

1963—2018 年贵州修文县气温和降水变化特征

罗梅¹, 杨守禄², 唐红祥¹, 陈梦圆¹, 袁仕锋¹, 王建华¹,
杨媛雯¹, 奚悦¹, 任广红¹, 王立琳¹, 齐大鹏³, 高文明⁴

(1.修文县气象局, 贵阳 550299; 2.贵州省林业科学研究院, 贵阳 550005;

3.贵州省气象台, 贵阳 550002; 4.白云区气象局, 贵阳 550014)

摘 要:基于 1963—2018 年日平均气温和年降水量数据,利用线性趋势分析法、累积距平检验法、信噪比检验方法和 Mann-Kendall 趋势分析等方法,分析了贵州修文气温和降水的变化特征。结果表明:近 55 年来修文年平均气温为 13.8℃,年均气温总体呈显著上升趋势,增速为 0.11℃/10 a;在 2000 年年平均气温发生由低温到高温的突变,且气候变暖在最低温上表现更为突出;修文年平均降水量为 1 144.8 mm,年降水量在波动中总体上呈显著下降趋势,年降水量下降幅度为 31.8 mm/10 a;从季节变化来看,自 20 世纪 80 年代春、夏、秋季降水总体呈明显波动下降趋势,冬季降水下降趋势不明显;降水量年内分配十分不均,主要集中在 5—9 月,且夏季降水量基本均占全年降水量的 50% 左右。年降水量在 1980 年降水量存在由多到少的突变。

关键词:气温; 降水; M-K 检验; 变化趋势

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0177-05

Variation of Temperature and Precipitation in Xiuwen County of Guizhou Province During the Period 1963—2018

LUO Mei¹, YANG Shoulu², TANG Hongxiang¹, CHEN Mengyuan¹, YUAN Shifeng¹, WANG Jianhua¹,
YANG Yuanwen¹, XI Yue¹, REN Guanghong¹, WANG Lilin¹, QI Dapeng³, GAO Wenming⁴

(1.Xiuwen Meteorological Bureau, Guiyang 550200, China; 2.Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550005, China;
3.Guizhou Meteorological Center, Guiyang 550002, China; 4.Baiyun Meteorological Bureau, Guiyang 550014, China)

Abstract: Trend analysis, cumulation anomaly analysis, signal-to-noise ratio test and Mann-Kendall test were used to analyze air temperature and precipitation annual variability in Xiuwen of Guizhou from 1963 to 2018. It is found that in recent 55 years, the annual mean temperature was 13.8℃, it rose significantly, increased by 0.11℃/decade, and an abrupt change from low to high occurred in 2000, climate change was more pronounced at the lowest temperatures; the annual precipitation was 1 144.8 mm, it showed the significantly decreasing trend in 55 years, decreased by 31.8 mm/decade; the precipitation trend of spring, summer and autumn significantly reduced after 1980, and it did not significantly reduced in winter; annual distribution of precipitation in Xiuwen area was very uneven, the precipitation mainly occurred from May to September, and the precipitation in summer basically accounted for 50% of the annual precipitation; the abrupt change of precipitation occurred in 1980.

Keywords: temperature; precipitation; M-K test; change tendency

近年来,在温室效应和城市化进程快速发展的大背景下,全球变暖趋势日益显著^[1]。IPCC 第五次评估报告指出,1951—2012 年全球平均地表温度升

高了 0.72℃^[2],1980—2012 年为工业革命以来最暖的 30 年。同时,随着全球气候的变化,中国气候表现出独特的变化特征,年平均气温升高了(0.65±

收稿日期:2019-05-24

修回日期:2019-11-17

资助项目:贵州林业科研课题(黔林科合[2019]3 号,黔林科合[2019]5 号),贵阳市气象科技基金(筑气科合 KJ[2018]12 号)

第一作者:罗梅(1989—),女,贵州修文人,硕士,研究方向为人工影响天气及预报服务研究。E-mail:yuzichenlm@126.com

通信作者:杨守禄(1987—),男,贵州修文人,在读博士,助理研究员,研究方向为木竹材功能性改良和生物质复合材料研究。E-mail:yang-shoulucsuft@163.com

