

文章编号:1673-8411 (2016) 03-0074-05

## 丽江近 62a 气温变化特征分析

潘娜<sup>1, 2</sup>, 肖国杰<sup>1, \*</sup>, 邬亮<sup>3</sup>, 王勇<sup>4</sup>

(1.成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2.宁夏回族自治区泾源县气象局, 宁夏 固原 756000; 3.四川省气象服务中心, 四川 成都 610072; 4.中卫市气象局, 宁夏 中卫 755000)

**摘 要:**利用 1951~2012 年丽江站逐月平均气温,对丽江近 62a 气温变化特征进行了研究。得出以下主要结论:近 62a 丽江的气温呈明显上升趋势,年平均气温上升幅度为  $0.16^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,其中冬季上升速度最大,其次是春季、夏季,秋季上升速度最小。在 1994 年前后存在年平均气温突变,各季节突变时间点不同,春、夏、秋、冬各季节突变年分别在 2003 年、1981 年、1992 年、1995 年。丽江冬季异常冷暖年较少,一共只出现 4 次,秋季的异常冷暖年最多出现 15 次,异常增暖现象主要出现在 20 世纪 90 年代以后。

**关键字:**丽江;气温;全球变暖;M-K 检验

中图分类号:P46

文献标识码:A

## Characteristic Analysis of Temperature Change of recent 62 Years in Lijiang

Pan Na<sup>1,2</sup>, Xiao Guo-jie<sup>1,\*</sup>, Wu Liang<sup>3</sup>, Wang Yong<sup>3</sup>

(1.CAS, Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 2. Ningxia Hui Autonomous Region Meteorological Service of Jingyuan, Guyuan 756000, China; 3. Sichuan Province Meteorological Service Centre, Chengdu 610072, China; 4. Zhongwei Municipal Meteorological Service, Zhongwei, 755000, China;)

**Abstract:** Based on the meteorological data during 1951~2012, the change trends and characteristics of temperature in Lijiang for last 62 years had been analyzed and studied. The results showed that the temperature had increased remarkably in Lijiang area during recent 62 years. The rising annual average temperature was  $0.16^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ . The most obvious warming occurred in winter, followed by spring and summer, the warming trend in autumn was weak. The average annual temperature mutated around the year of 1994. Each season mutation time occurred in different years, and spring, summer, autumn, winter mutation time respectively occurred in 2003, 1981, 1992, and 1995. Abnormal changes in temperature in winter were less with only four times in total. Abnormal changes in temperature in autumn were 15 times. The abnormal heating phenomenon mainly appears after the 1990s.

**Key words:** Lijiang; temperature; global warming; Mann-Kendall test

### 1 引言

近年来,随着全球变暖,海平面上升等气候问题

的日益突显,人们开始越来越关注气候变化问题。依据 2007 年政府间气候变化专业委员会(IPCC)发布的《第四次评估报告》,可知气温线性趋势在 1906~

收稿日期:2015-11-06

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41305076)资助。

作者简介:潘娜(1991-),女,学士,助理,主要从事应用气象服务研究。

2005 年为  $0.74^{\circ}\text{C}$  ( $0.56$  至  $0.92^{\circ}\text{C}$ ), 相比《第三次评估报告》中给出的  $0.6^{\circ}\text{C}$  ( $0.4^{\circ}\text{C}$  至  $0.8^{\circ}\text{C}$ ) 的变化趋势要快<sup>[1]</sup>。气温作为衡量气候变化的重要因素, 是人们了解气候变化的首选研究对象。许多学者都对区域气温变化特征做了一系列研究: 陆华静等<sup>[2]</sup>发现河池市金城江区气温存在上升现象, 秋季年平均气温增幅最为明显。庄毅斌等<sup>[3]</sup>研究了 1981~2010 年靖南地区气候变化特征, 可知该地温度呈上升趋势, 1977 年存在温度突变。王缉宏<sup>[4]</sup>研究得出桂平市各季节气温呈明显上升趋势, 80 年代中期以后呈加速增温, 气候异常偏暖的年份都出现在 90 年代以后的偏暖期。珠海<sup>[5]</sup>、湛江<sup>[6]</sup>、惠东<sup>[7]</sup>、揭阳<sup>[8]</sup>等地的气温也均呈增温趋势, 只是各地增温幅度不同。

