

丽江气候变化研究

赖云华

丽江市气象局, 云南 丽江

收稿日期: 2023年8月15日; 录用日期: 2023年9月14日; 发布日期: 2023年9月21日

摘要

丽江市地处滇西北横断山纵谷地带的东部, 不同区域的小气候各有特色, 气候一致性差, 随着全球变暖, 我市的极端天气也愈发频繁, 近几年针对我市气候资料全面系统的研究也较少。2020年结束后将形成一个新的年代, 本项目拟通过对1961~2020年(60年)丽江市4个国家气象观测站的气候资料序列进行整编, 统计新的常年对比值; 对主要的气候数据(降水、温度、日照等)利用统计学回归分析法与Mann-Kendall检验, 进行年代及年代际变化规律及突变情况分析, 对丽江市气候变化、气候预测有新的客观认识, 以期对我市的防灾减灾有一定的科学指导意义。

关键词

丽江, 气候, 变化

Research on Climate Change in Lijiang

Yunhua Lai

Lijiang Meteorological Bureau, Lijiang Yunnan

Received: Aug. 15th, 2023; accepted: Sep. 14th, 2023; published: Sep. 21st, 2023

Abstract

Lijiang City is located in the east of the Hengduan Mountains and longitudinal valleys in the northwest of Yunnan Province. The microclimates in different regions have their own characteristics, and the climate consistency is poor. With the global warming, extreme weather in Lijiang has become more frequent. In recent years, there has been less comprehensive and systematic research on the climate data in Lijiang. A new era will be formed after the end of 2020. The project plans to compile the climate data series of four national meteorological observation stations in Lijiang from 1961 to 2020 (60 years), and count the new perennial contrast values; For the main climate data (precipitation, temperature, sunshine, etc.), using statistical regression analysis and Mann Kendall test to analyze the patterns and abrupt changes of years and interdecades, this study provides a new objective understanding of climate change and climate prediction in Lijiang

City, with the aim of providing scientific guidance for disaster prevention and reduction in our city.

Keywords

Lijiang, Climate, Change

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial International License (CC BY-NC 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Open Access

1. 研究区域概况

本项目通过统计学方法,利用回归分析、Mann-Kendall 检验法对 1961~2020 年(60 年)丽江市 4 个国家气象观测站的气候资料序列进行年代及年代际变化规律及突变情况分析。丽江地处低纬高原,全年太阳高度角大,辐射较强。热量分布受纬度影响不大,年内温度变化不明显,四季不分明。

冬春季(11 月至次 4 月),南支西风急流把印度半岛北部大陆干暖空气带入境内,而北方寒潮因高山阻隔难以入侵,因此除高寒山区外,我市大部形成日温差较大、空气干燥的气候环境。夏秋季(5 月至 10 月),受孟加拉湾的潮湿西南季风影响,水汽充足,形成雨季。干湿季分明,属南亚季风气候。

2. 研究数据与方法

2.1. 数据介绍

选取 1961 年~2020 年(60 年)丽江市四个国家气象站点(丽江、永胜、华坪和宁蒍)的月平均气温、月降水量、月日照时数、年极端最低气温和年极端最高气温的实测月数据。

2.2. 线性倾向估计

一元线性回归方程可以用来研究气温和降水等方面的气候变化趋势。用 x_i 表示其中一个气候变量,用 t_i 所对应的时间,建立两者之间的一元线性回归方程:

$$x_i = at_i + b, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

公式(1)中, a 为回归系数, b 为回归常数。采用最小二乘法对 a 和 b 的值进行估计,即:

$$\begin{cases} a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \\ b = \bar{x} - a\bar{t} \end{cases} \quad (2)$$

公式(2)中, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{t} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)$ 。公式(1)中 a 表示 x_i 气候变量的趋势倾向。当 $a > 0$ 时,表明 x_i 随着 t_i 的增加而上升;当 $a < 0$ 时,表明 x_i 随 t_i 的增加而下降;田庆春等利用此方法对临汾市近 60 年来气候变化特征进行了分析[1]。

2.3. 曼 - 肯德尔(Mann-Kendall)突变检验法

曼 - 肯德尔(Mann-Kendall)突变法亦称为无分布检验,经常用于样本随机的规律分布,适合于顺序

变量和类型变量,郭文永等人均用 Mann-Kendall 法对降水等要素的下时间序列进行了分析[2] [3] [4] [5]。该方法可用于时间序列变化趋势分析和突变点检验,具体的计算方法如下:

对于具有多个样本量的长时间序列,模拟一个序列式:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

公式(3)中,当 $x_i > x_j$ 时, $r_i = 1$; 当 $x_i < x_j$ 时, $r_i = 0$ ($j=1,2,3,\dots,i$)。

$$UF_k = \left(\frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{Var(S_k)}} \right), \quad (k=1,2,3,\dots,n) \quad (4)$$

公式(4)中, $UF_{k1} = 0$ 、 $Var(S_k)$ 。

当 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立,且有相同连续分布时,由下式计算:

$$\overline{S_k} = \frac{n(n+1)}{4} \quad (5)$$

$$Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n-5)}{2} \quad (6)$$

UF_i 为标准正态分布,是按时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,查正态分布表。若 UF_i 的值大于 0 则表明序列呈上升趋势,小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时,表明上升或下降趋势显著,超过临界线则说明序列存在显著向上或向下的趋势。若 UF_i 和 UB_i 两条出现交点,且交点在临界线之间,那么交点的时刻便是突变开始的时间。

3. 结果

3.1. 年平均气温

3.1.1. 年平均气温变化趋势

图 1 为 1961~2020 年间丽江市区域年平均气温的变化趋势,年平均温度使用月平均气温来计算,即把一年中各月的平均气温累加在一起再除以 12。由图可知,20 世纪 60 年代以来丽江年平均气温以 $0.13^\circ\text{C}/10\text{a}$ 的增幅呈波动上升趋势,其中,丽江和永胜气温呈明显上升趋势,华坪和宁蒗气温上升趋势相对平缓。