0.15)℃,且年际变化特征明显,年均降水量变化趋势不显著,1951—1989 年,呈微弱的减少趋势,但存在明显的区域差异^[3]。气温和降水作为气候变化的两大重要因素,对生态环境的影响巨大。研究气温和降水的变化规律具有重要的意义,因而很多学者对此进行了研究。如:侯凯等^[4]研究指出,气温升高趋势将不再持续,未来可能降低,并且年降水量减少趋势也不再持续,未来可能开始增加;同时,赵路伟等^[5]在研究中指出,河南省近 54 a 气温上升趋势显著,降水量在波动中略微有减少的趋势;苗正伟等^[6]对京津冀地区近 55 a 气候演变特征进行分析,气候要素的突变主要发生在 80 年代前后。

西南喀斯特地区是我国 4 个主要酸雨沉降地区之一,十分脆弱,早在 20 世纪 70 年代有大量的学者对西南地区的降水进行了研究,但是对气温和降水变化特征的研究极少。李勇等^[7]研究指出贵州区域年降水量存在减少的趋势,同时降水存在一定的突变;然而对贵州小区域降水和气温变化特征的研究目前尚不全面和深入。基于此,本文应用贵州省修文县 1963—2018 年气温和降水时间序列数据,采用线性趋势法、滑动平均、累积距平分析、信噪比检验、M-K 检验法分析修文县年平均气温、降水量的趋势及突变,以期对贵州省小区域气候资源利用和农业生产指导提供参考。

1 研究区概况

修文位于贵州省贵阳市北部,贵州中部,地处 26°45′—27°12′N,106°21′—106°53′E。修文县境内海拔 940~1 610 m,平均海拔 1 290 m,气候属亚热带季风湿润区。贵州省修文县是黔中经济区和贵阳北部新区的重要节点城市,除西部边缘河谷切割较深外,相对高度多在 150 m 以内,谷宽水浅,槽谷和洼地较多,属于较典型的喀斯特丘陵地形^[8]。

2 数据资料及研究方法

2.1 数据资料

论文研究数据来源于贵州省修文县气象台 1963—2018 年近 55 a 的气温和降水观测资料,该数据资料完整,样本数 n 为 55,对于贵州省小区域气候变化研究具有较好的代表性,同时利用 origin,Matlab 和 Excel 等软件进行数据的处理、分析和绘图。采用气象统计常用的四季划分:春季(3 月、4 月、5 月)、夏季(6 月、7 月、8 月)、秋季(9 月、10 月、11 月)、冬季(12 月、1 月、2 月)。

2.2 研究方法

2.2.1 线性趋势分析与其相关性检验 利用一元线

性回归方程来拟合年平均气温和年降水量变化趋势^[9],分析修文 1963—2018 年 55 年平均气温和年降水量的变化趋势。一元线性方程可用来表示气象要素的气候倾向率,即:

$$y=b_0+bx$$

式中: y 为气象要素; b_0 为常数项; b 为斜率; x 为时间(1963—2018 年)。 $b\times 10$ 表示气象要素每 10 a 的气候倾向率。

检验方法如下:若 $|r|\geq r_{0.05}(n-2)$,则线性回归是显著的, y 与 x 之间呈线性关系。对一元回归方程相关系数作相关性检验,取显著水平为 $\alpha=0.05$, $r_{0.05}(n-2)=r_{0.05}(55-2)=0.237$ 。其中: r 表示相关系数; n 表示样本数; $r_{0.05}(n-2)$ 表示样本为 n 、显著水平为 0.05 时的相关系数。

2.2.2 累积距平与信噪比 累积距平是一种由曲线直观判断气候变化趋势的方法^[10]。对于气候要素序列,其某一时刻 t 的累积距平表示为:

$$x=\sum_{i=1}^t(x_i-\bar{x}) \quad (t=1,2,3,\cdots n)$$
$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i$$

式中: x_i 代表第 i 年平均气温或者降水量; \bar{x} 为 1963—2018 年年平均气温或降水量。突变年可能是绝对值最大指标所对应的年份。算出 n 个时刻的累积距平值,绘出累积距平曲线进行趋势分析。