丽江地处中国的西南横断山区, 在云南边境附近的贵州高原和青藏高原接连的地方, 是世界自然遗产地, 还是中国文明风景旅游区。因此, 对其气温变化特征进行研究对当地的气候预测有一定参考作用, 也为政府对丽江城市建设合理规划和可持续发展战略部署提供科学的依据。

## 2 资料与方法

资料来自丽江站 (东经  $100^{\circ}13'$ , 北纬  $26^{\circ}52'$ , 海拔高度 2392.4m), 本文选用 1951~2012 年, 共计 62a 的丽江站逐月平均气温为研究资料。利用线性趋势法<sup>[9~11]</sup>分析年平均气温、各季节平均气温的年代际变化趋势; 应用 M-K 法<sup>[9, 12]</sup>和累积距平法<sup>[9]</sup>对气温要素序列进行气候突变检测。

## 3 结果与分析

由表 1 可以看出, 丽江近 62a 的年平均气温为  $12.8^{\circ}\text{C}$ , 春、夏、秋三个季节平均气温均超过年平均气温, 冬季平均气温为年平均气温的一半左右, 可见丽江各季节气温温差不大, 夏天无酷暑, 较为凉爽, 冬天也无严寒。从年、季最高最低气温看, 各季节最高最低气温差约在  $3\sim 5^{\circ}\text{C}$  左右, 全年气温变化幅度比较小, 各季节变化不明显。近 62a 丽江的年标准差为  $0.49^{\circ}\text{C}$  和各季节标准差均小于  $0.9^{\circ}\text{C}$ , 其中年标准差和夏季标准差小于  $0.5^{\circ}\text{C}$ , 冬季标准差最大为  $0.83^{\circ}\text{C}$ , 这表明近 62a 丽江气温变化比较稳定。

表 1 丽江近 62a 气温要素

要素	年	春	夏	秋	冬
平均气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	12.8	13.5	17.9	12.8	6.8
平均气温标准差 ( $^{\circ}\text{C}$ )	0.49	0.78	0.49	0.58	0.83
最低气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	11.8	11.4	15.2	11.8	4.6
最高气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	14.2	16.8	19.1	14.1	9.3

### 3.1 气温年际变化特征

从图 1 可见, 近 62a 丽江市年平均气温总体呈上升趋势, 气温倾向率为  $0.16^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。年平均最低气温出现在 1951 年为  $11.8^{\circ}\text{C}$ , 比历年平均气温低  $1.0^{\circ}\text{C}$ , 在 1992 年也出现一个低值为  $11.9^{\circ}\text{C}$ ; 在 1951~1990 年的 5 年移动平均曲线与年平均趋势曲线基本趋于重合, 仅存在较小的波动, 在 1990~2000 年出现较大的低值区, 此阶段气温明显低于年平均趋势曲线, 可能存在气温突变, 2004 年以后 5 年滑动平均曲线在趋势曲线上方。在近 62a 中, 有 29a 高于历年平均气温, 其中 1951~1980 年期间高于历年平均气温有 9a, 占 31%, 1981~2012 年期间有 20a, 占 69%。

从表 2 的气温倾向率上来看, 均为正值, 表明各季节气温随时间均呈上升趋势, 其中冬季气温升高

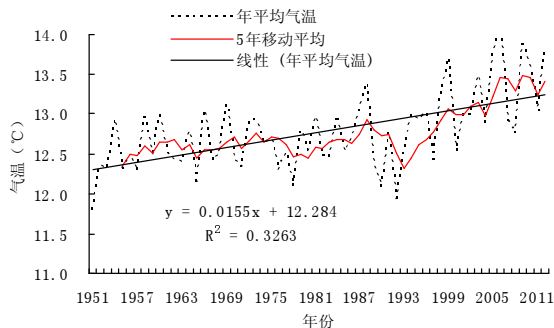


图 1 丽江年平均气温变化趋势

的趋势最明显, 气温倾向率为  $0.21^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 其次是全年为  $0.16^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , 夏季与全年倾向率相差不大, 秋季的气温倾向率最低。与全国年平均地表气温倾向率  $0.22^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  相比<sup>[13]</sup>, 丽江的上升速度较小。