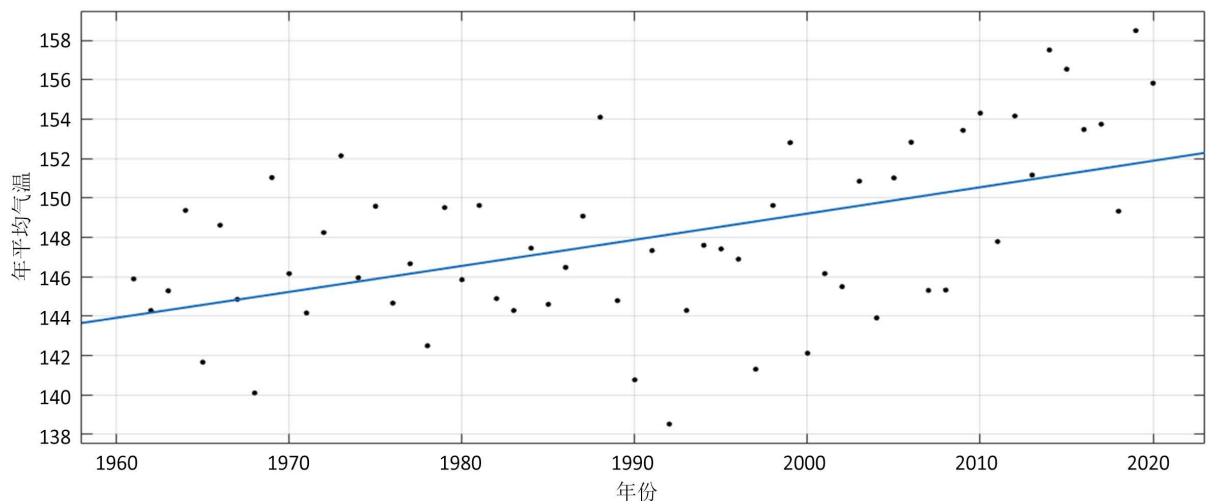


Figure 1. Change trends of regional average temperature in Lijiang city (Unit: 0.1°C)

图 1. 丽江市区域年平均气温变化趋势(单位: 0.1°C)

由表 1 可知, 丽江各区域在 20 世纪 60 年代至 90 年代均处于气候偏冷期, 进入 21 世纪后转为气候偏暖期且增温趋势逐渐增强, 丽江站点极差值为 1.3℃, 永胜站点极差值为 1.2℃, 华坪站点极差值为 0.7℃, 宁蒗站点极差值为 0.8℃。期间, 丽江站和永胜站的年平均气温最低值和最高值分别出现在 20 世纪 60 年代和 21 世纪 10 年代, 华坪站和宁蒗站的年平均气温最低值和最高值分别出现在 20 世纪 90 年代和 21 世纪 10 年代。由上可知, 华坪和宁蒗站的多年平均气温波动小于丽江和永胜站, 华坪站年平均气温远高于丽江其他三站。

Table 1. Interdecadal average temperature at each station in Lijiang city (Unit: 0.1℃)

表 1. 丽江市各站年代际平均气温表(单位: 0.1℃)

站点	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2020
丽江	125	126	126	128	132	138
永胜	133	135	135	138	140	145
华坪	199	198	197	196	196	203
宁蒗	126	128	126	124	127	132

3.1.2. 年平均气温的突变特征

图 2 为丽江区域平均年平均气温 Mann-Kendall 突变检验图, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。丽江在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 2009 年出现了一个交点, 该点位于置信区间内, 是气温突变点。在 1961~1971 年, 1991~1999 年, UF 围绕 0 上下波动, 年平均气温变化不明显, 在 1972~1990 年, 2000~2020 年, UF > 0, 年平均气温变化呈上升趋势。