天气过程的突变常用气候状态分布特征量随不同时段的变化来衡量,定义信噪比(S/N)作为相邻两气候阶段差异的统计量,信噪比的计算公式如下^[11]:

$$S/N=\frac{|x_1-x_2|}{s_1+s_2}$$

式中: x_1,x_2 和 S_1,S_2 分别为转折年份前后两阶段的平均值和标准差。若 S/N 大于 1,则认为在这个年份存在气候突变,反之为突变不显著。

2.2.3 Mann-Kendall 趋势分析及突变检验 M-K 突变检验是一种常用的分析气象数据时间序列趋势的方法,其不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异样值的干扰,具有检验范围宽、定量化程度高、人为性小等优点^[12-13]。

因此选择 M-K 突变检验法可用来分析气温和降水的变化趋势,并检测其是否显著,并分析其突变特点^[11]。

3 结果与分析

3.1 气温

3.1.1 年平均气温变化趋势 如图 1 所示,对年平均气温进行五年滑动平均和线性拟合,1693—2018

年,年平均气温为 13.8℃,最高气温为 14.6℃,出现在 2007 年;最低气温为 12.8℃,出现在 1976 年。对一元线性方程进行相关性检验, $r=\sqrt{R^2}=\sqrt{0.143}=0.378>r_{0.05}(55-2)=0.237$,则线性回归是显著的,即年均气温的增长趋势是显著的。贵州修文县年平均气温保持增长的趋势,增速为 0.11℃/10 a。

1963 年以来,修文气温变化趋势与中国^[14] 和全球^[15] 升温趋势基本一致,年平均气温整体呈波动上升。从表 1 看出,年均气温呈明显的年代波动上升趋势,自 21 世纪以来气温明显升高,近 18 a 来年平均气温达 14.1℃,较 20 世纪 70 年代年平均气温(13.51℃)升高了 0.59℃。对 55 a 的年平均气温计算标准差(0.46℃),

表 1 修文县 1963—2018 年不同年代气温均值和距平值

时期	年均气温		春季		夏季		秋季		冬季	
	均值	距平	均值	距平	均值	距平	均值	距平	均值	距平
1963—1969	13.78	−0.01	14.84	0.61	21.40	−0.25	14.64	0.04	4.25	−0.44
1970—1979	13.51	−0.28	13.96	−0.27	21.48	−0.17	13.94	−0.66	4.66	−0.02
1980—1989	13.54	−0.25	13.65	−0.58	21.63	−0.02	14.53	−0.07	4.34	−0.35
1990—1999	13.75	−0.04	13.85	−0.38	21.70	0.05	14.50	−0.10	4.93	0.25
2000—2009	14.15	0.36	14.56	0.33	21.89	0.24	15.00	0.40	5.16	0.48
2010—2018	14.02	0.23	14.50	0.27	21.82	0.17	14.98	0.38	4.77	0.09

3.1.2 年最高、最低气温变化 图 2 为修文县年极端最高温与极端最低温变化图。55 a 来极端最高温呈上升趋势(图 2A),极端最高气温增速为 0.18℃/10 a,年平均最高温为 31.7℃,极端最高气温为 33.8℃(2013 年),较年平均最高温偏高 2.1℃,较年平均气

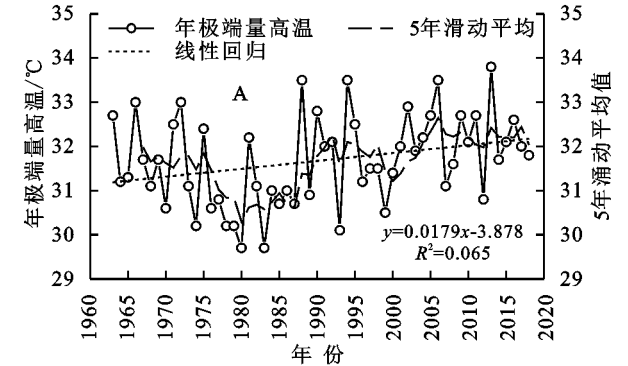


图 2 修文县 1963—2018 年年极端最高、最低气温变化

55 a 平均最低气温为 −5.5℃,极端最低气温为 −10.4(1977 年),较年平均低温偏低 4.9℃,较年平均气温偏低 24.2℃。对极端最低温一元线性方程进行相关性检验, $r=\sqrt{R^2}=\sqrt{0.220}=0.469>r_{0.05}(55-2)=0.237$,则线性回归是显著的,即极端最低气温的增长趋势是显著的。年极端最低温总体呈上升趋势(图 2B),其增速为 0.32℃/10 a。总体而言,极端最高最低温的线性趋势变化与全国最高、最低气温变化趋势基本一致,年极端最高温增幅小于极端最低温,说明修文气候变暖在最低温上表现更为突出。