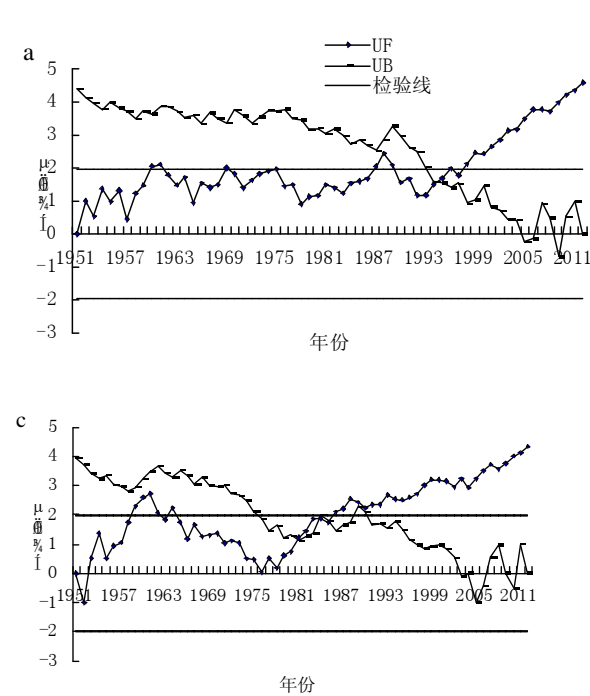
表 2 气温线性倾向率

时段	倾向率( $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ )	相关系数 (r)
年	0.16	0.571***
春季	0.15	0.343**
夏季	0.15	0.547***
秋季	0.11	0.326**
冬季	0.21	0.447***

注：\*\*表示通过0.01显著性检验，\*\*\*表示通过0.001显著性检验

从相关系数上看，全年与各季节的平均气温均通过了 0.01 的显著性检验,特别是全年、夏季、冬季的平均气温还通过了 0.001 的显著性检验。年平均气温的相关性最强为  $r=0.571$ ,秋季的相关系数最小为 0.326,夏季相关系数也较大达到 0.547,其次是冬季,再次是春季。

3.2 突变性检验



由图 2a 可以看出，年平均气温的 M~K 曲线在临界值区间内存在一个交点,交点为 1994 年,UF 曲线穿过+1.96 检验线,呈上升趋势。说明年平均气温在 1994 年前后存在增温性突变，在 1998 年 UB 超过 0.05 显著水平线,气温开始明显增加,可见丽江近 62a 年平均气温突变点在 1994 年左右，以 1994 年为分界点,可将气温分为两个阶段研究。从表 3 中可以看出,1994 年以后气温变化通过了 0.05 的相关

图 2 中如果 UF 曲线和 UB 曲线在临界值 $\pm 1.96$  ( $\alpha=0.05$ )之间有一个显著的交点,且 UF 曲线上升超过了+1.96 检验线或下降低于-1.96 检验线,则可以认为序列产生了突变，前者表示由低温向高温突变,后者表示由高温向低温突变,并且这个交点就是突变的开始 [9]。表 3 是根据突变年份将丽江近 62a 气温分为两个阶段进行的分析。