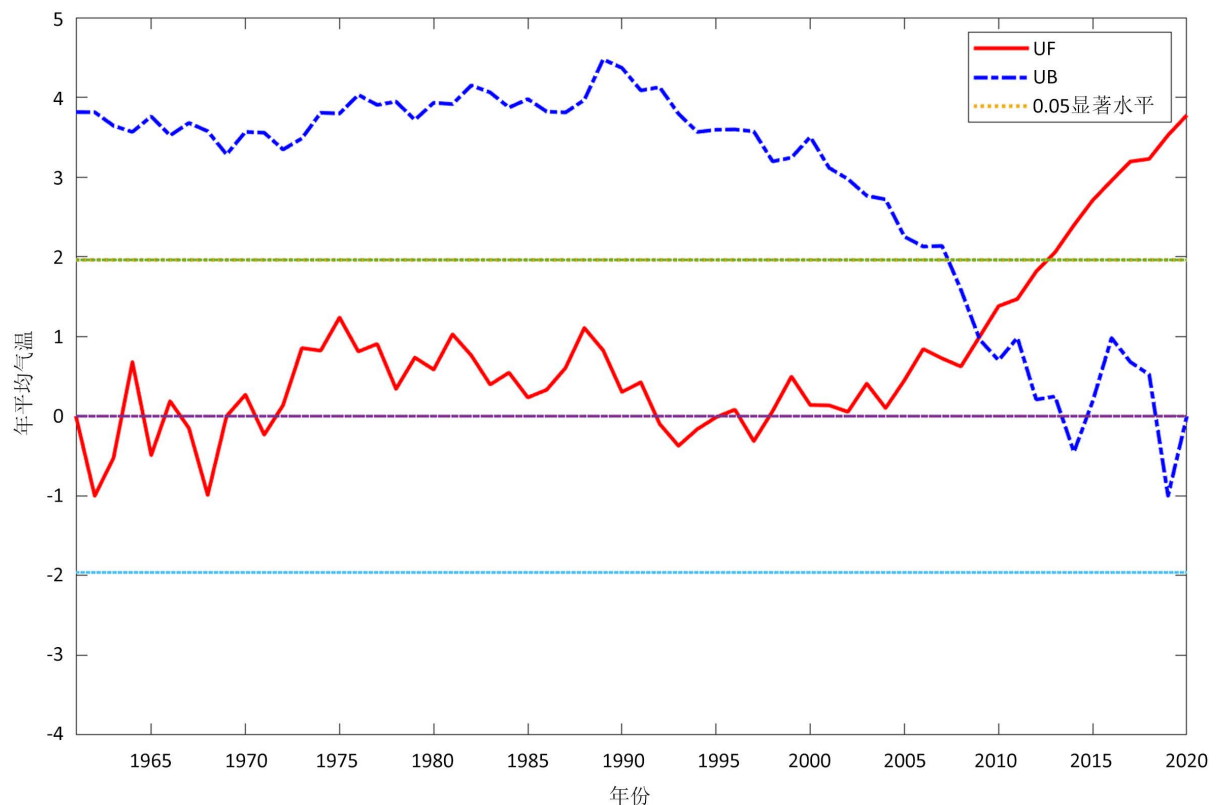


Figure 2. M-K mutation test chart of average annual average temperature in Lijiang region

图 2. 丽江区域平均年均温 M-K 突变检验图

丽江各站年平均气温 Mann-Kendall 突变检验, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$, 丽江站在 1961~1968 年, $UF < 0$, 年平均气温变化呈下降趋势, 在 1969~1977 年和 1980~2020 年, $UF > 0$, 年平均气温变化呈上升趋势, 并于 2002 年突破显著性检验上限。永胜站在 1961~1973 年, $UF < 0$, 年平均气温变化呈下降趋势, 在 1974~2020 年, $UF > 0$, 年平均气温变化呈上升趋势, 并于 1998 年突破显著性检验上限。丽江站与永胜站 UF 的趋势大致相似, 在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线分别在 2003 年和 2006 年出现了一个交点, 但都位于置信区间上方。华坪站在 1961~1963 年和 1965~2019 年, $UF < 0$, 年平均气温变化呈下降趋势, 并于 1992~2011 年突破显著性检验下限, 在 1963~1965 年和 2019~2020 年, $UF > 0$, 年平均气温变化呈上升趋势, 该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线分别在 1964 年和 2018 年出现了一个交点, 位于置信区间内, 是气温突变点。宁蒗站在 1961~1963 年和 1990~2014 年, $UF < 0$, 年平均气温变化呈下降趋势, 并于 2002~2006 年间突破显著性检验下限, 在 1963~1990 年和 2014~2020 年, $UF > 0$, 年平均气温变化呈上升趋势, 该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线分别在 1964~1975 年和 2012~2015 年间出现多个交点, 位于置信区间内, 是气温突变点。总而言之, 丽江市 4 县(区)年平均气温大致可分为两类, 一是呈增大趋势, 其中丽江站的增大趋势最显著、永胜县次之; 二是呈增-减-增趋势的华坪县和宁蒗县, 二者都在 21 世纪 20 年代出现升温的趋势。

3.2. 年最高气温

3.2.1. 年最高气温变化趋势

丽江各站在 21 世纪后最高气温呈上升趋势。华坪站最高气温远高于丽江其他三站。由表 2 可知, 丽江站和永胜站的年平均最高气温在 20 世纪 80 年代和 21 世纪 10 年代出现极大值, 极值差分别为 1.2°C 和 1.5°C ; 华坪站和宁蒗站的年平均最高气温在 20 世纪 60 年代, 20 世纪 80 年代和 21 世纪 10 年代出现极大值, 极值差分别为 1.9°C 和 1.5°C 。由上可知, 华坪和宁蒗站的多年平均变化大致一致, 丽江和永胜站的多年平均变化大致一致。

Table 2. Annual average maximum temperature in Lijiang city (Unit: 0.1°C)

表 2. 丽江市年平均最高气温表(单位: 0.1°C)

站点	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2020
丽江	284	286	293	287	288	296
永胜	295	288	294	289	286	301
华坪	386	374	384	384	372	393
宁蒗	299	293	301	300	304	314

3.2.2. 年最高气温的突变特征

图 3 为丽江区域年平均最高气温 Mann-Kendall 突变检验图, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由图可知, 丽江在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线在 2009 年出现了一个交点, 该点位于置信区间内, 是最高气温突变点。在 1961~1971 年, UF 围绕 0 上下波动, 年最高气温变化不明显, 在 1972~1985 年, 2000~2011 年, $UF < 0$, 年最高气温变化呈下降趋势, 在 1986~2000 年, 2011~2020 年, $UF > 0$, 年最高气温变化呈上升趋势。

丽江各站年平均最高气温 Mann-Kendall 突变检验, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由计算可知, 丽江站在 1961~1981 年, UF 围绕 0 上下波动, 年平均最高气温变化不明显, 在 1982~1999 年和 2010~2020 年, $UF > 0$, 年平均最高气温变化呈上升趋势, 在 2020~2010 年, $UF < 0$, 年平均最高气温变化呈下降趋势。永胜站在 1961~1973 年, UF 围绕 0 上下波动, 年平均最高气温变化不明显, 在