波动性整体较小,平均气温变化基本呈降一升的过程,总体呈震动上升趋势。

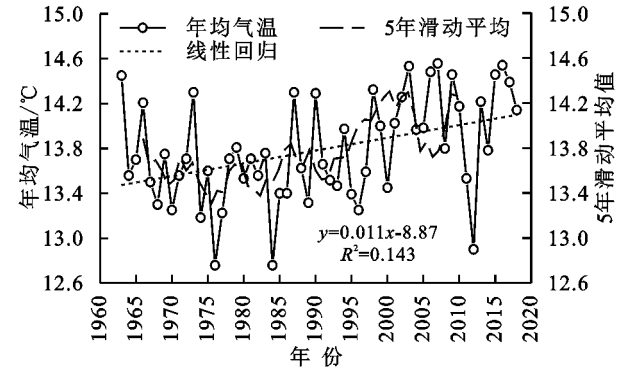
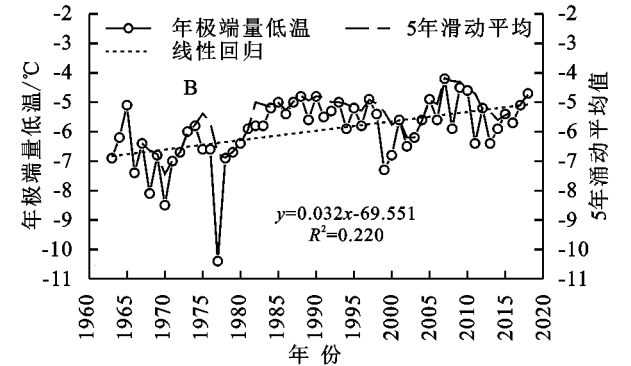


图 1 修文县 1963—2018 年年平均气温变化

温偏高 20.0℃。对极端最高温一元线性方程进行相关性检验, $r=\sqrt{R^2}=\sqrt{0.065}=0.254<r_{0.05}(55-2)=0.237$,则线性回归是不显著的,因此修文县的极端最高气温虽然增大,但增长趋势并不显著。



3.1.3 气温累积距平分析 气候突变是指气候从一种稳定态跳跃式的转变为另一种稳定态的现象^[16]。由图 3 所示,气温累积距平曲线的绝对值最大值为 6.46(1997 年),这次转折是气温从偏低期转为偏高期,1997 年之后的偏高期至今仍在持续。1997 年的信噪比为 0.61,不存在明显气候突变。

观察年平均气温累积距平曲线,在 2000 年处曲线存在波动,且其累积距平曲线的绝对值(6.05)略小于 1997 年(6.46),计算其信噪比,其信噪比为 0.63,亦不存在明显气候突变,但 2000 年信噪比(0.63)大

