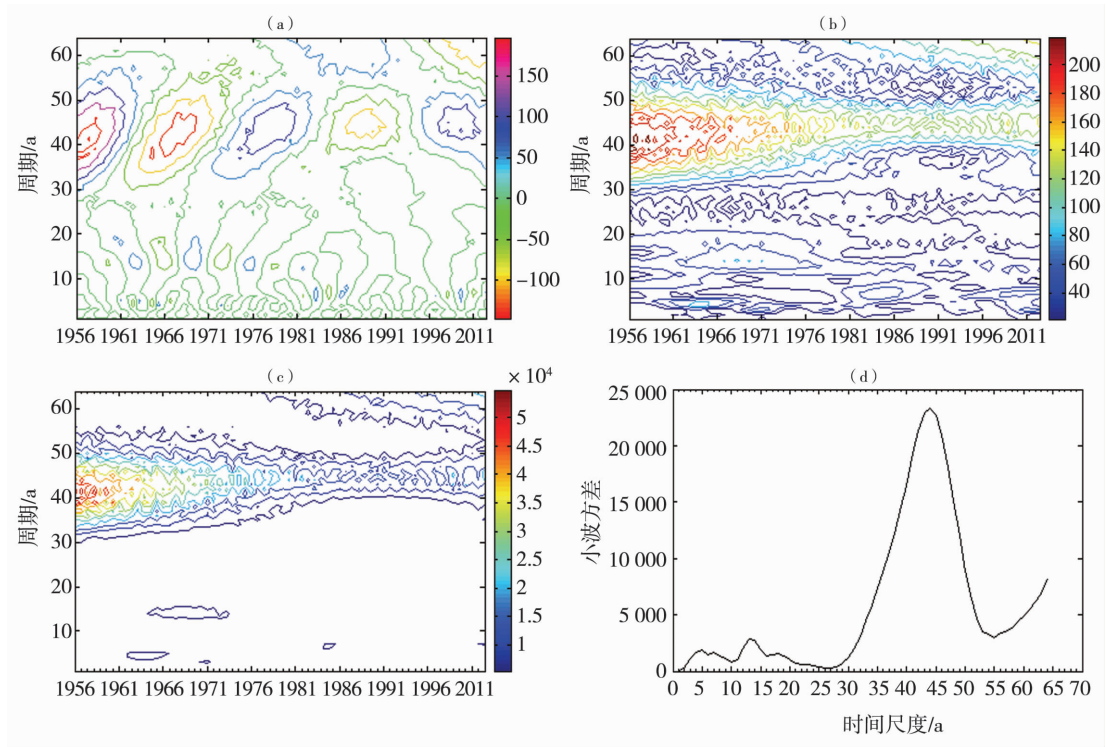


图7 乌鞘岭站 1951—2016 年降水量的 Morlet 小波系数实部(a)、小波系数模(b)、小波系数模方(c)等值线和小波方差(d)

Fig.7 The contour lines of real part of wavelet coefficients (a), wavelet coefficients modulus (b) and its square (c), wavelet variance (d) of annual precipitation at Wushaoling weather station from 1951 to 2016