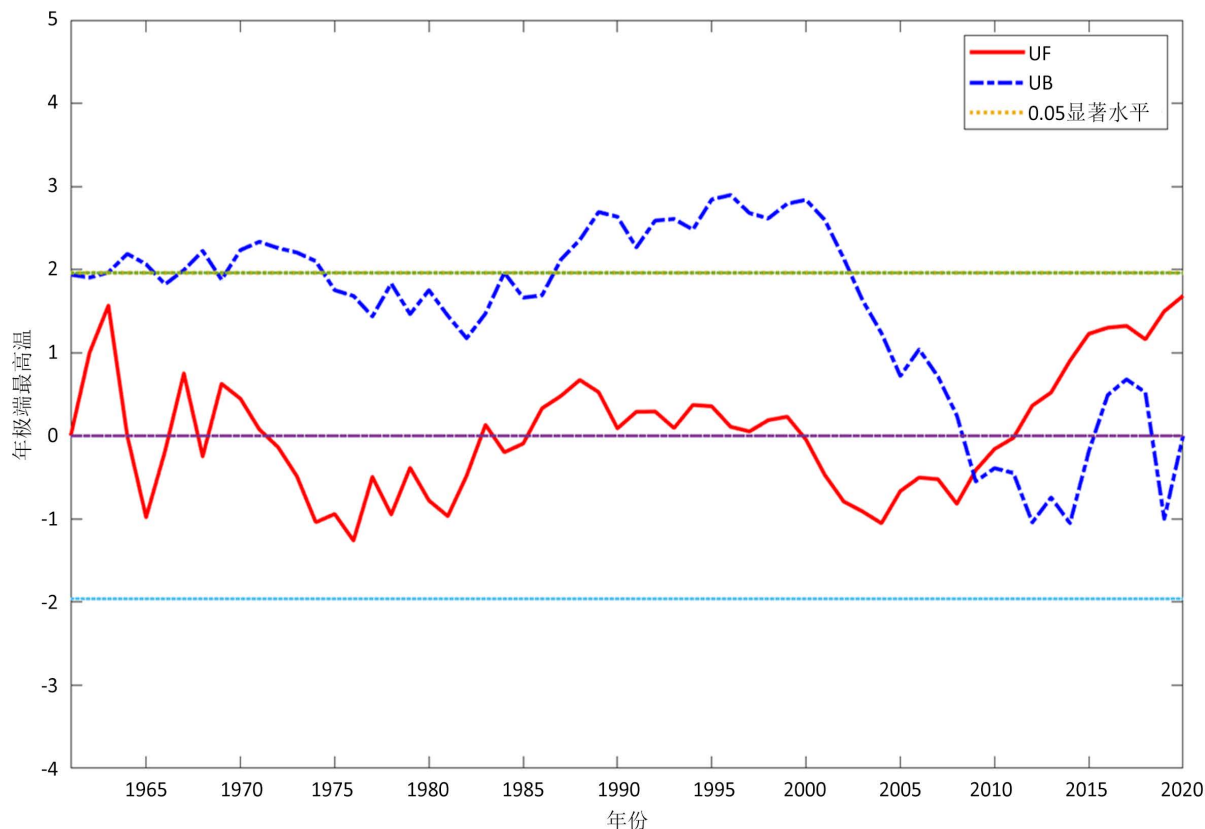


Figure 3. M-K mutation test chart of regional average annual maximum temperature in Lijiang City

图 3. 丽江市区域平均年最高气温 M-K 突变检验图

1973~2012 年, $UF < 0$, 年平均最高气温变化呈下降趋势, 在 2013~2020 年, $UF > 0$, 年平均最高气温变化呈上升趋势。丽江站与永胜站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 2010~2019 年出现了多个交点, 位于置信区间内, 是最高气温突变点。华坪站在 1961~1969 年, $UF > 0$, 年平均最高气温变化呈上升趋势, 在 1969~2020 年, $UF < 0$, 年平均最高气温变化呈下降趋势, 并于 1974~1982 年和 2003~2010 年突破显著性检验下限, 该站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线分别在 1961~1965 年和 2015~2020 年出现了多个交点, 位于置信区间内, 是最高气温突变点。宁蒍站在 1961~1984 年, $UF < 0$, 年平均最高气温变化呈下降趋势, 在 1985~2020 年, $UF > 0$, 年平均最高气温变化呈上升趋势, 并于 2011 年突破显著性检验上限, 该站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 2004 年间出现多个交点, 位于置信区间内, 是最高气温突变点。

3.3. 年最低气温

3.3.1. 年最低气温变化趋势

由 1961~2020 年间丽江四站的年最低气温的变化趋势可知, 华坪站最低气温远高于丽江其他三站, 其中在 1983 年, 丽江各站出现了年最低气温极低值, 在 2006 年出现最低气温极高值。

表 3 为丽江市各站 1961~2020 年间多年平均最低气温表, 可以看到, 华坪最低气温均高于其他三站, 宁蒍最低气温均低于其他三站。丽江和永胜站在 1971~2010 年间最低气温呈升高趋势, 极值差分别为 1.2°C 和 2.9°C ; 华坪在 1961~1990 年间最低气温呈下降趋势, 1991 年后呈上升趋势, 极值差为 1.1°C ; 宁蒍站最低气温波动较大, 极值差为 1.1°C 。

3.3.2. 年最低气温突变特征

图4为丽江各站年平均最低气温 Mann-Kendall 突变检验图,给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由图可知, 丽江在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 1985 年出现了一个交点, 该点位于置信区间内, 是最低气温突变点。在 1961~2020 年, $UF > 0$, 年最低气温变化呈上升趋势, 并于 1965~1968 年, 1981 年, 1987 年至今三次突破显著性检验上限。

Table 3. Annual average minimum temperature at each station in Lijiang city (Unit: 0.1°C)

表 3. 丽江市各站年平均最低气温表(单位: 0.1°C)

站点	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2020
丽江	-57	-58	-48	-46	-46	-52
永胜	-72	-58	-55	-50	-43	-44
华坪	13	12	8	14	17	19
宁蒗	-88	-83	-85	-86	-81	-77