于 1997 年信噪比(0.61),则表明气温气候突变的现象越来越明显。

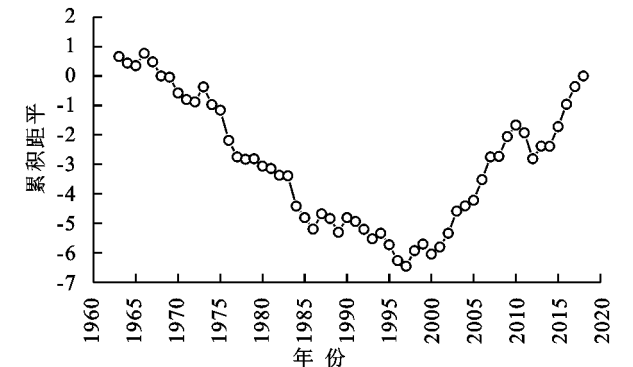


图 3 修文县 1963—2018 年平均气温累积距平变化

3.1.4 气温 M-K 突变检验 利用 M-K 检验法对修文近年平均温度进行突变检测,给定显著性水平 $\alpha=0.05$,即 $U_{0.05}=\pm 1.96$ 。由图 4 知,气温总体呈现上升趋势,1995 年之前气温变化平缓,1995 年之后气温显著增暖,持续上升,特别是 2000 年以来增暖的趋势十分显著($UF>0$),且 UF 曲线在 2007—2008 年与 0.05 显著置信曲线相交,这表明其以后气温上升趋势达到 0.05 显著性水平。UF 和 UB 曲线相交于 2000 年,且位于 ± 1.96 之间,即表明气温在 2000 年前后存在突变;由累积距平分析、信噪比检测分析知,1997 年以来,气温气候突变的现象越来越明显,综合 M-K 突变分析结果,表明修文气温在 2000 年发生气温上升的突变。

3.2 降水

3.2.1 年降水量年纪变化特征 图 5 为修文县 1963—2018 年降水量变化曲线,对其进行五年滑动平均和线性拟合可见,1963—2018 年,年平均降水量为 1 144.8 mm,最低为 779.9 mm(2011 年),最高为 1503.4 mm

(1971 年)。年降水变化倾向率 <0 ,呈下降趋势,其下降幅度为 31.8 mm/10 a。对一元线性方程进行相关性检验, $r=0.279>r_{0.05}(55-2)=0.237$,则线性回归是显著的,即年降水量的减少趋势是显著的。

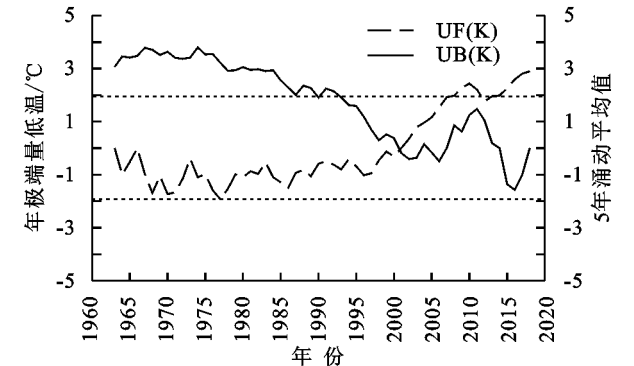


图 4 修文县 1963—2018 年平均气温 M-K 突变判别

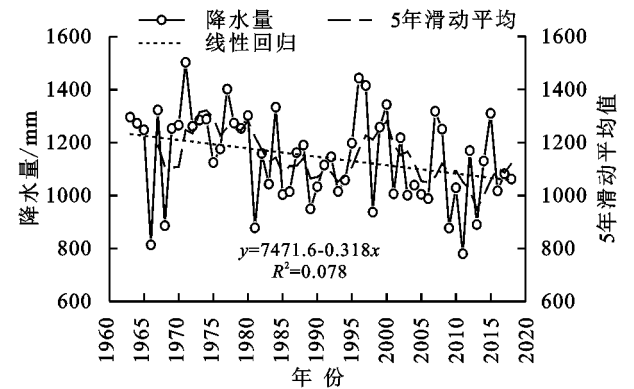


图 5 修文县 1963—2018 年年降水量变化

3.2.2 降水量季节变化特征 由表 2 可知,20 世纪 60 年代以来,四季多年平均降水量为 304.7 mm(春季),529.9 mm(夏季),240.6 mm(秋季),68.6 mm(冬季)。自 20 世纪始,春、夏、秋降水呈总体呈明显波动下降趋势,其中以夏秋季降水下降最为明显。

表 2 修文县 1963—2018 年不同年代降水均值和距平值

时期	年		春季		夏季		秋季		冬季	
	降水	距平	降水	距平	降水	距平	降水	距平	降水	距平
1963—1969	1156.3	12.4	333.1	28.4	531.6	1.7	227.6	-13.1	64.1	-4.5
1970—1979	1283.6	139.7	366.6	61.9	576.7	46.8	277.6	37.0	62.7	-5.9
1980—1989	1103.7	-40.2	286.3	-18.4	477.5	-52.4	269.2	28.6	70.7	2.1
1990—1999	1162.2	18.3	265.1	-39.6	573.0	43.1	250.5	9.8	73.7	5.1
2000—2009	1104.9	-39.0	312.2	7.5	515.1	-14.8	201.6	-39.1	75.9	7.3
2010—2018	1052.5	-91.4	265.1	-39.6	505.6	-24.3	217.4	-23.3	64.4	-4.2
1963—2018	1143.9		304.7		529.9		240.6		68.6	