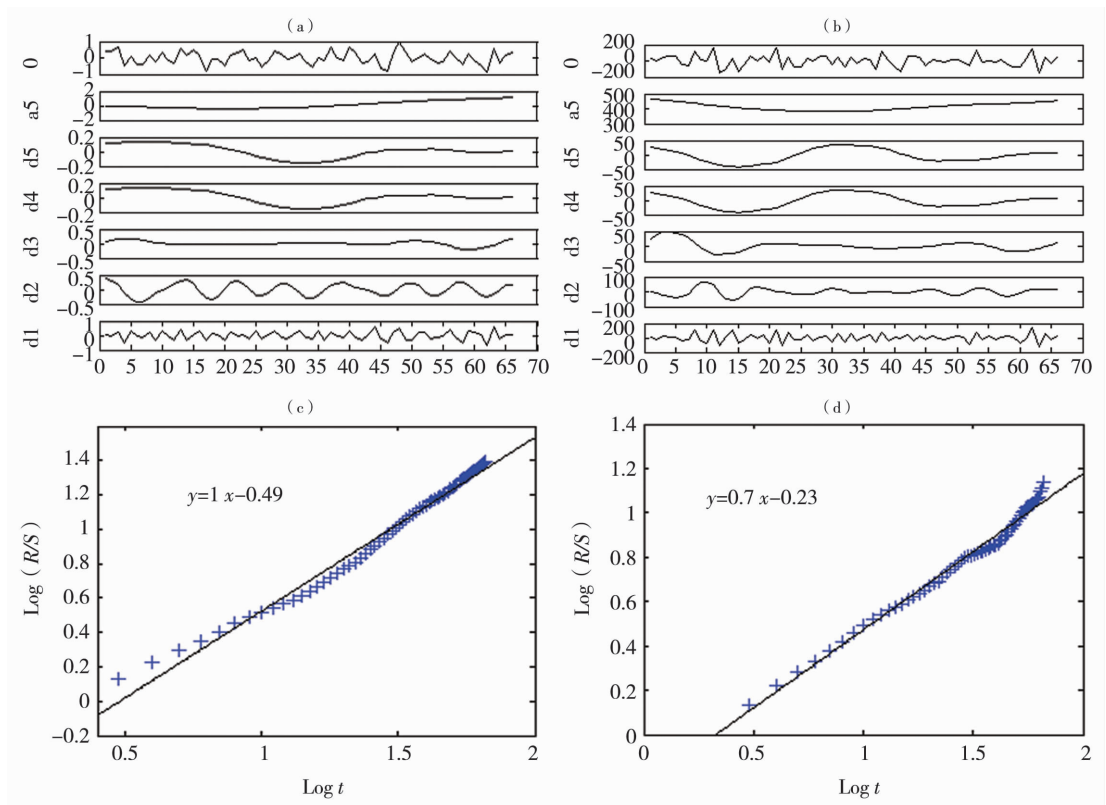


图8 乌鞘岭站 1951—2016 年气温(a)、降水(b)序列的低频特征及气温(c)和降水(d)的 Hurst 指数

Fig.8 The low frequency characteristic of temperature (a) and precipitation (b) series and Hurst index of temperature (c), precipitation (d) at Wushaoling weather station from 1951 to 2016

降水的历史变化趋势,二者未来依然会延续历史变化趋势的可能性很大,该地区气温升高的持续性将很强,降水量仍会有所增加。

5 结论与讨论

(1)1951—2016年间,乌鞘岭地区气温呈上升趋势,距平倾向率均为 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,且未来气温仍将持续升高;极端高温强度逐渐增大,极端低温强度逐渐减弱,1990年代以后气温极差增加;气温突变于1997年;冷、暖季增温对该地区变暖的贡献基本一致,冷季气温波动大于暖季,且1990年代后期冷季气温增幅略大于暖季,同时冷、暖季增温较之前更为显著;1950—1980年代气温相对较低,1980年代后期到1990年代中期气温波动上升,1990年代后期气温持续上升且增幅较大,近期增温剧烈,年平均气温比均值高 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2)年降水量线性趋势变化不明显,距平气候倾向率为 $-0.0007\%\cdot(10\text{ a})^{-1}$,3 a滑动拟合曲线与年际波动基本吻合,赫斯特现象明显,未来降水仍将延续目前的增加趋势,年降水存在5 a、13 a、17 a、43 a的准周期,且43 a周期振荡最强;冷季降水波动幅度大于暖季,就年代际而言,1950年代、1980年代气候湿润,1960—1970年代干燥,1990年代至今雨日减少、积雪日减少、无霜期显著延长,30 mm以上的强降水事件增加,暖化特征显著。

(3)乌鞘岭地区气温升高、降水在波动中增加的暖湿化趋势特征可能持续,将导致蒸散量增大,局地强降水与极端温度出现概率增大,由此引发的灾害事件可能增加,将会对本区域祁连山生态修复、植被生长、农牧业生产产生更多的负面影响。

参考文献:

- [1] IPCC 第五次科学基础报告解读[N]. 中国气象报社,2014-11-13.
[2] 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(增刊):55-56.
[3] 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):85-89.
[4] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 近50年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析[J]. 地理科学,2008,28(4):529-530.
[5] 张耀宗. 近50年来祁连山地区的气候变化[D]. 兰州:西北师范大学,2009.
[6] 张存杰,郭妮. 祁连山区近40年气候变化特征[J]. 气象,2002,28(12):37-39.
[7] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003.
[8] 潘雅婧,王仰麟. 基于小波与R/S方法的汉江中下游流域降水量时间序列分析[J]. 地理研究,2012,31(5):813-817.
[9] 黄谄蓉,罗奕. 基于经典R/S分析方法的H指数估计有效性评价[J]. 统计与信息论坛,2009,24(8):59-64.
[10] 吴利红,康丽莉,毛裕定,等. SNHT方法用于气温序列非均一性检验的研究[J]. 科技通报,2007,23(3):337-341.
[11] 魏凤英. 现代气候诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999:49-72.
[12] 张善文,雷英杰,冯有前. Matlab在时间序列分析中的应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007.
[13] 张小明,魏峰,陆燕. 祁连山近45 a年降水异常的气候特征[J]. 干旱气象,2006,24(3):35-37.
[14] 谢中华. Matlab统计分析与应用:40个案例分析[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010:179-182.
[15] BONSAL B R, ZHANG X, VINCENT L A, et al. Characteristic of daily and extreme temperature over Canada[J]. Journal of Climate, 2001,14(9):1959-1976.
[16] 杨倩,陈圣波,路鹏,等. 2000~2010年吉林省积雪时空变化特征及其与气候的关系[J]. 遥感技术与应用,2012,27(3):414-418.
[17] 孟秀敬,张士峰,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):1483-1490.
[18] 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):53-165.
[19] 陈文海,柳艳香,马柱国. 中国1951-1997年气候变化趋势的季节特征[J]. 高原气象,2002,21(3):253-257.
[20] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.

(下转至129页)