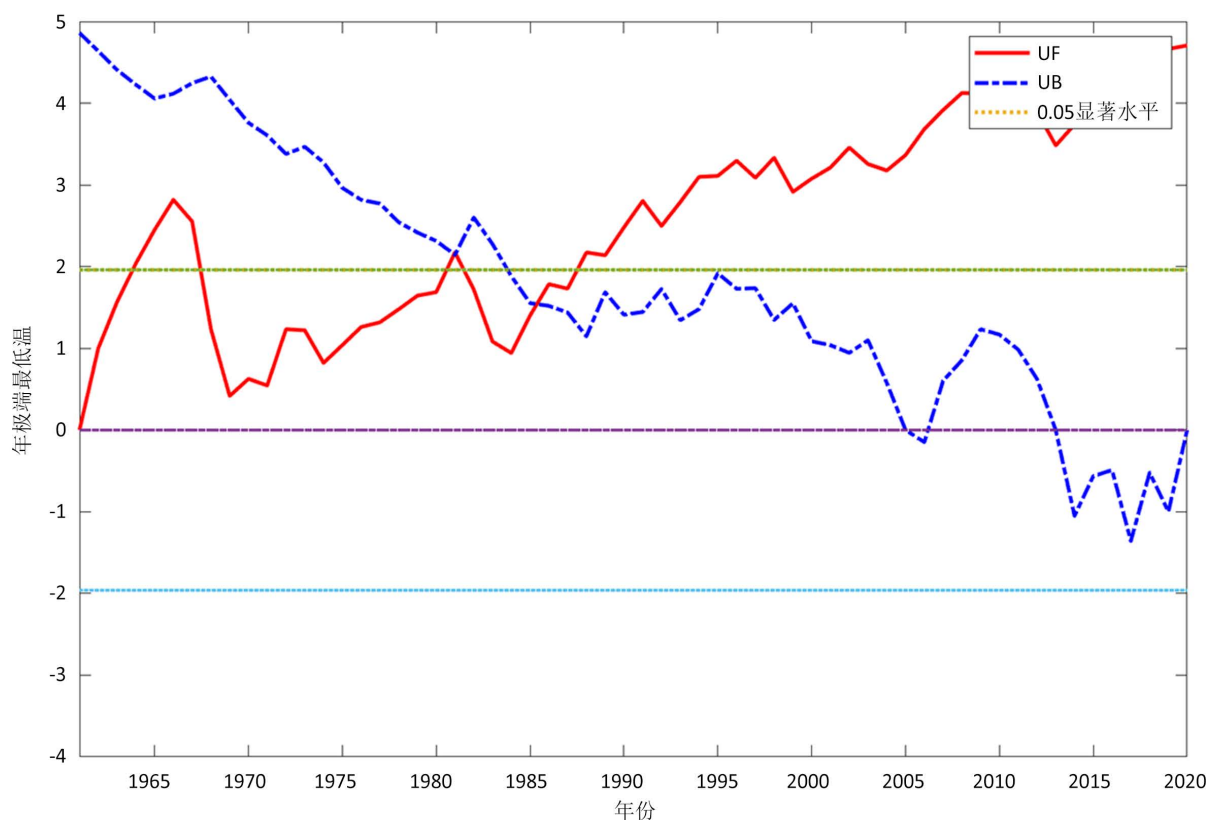


Figure 4. M-K mutation test chart of regional average annual minimum air temperature in Lijiang City

图 4. 丽江市区域平均年最低气温 M-K 突变检验图

丽江各站年平均最低气温 Mann-Kendall 突变检验, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由计算可知, 丽江站在 1975~1985 年, UF 围绕 0 上下波动, 年平均最低气温变化不明显, 在 1961~1974 年和 1986~2020 年, $UF > 0$, 年平均最低气温变化呈上升趋势, 并于 1967~1972 年和 1990~2020 年突破显著性检验上限, 丽江站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线出现了多个交点, 分别为 1967 年、1974 年、1979 年和 1984 年, 且都位于置信区间内, 是最低气温突变点。永胜站在 1969~1972 年, $UF < 0$, 年平均

最低气温变化呈下降趋势，在 1961~1968 年和 1972~2020 年， $UF > 0$ ，年平均最低气温变化呈上升趋势，并于 1977~2020 年突破显著性检验上限。华坪站在 1961~1970 年和 2005~2020 年， $UF > 0$ ，年平均最低气温变化呈上升趋势，在 1971~2004 年， $UF < 0$ ，年平均最低气温变化呈下降趋势，该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线分别在 2015 年出现交点，位于置信区间内，是最低气温突变点。宁蒍站在 1961~1963 年和 1999~2005 年间， $UF < 0$ ，年平均最低气温变化呈下降趋势，在 1963~1998 年和 2005~2020 年， $UF > 0$ ，年平均最低气温变化呈上升趋势，该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线在 1973 年和 2012 年出现交点，位于置信区间内，是最低气温突变点。

3.4. 年降水量

3.4.1. 年降水量变化趋势

图 5 为 1961~2020 年间丽江市区域平均的年降雨量的变化趋势，年降水量为一年中每月降水量的平均值的总和。由图可知，丽江在 1961~2020 年间的年降雨量以 5.78 mm/10a 的降幅呈下降趋势。

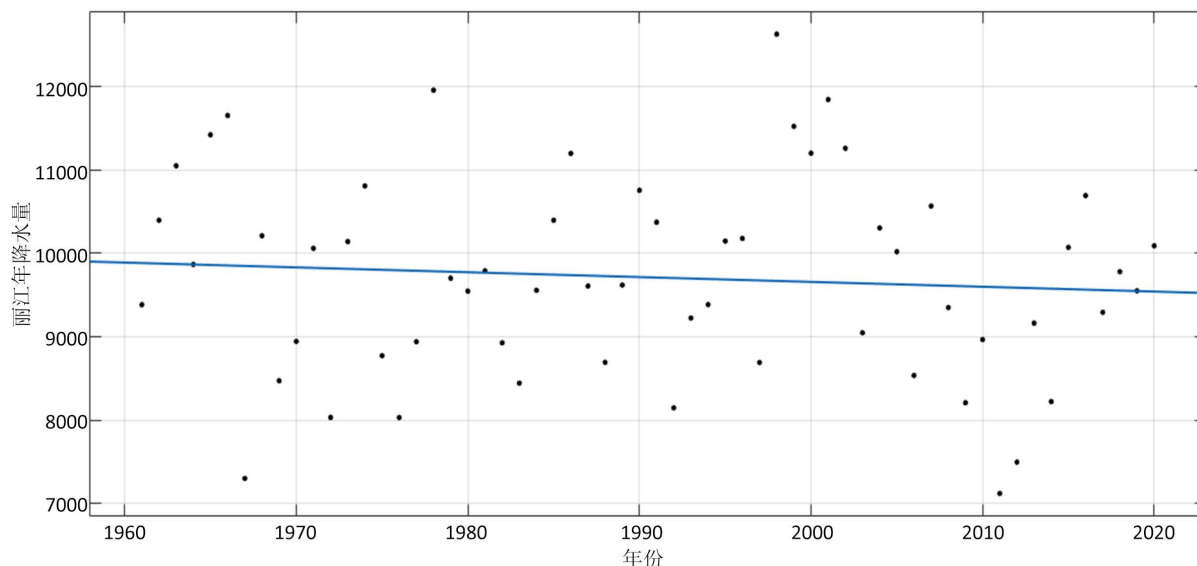


Figure 5. Overall annual rainfall change trends in Lijiang (Unit: 0.1 mm)