图 6 是修文县 1963—2018 年不同年代各月平均降水量及距平变化。由图 6A 可以看出,冬季各月平均降水量变化总体波动不大,春季降水量逐月增多,夏季月降水量相对较多,秋季降水呈逐月降低趋势。降水量年内分配十分不均,主要集中在 5—9 月。各年代月降水量基本均在夏季 6 月达到最大值,其中 70 年代 6 月降水量达到 275.5 mm。不同年代降水

量的季节变化差异比较明显(6B、表 2),年际波动变化大,春、夏、秋季降水总体呈明显波动下降趋势,冬季降水减少趋势不明显;90 年代夏季降水明显高于其他年代,其中 7 月份降水量异常偏多;21 世纪初夏季降水明显低于其他年代,其中 7 月份降水量异常偏少。这表明,自 80 年代至 21 世纪,研究区域的降水量发生了由多至少的变化。各年代夏季降水总量基

本均占全年降水量的 50%左右,降水量的分布不均

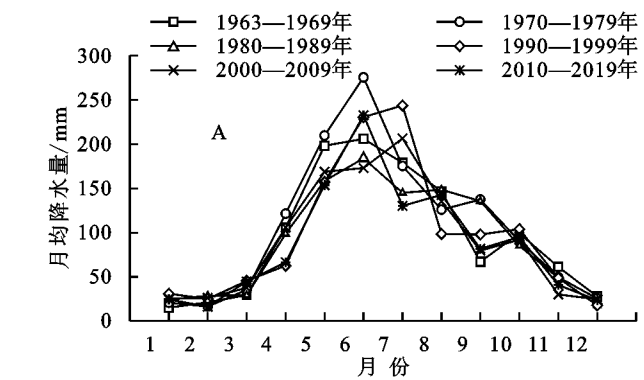


图 6 修文县不同年代各月降水量变化、月降水量距平变化

3.2.3 降水累积距平分析 由图 7 可知,降水量在 1963—2018 年有明显的升降变化。1963—1968 年呈波动下降趋势,1968—1980 年呈波动上升趋势,1980—1995 年呈波动下降趋势,1995—2000 年呈波动上升趋势,2000—2018 年呈波动下降趋势。1968 年和 1995 年为低值转折年、1980 年和 2000 年为高值转折年。降水累积距平曲线的绝对值最大值为 1 625.1(1980 年),这次转折是降水从偏高期转为偏低期,1980 年之后的偏低期至今仍在持续。

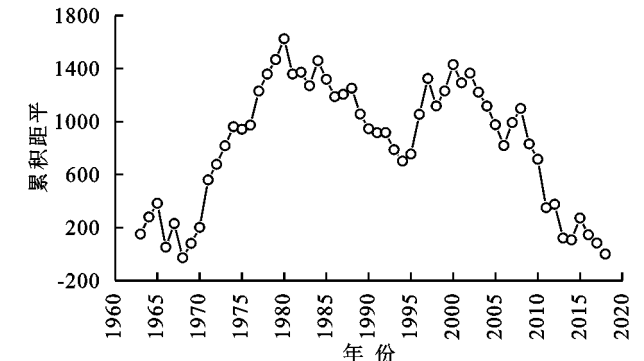


图 7 修文县 1963—2018 年降水量累积距平变化

3.2.4 降水 M-K 突变检验 由图 8 可知,1963—1969 年、1981—2018 年,UF 值总体上呈现波动下降趋势,且基本在 0 线值以下,即 $UF < 0$,这表明 1963—2018 年研究区域降水量基本呈下降趋势,与线性回归分析研究结果一致;1970—1980 年 $UF > 0$,表明 1970—1980 年研究区域降水量呈上升趋势。UF 与 UB 在置信区间主要有 3 个交点(1980—1984 年),在交点之后 UF 曲线下降并超过了临界值 $y = -1.96$,表明修文降水量变换在 1980—1984 年有显著的突变特征。由 3.2.3 分析知,年降水量在 1980 年为降水的高值转折年,综合 M-K 突变检验分析结果,修文县降水在 1980 年存在由多到少的突变。