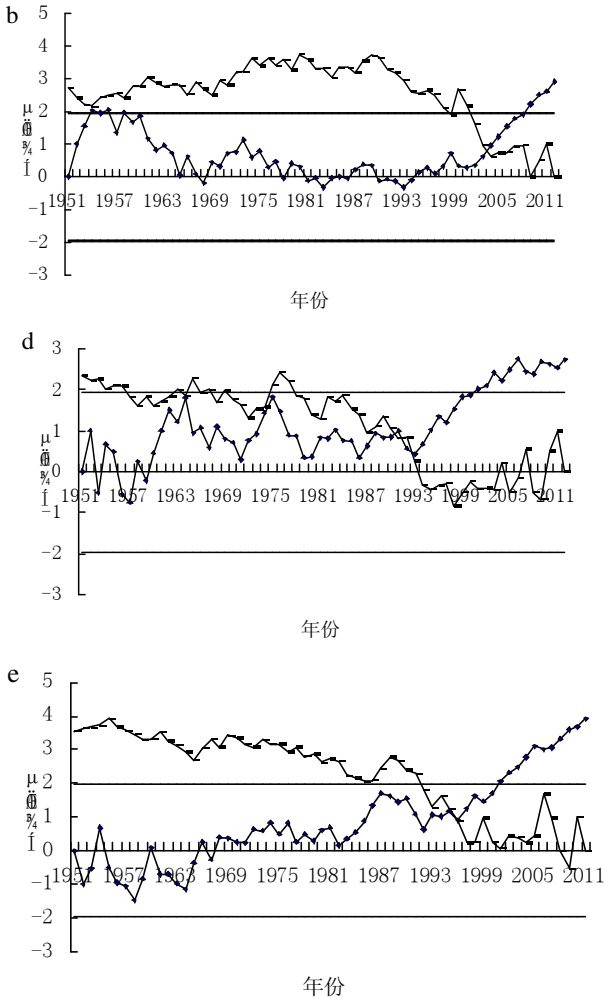


图 2 丽江近 62a 年平均气温(a)及春(b)、夏(c)、秋(d)、冬(d)平均气温 M-K 检验曲线

表 3 突变前后气温变化表

时段	突变前后	平均气温(℃)	气温倾向率 (℃·(10a) <sup>-1</sup> )	相关系数 (r)
年	1951~1994	12.6	0.05	0.17
	1995~2012	13.2	0.39	0.42*
春季	1951~2002	13.4	0.01	0.02
	2003~2012	14.4	0.54	0.33
夏季	1951~1981	17.6	0.09	0.20
	1982~2012	18.2	0.11	0.23
秋季	1951~1992	12.7	0.02	0.05
	1993~2012	13.2	0.02	0.02
冬季	1951~1995	6.6	0.04	0.08
	1996~2012	7.5	0.47	0.27

注: \*表示通过 0.05 显著性检验

系数的检验,气温变化趋势明显增快,气温倾向率由 1951~1994 年的  $0.05^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$  变为 1995~2012 年的  $0.39^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,增加了约 8 倍。1951~1994 年平均气温为  $12.6^{\circ}\text{C}$ ,1995~2012 年平均气温为  $13.2^{\circ}\text{C}$ ,上升了  $0.6^{\circ}\text{C}$ 。

由图 2b 可知,春季平均气温的 M-K 曲线在临界值区间内在 2003 年存在一个交点,UF 曲线穿过+1.96,呈上升趋势。表明春季平均气温在 2003 年存在增温性突变,到 2008 年后气温明显增高,UB 曲线超过 0.05 显著水平线。以 2003 年为分界点,将气温分为两个阶段研究,从表 3 中可以看出,2003 年以后气温升高速度比突变前要高的多,突变前气温倾向率为  $0.01^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,这段时间气温无显著的升温变化,从平均气温上来看 1951~2002 年平均气温为  $13.4^{\circ}\text{C}$ ,2003~2012 年平均气温为  $14.4^{\circ}\text{C}$ ,上升了  $1.0^{\circ}\text{C}$ 。

由图 2c 可知,夏季平均气温的 M-K 曲线在临界值区间内在存在三个交点,分别在 1981 年、1984 年、1985 年。在 M-K 图上看,突变点不能直接确定,通过夏季气温累积距平分析可见,气温出现转折的时期是 70 年代后期至 80 年代初期,所以夏季突变点在 1981 年的可能性比较大。1986 年开始 UF 曲线高于 0.05 显著水平线,气温显著增高。从表 3 中可以看出,以 1981 年为分界点,在这两个时期内气温线性变化均没有通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,但 1951~1981 年气温倾向率为  $0.09^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,1982~2012 年为  $0.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,较之前速度增加一点。1982~2012 年平均气温为  $18.2^{\circ}\text{C}$ ,比突变前上升了  $0.6^{\circ}\text{C}$ 。