图 5. 丽江市整体年降雨量变化趋势(单位: 0.1 mm)

由表 4 可知，丽江和永胜站在 1961~1990 年，1991 年~2020 年年降水量呈下降趋势，最大值和最小值均出现于 20 世纪 90 年代和 21 世纪 10 年代；华坪站在 1961~1980 年和 1981 年 2010 年呈下降趋势；宁蒍站在 1961~2000 年呈上升趋势，1991 年~2020 年呈下降趋势。

Table 4. Annual precipitation in Lijiang city (Unit: 0.1 mm)

表 4. 丽江市年降水量表(单位: 0.1 mm)

站点	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010	2011~2020
丽江	9816.4	9418.1	9385.5	10236.2	9786.7	9022.3
永胜	9785.7	9303.5	8956	9984.3	9584.9	8302.9
华坪	10736.4	10422.8	11,180	10939.2	10519.3	11006.4
宁蒍	9200	9257.6	9279.9	9446.1	9355.7	8264.5

3.4.2. 年降水量突变特征

图6为丽江各站平均年降水量 Mann-Kendall 突变检验图, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由图可知, 丽江在 1961~2020 年间出现了 6 个交点, 分别位于 1966 年、1973 年、1975 年、1977 年、2006 年、2007 年, 交点都在置信区间内, 均为突变点。其中, 在 1969~1986 年及 2011 年至今, $UF < 0$, 年降水量呈减少趋势, 1961~1969 年及 1997~2011 年, $UF > 0$, 年降水量呈增加趋势。

丽江各站年降水 Mann-Kendall 突变检验, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。计算可知, 丽江站在 1961~1966 年和 1999~2010 年, $UF > 0$, 年降水变化呈上升趋势, 在 1967~1999 年和 2010~2020 年, $UF < 0$, 年降水变化呈下降趋势, 丽江站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线出现了多个交点, 分别为 1967 年、1985 年和 2007 年, 且都位于置信区间内, 是降水突变点。永胜站在 1961~1967 年和 1999~2010 年, $UF > 0$, 年降水变化呈上升趋势, 在 1968~1998 年和 2011~2020 年, $UF < 0$, 年降水变化呈下降趋势, 永胜站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线出现了多个交点, 分别为 1969 年、1989 年、2004 年和 2006 年, 且都位于置信区间内, 是降水突变点。华坪站在 1966~1967 年、1985~1987 年和 2000~2006 年, $UF > 0$, 年降水变化呈上升趋势, 在其余时间, $UF < 0$, 年降水变化呈下降趋势, 该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线分别在 1985 年、1997 年、2014 年和 2016 年出现交点, 位于置信区间内, 是降水突变点。宁蒗站在 1961~1970 年和 1998~2011 年, $UF > 0$, 年降水变化呈上升趋势, 在 2011~2020 年间, $UF < 0$, 年降水变化呈下降趋势, 在 1971~2010 年间, UF 围绕 0 波动, 年降水变化不明显, 该站在 1961~2020 年间的 UF 、 UB 曲线在 2005 年和 2006 年出现交点, 位于置信区间内, 是降水突变点。