4 结论

(1) 贵州修文年均气温总体呈上升趋势,增速为

匀易导致旱涝灾害趋向频繁,暴雨发生频率增加。

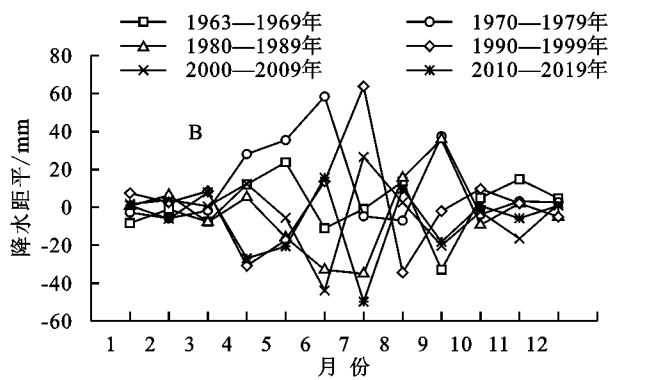


图 8 修文县 1963—2018 年降水量 M-K 突变判别

0.11℃/10 a,年均气温的变化范围为 12.8~14.6℃;通过相关性检验,线性回归是显著的,即年均气温的增长趋势是显著的。年均气温在 2000 年发生由低温到高温的突变。研究区域极端最高气温增速为 0.18℃/10 a,年极端最低温增速为 0.32℃/10 a,气候变暖在最低温上表现更为突出。

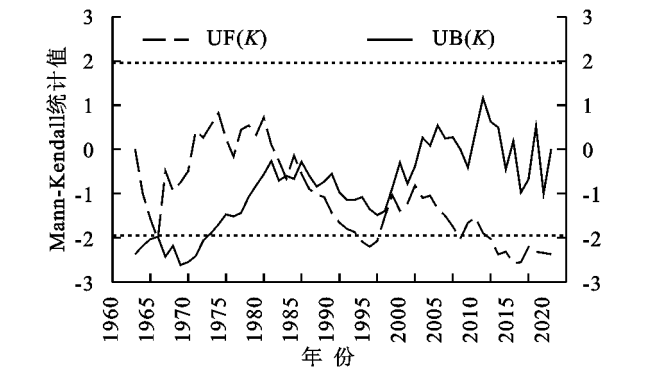


图 8 修文县 1963—2018 年降水量 M-K 突变判别

(2) 修文县降水量在波动中总体上呈下降趋势,下降幅度为 31.8 mm/10 a;通过相关性检验,线性回归是显著的,即年降水量的下降趋势是显著的。各年代月降水量基本均在夏季 6 月达到最大值,且夏季降水总量基本均占全年降水量的 50%左右。修文县降水在 1980 年存在由多到少的突变。

(3) 本研究结果表明,修文县气温升高,降水减少,这种现象可能会对小区域水循环产生影响,发生干旱的风险将会提高,在农业生产中要加强抵御和防御春秋两季的干旱;其次年降水量的年际波动变化大,因而需加强农业抗旱等设施的建设,降低农业生产的风险。

本文通过在小区域范围内对气温和降水量的变化特征分析,为小区域生态环境治理与改善以及其他学科的研究提供依据。然而,还应进一步研究气温的升高与降水的减少之间存在的联系及二者的变化对生态环境造成的影响。

(下转第 187 页)

研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

[2] 范雅君,吕志远,田德龙,等.河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):123-129.

[3] 田德龙,李熙婷,郭克贞,等.河套灌区地下滴灌对紫花苜蓿生长特性的影响[J].节水灌溉,2015(5):16-19.

[4] 张昊,郝春雷,孟繁盛,等.膜下滴灌条件下不同灌水量对玉米产量及土壤水分的影响[J].作物杂志,2018,32(1):105-109.

[5] 杨宏羽,李欣,王波,等.膜下滴灌油葵土壤水热高效利用及高产效应[J].农业工程学报,2016,32(8):82-88.