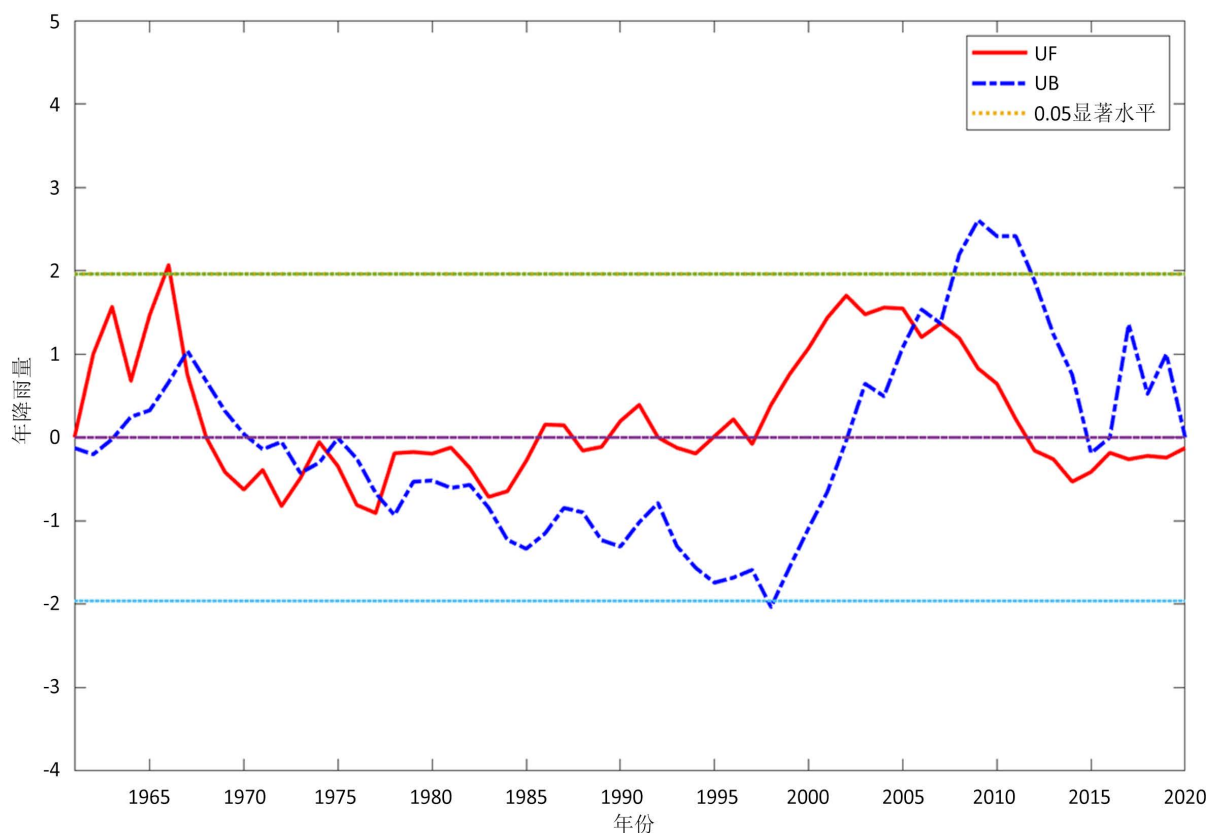


Figure 6. M-K mutation test chart of regional average annual precipitation in Lijiang City

图 6. 丽江市区域平均年降水量 M-K 突变检验图

3.5. 年日照时数

3.5.1. 年日照时数变化趋势

图 7 为 1961~2020 年间丽江市四站区域平均的年日照时数变化趋势，年日照时数为在一年时期内，太阳实际照射时数的总和。由图可知，丽江在 1961~2020 年间的年日照时数以 15.67 h/10a 的降幅呈下降趋势。

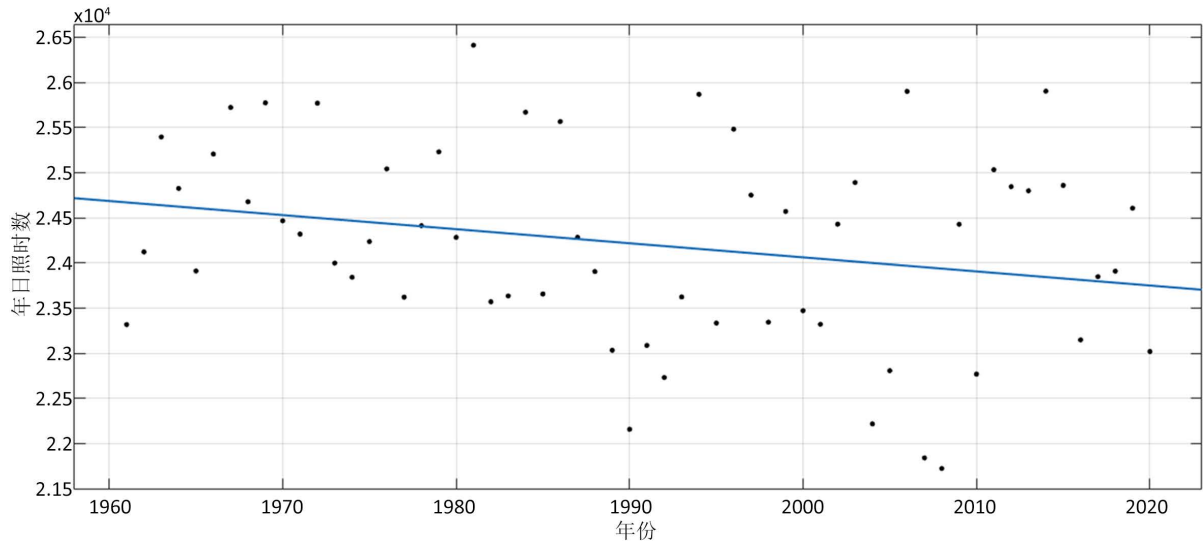


Figure 7. Overall annual sunshine hours change trends in Lijiang (Unit: 0.1 h)

图 7. 丽江市整体年日照时数变化趋势(单位: 0.1 h)

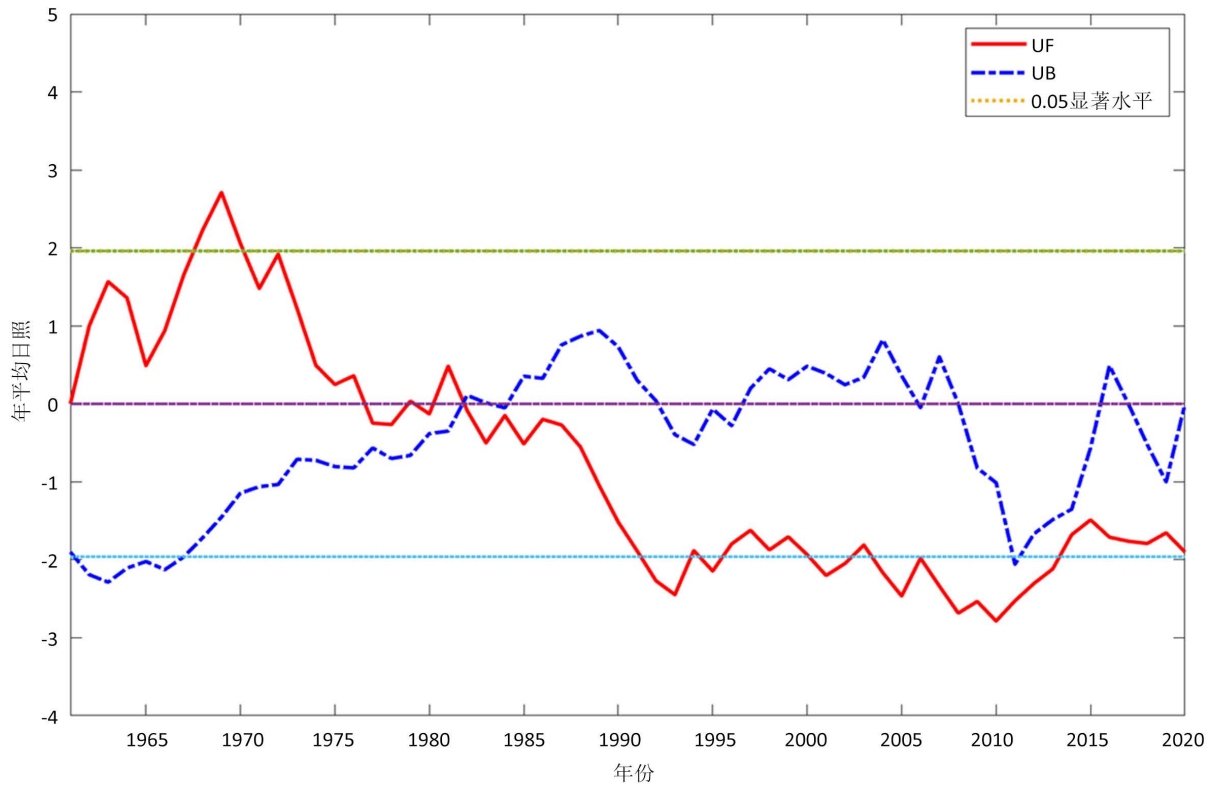


Figure 8. M-K mutation test chart of regional average annual sunshine hours in Lijiang City

图 8. 丽江市区域平均年日照时数 M-K 突变检验图

3.5.2. 年日照时数的突变特征

图8为丽江各站年日照时数温 Mann-Kendall 突变检验图, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。由图可知, 丽江在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 1982 年出现了一个交点, 该点位于置信区间内, 是年日照时数突变点。在 1961~1976 年, $UF > 0$, 年日照时数, 在 1981 年至今, $UF < 0$, 年日照时数变化呈下降趋势, 在 1991~2014 年间数次突破显著性检验下限。

丽江各站年日照 Mann-Kendall 突变检验, 给定显著性水平 $\alpha = 0.5$, 临界值 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。计算可知, 丽江站和永胜站 UF 都呈现平稳 - 下降 - 平稳趋势。丽江站在 1961~1975 年, $UF > 0$, 年日照变化呈上升趋势, 在 1976~2020 年, $UF < 0$, 年日照变化呈下降趋势, 并于 1990 年突破置信区间下限, 丽江站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线出现交点, 为 1981 年, 位于置信区间内, 是日照突变点。永胜站在 1961~1965 年, $UF > 0$, 年日照变化呈上升趋势, 在 1966~2020 年, $UF < 0$, 年日照变化呈下降趋势, 且与 1988 年突破置信区间下限, 永胜站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线出现交点, 为 1981 年, 位于置信区间内, 是日照突变点。华坪站在 1961~1989 年, $UF > 0$, 年日照变化呈上升趋势, 在其余时间, $UF < 0$, 年日照变化呈下降趋势, 该站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线分别在 1982 年和 2019 年出现交点, 位于置信区间内, 是日照突变点。宁蒗站在 1975~1981 年间, $UF < 0$, 年日照变化呈下降趋势, 在其余时间, $UF > 0$, 年日照变化呈上升趋势, 该站在 1961~2020 年间的 UF、UB 曲线在 1965~1966 年和 1983~1990 年间出现交点, 位于置信区间内, 是日照突变点。

4. 结论与讨论

本文通过对丽江市 60 年的气候资料进行分析, 得出前 30 年丽江整体气温波动不明显。到 21 世纪后丽江市整体气温呈现上升的趋势; 其中, 丽江站和永胜站在 21 世纪后出现显著上升趋势; 宁蒗站在 21 世纪 10 年代后出现上升趋势, 华坪站在近几年也出现上升趋势。此外, 各站点最低气温均处于上升趋势。最高气温除华坪站外, 其他站也处于上升趋势中。预计未来丽江市整体气候将进一步呈现暖干化, 极端高温愈发显现。

从年降水来看, 丽江市整体降水由波动不明显到 21 世纪出现年降水增加趋势。近几年, 丽江市各站年降水量都呈现下降趋势; 丽江站、永胜站、华坪站和宁蒗站在 21 世纪 10 年代后都呈现下降趋势。未来丽江需进一步做好气象干旱防御和应对措施, 积极开展规模化的人工增雨雪作业。

从日照时数整体趋势来看, 丽江市年日照时数呈现下降趋势, 21 世纪 10 年代后, 除宁蒗站外, 其他各站均出现显著下降趋势。从年日照突变来看, 丽江站、永胜站、华坪站和宁蒗站在 21 世纪后都呈现下降趋势, 这可能与观测设备更换有一定关系, 另外随着丽江城市的发展, 对能源的需求不断增大, 煤炭、石油、天然气的消费迅速增加, 加上汽车废气排放量大增等, 导致排入大气对流层的气溶胶大大增加。由于大气气溶胶的增加削弱了太阳直接辐射, 而早、晚照射到的筒内的阳光更弱, 感光纸不能感光, 从而导致日照时数记录的减少。具体原因待进一步研究讨论。

基金项目

云南省气象局基层台站气象科技创新与能力提升计划项目 STIAP202249 资金支持。

参考文献

- [1] 田庆春, 周汶. 临汾市近 60 年来气候变化特征分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2015, 29(3): 98-104.
- [2] 侯婷, 龚浩哲. 基于去趋势预置白 Mann-Kendall 检验的舟山市降水变化趋势分析[J]. 浙江水利科技, 2020, 48(4): 15-19.

- [3] 金成浩, 韩京龙. 基于 Mann-Kendall 检验的嘎呀河流域降水变化趋势及突变分析[J]. 吉林水利, 2013(12): 62-66.
- [4] 张东艳, 吴运卿, 李妮. 基于 Mann-Kendall 检验的尼洋河流域水文变量演变趋势分析[J]. 中国农村水利水电, 2017(12): 86-89.
- [5] 郭文永. 基于 Mann-Kendall 检验的生态足迹时间序列趋势性分析[J]. 云南地理环境研究, 2008(5): 33-37+52.