[6] 李长照,刘庆华,仲爽.玉米膜下滴灌土层增温效果的研究[J].东北农业大学学报,2009,40(10):49-51.

[7] 刘梅先,杨劲松,李晓明,等.膜下滴灌条件下滴水量和滴水频率对棉田土壤水分分布及水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2011,22(12):3203-3210.

[8] 夏桂敏,褚凤英,陈俊秀,等.基于膜下滴灌的不同灌水量对黑花生产量及水分利用效率的影响[J].沈阳农业大学学报,2015,46(1):119-123.

[9] Sezen S M, Yazar A, Eker S. Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper [J]. Agricultural Water Management, 2006, 81 (1/2): 115-131.

[10] 葛宇,何新林,王振华,等.滴灌灌水量对复播油葵耗水特性和产量的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(3):111-113.

[11] 王自奎.小麦/玉米间作复合群体光能和水传输利用试验与模拟研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.

[12] 郭彦芬,霍铁珍,韩翠莲,等.不同覆盖方式对玉米生长发育及土壤水分动态变化的影响[J].江苏农业科学,2017,45(6):72-74.

[13] 井涛.膜下滴灌马铃薯生长发育规律及其对水氮的响应[D].内蒙古呼和浩特市:内蒙古农业大学,2014.

[14] 赵靖丹,李瑞平,史海滨,等.滴灌条件下地膜覆盖对玉米田间土壤水热效应的影响[J].节水灌溉,2016(1):6-9,15.

[15] 康静,黄兴法.膜下滴灌的研究及发展[J].节水灌溉,2013(9):71-74.

[16] 李媛媛,杨恒山,张瑞富,等.灌溉定额对浅埋滴灌春玉米生长与产量的影响[J].水土保持通报,2017,35(2):315-318.

[17] 郑和祥,郭克贞,郝万龙.作物生长指标与土壤水分状况及地温关系研究[J].水土保持研究,2011,18(3):210-216.

[18] 郭维.黑龙江省西部玉米膜下滴灌试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.

[19] 田育丰.限量灌溉和施氮水平对春玉米生长及生理特性的影响[J].广西农业科学,2010,41(10):1055-1057.

[20] Saeed I A M, EI-Nadi A H. Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation[J]. Irrigation Science, 1998,18(2):67-71.



(上接第 181 页)

参考文献:

[1] 金丽娜,曲静.西安市 1971—2011 年浅层地温与气温、降水的季节关系特征分析[J].河南科学,2014,32(5):860-862.

[2] Change I P O C. Climate Change 2013: The physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2014.

[3] 左洪超,吕世华,胡隐樵.中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J].高原气象,2004,23(2):238-244.

[4] 侯凯,林涛,钱会,等.武功地区气候变化特征及趋势预测[J].水土保持研究,2017,24(4):252-258.

[5] 赵路伟,徐刚.河南省 1961—2014 年气温和降水量的时空变化特征[J].南水北调与水利科技,2016,14(3):17-23,54.

[6] 苗正伟,徐利岗,韩会玲.京津冀地区近 55 年气候演变特征分析[J].南水北调与水利科技,2018,16(3):125-134.

[7] 李勇,刘秀明,王世杰,等.1961—2017 年贵州降水时空变化特征[J].水土保持研究,2019,26(6):145-150.

[8] 罗梅,高文明,唐红祥,等.喀斯特地区近 10 年降水时间动态及统计模型:以修文县为例[J].贵州农业科学,2018,46(10):168-173.

[9] 黄嘉佑,李庆祥.气象数据统计分析方法[M].北京:气象出版社,2015.

[10] 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.

[11] 黄嘉佑.气候状态变化趋势与突变分析[J].气象,1996,21(5):6-57.

[12] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.

[13] 吴洪宝,吴蕾.气候变率诊断和预测方法[M].北京:气象出版社,2005.

[14] 任国玉,徐铭志,初子莹,等.近 54 中国地面气温变化[J].气候与环境研究,2005,10(4):717-727.

[15] 秦大河,Thomas Stocker. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J].气候变化研究进展,2014,10(1):1-6.

[16] 郝治福,康绍忠.地下水系统数值模拟的研究现状和发展趋势[J].水利水电科技进展,2006,26(1):77-81.