由图 2d 可知,秋季平均气温的 M-K 曲线在临界值区间内在存在 3 个交点,分别在 1990 年、1991 年、1992 年。结合秋季累积距平发现 1992 年累积距平值处于低谷,所以秋季突变点可能位于 1992 年。2001 年以后 UF 曲线高于 0.05 显著水平线,气温明显增暖。从表 3 中可以看出,突变前后气温线性变化均没有通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验,气温变化速率接近,从平均气温上来看突变后比突变前上升了  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

由图 2e 可知,冬季平均气温的 M-K 曲线在临界值区间内,1995~1996 年的 UF 曲线与 UB 曲线重合,冬季突变显著。2001 年以后 UF 曲线高于 0.05 显著水平线,气温明显增暖,与秋季相同。以 1995 年为分界点,由表 3 可以看出相关系数 r 均未通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验,在 1951~1995 年气温倾向率为  $0.04^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,变化趋势较为缓慢,1996~2012 年气温倾向率为  $0.47^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,可见在下一阶段气温有明显的升高趋势。突变前的平均气温为  $6.6^{\circ}\text{C}$ ,突变后的平均气温为  $7.5^{\circ}\text{C}$ ,升高了  $0.9^{\circ}\text{C}$ ,前后两个阶段的气温变化比较明显。

通过和累积距平的计算结果比较,发现 M-K 突变检验与累积距平所确定的突变点基本吻合,年变化与秋、冬季的突变点基本在同一时期,即都发生在上世纪 90 年代中期。夏季的突变时间较早,春季的突变时间较晚。

### 3.3 异常冷暖年变化特征

世界气象组织对气候异常的判别提出了两种标准:第一种是它出现的几率为 25 年以上一遇,第二种是距平值超过标准差的 2 倍以上<sup>[4]</sup>。由于标准差

是用来描述气象要素相对平均值离散程度的统计量,因此常认为距平值超过标准差一定程度为异常现象。考虑到异常气候出现的次数较少,王绍武等<sup>[15]</sup>把大于标准差 1.3 倍的气候灾害定为严重气候灾害。本文采用当距平的绝对值大于标准差的 1.3 倍时认为异常,以此来分析丽江的异常冷、暖年。

分析得出:近 62a 中年平均气温出现异常冷年的有 5a,春季异常偏冷有 3a,夏季异常偏冷有 8a,秋季异常偏冷有 6a,冬季异常偏冷只有 1a。其中夏季异常偏冷出现最多,冬季出现最少,异常偏冷年(季)多出现在 20 世纪 80 年代以前。年平均气温出现异常偏暖年有 7a,春季异常偏暖有 6a,夏季异常偏暖有 6a,秋季异常偏暖有 9a,冬季异常偏暖有 3a。其中秋季异常偏暖出现最多,冬季出现最少,异常偏暖年(季)多出现在 20 世纪 80 年代以后。因此在近 62a,异常增暖现象要比异常增冷现象明显。

综合来看,全年异常增暖现象最明显出现在 2006 年,年平均气温为 14.2℃,气温距平为 1.4℃;异常增冷现象最明显出现在 1951 年,年平均气温为 11.8℃,气温距平为-1.0℃。

## 4 结论

本文利用 1951~2012 年的月平均气温,分析了丽江近 62a 的气温年际变化特征、突变特征和冷暖年变化,得出如下结论:

(1)自 1951~2012 年,丽江的气温呈明显上升趋势。年平均气温上升幅度为  $0.16^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ,在各季节中,冬季气温增暖现象最剧烈,其次是春、夏两季,秋季的增暖相对较为暖慢。丽江近 62a 年标准差和各季节的标准差都较小,说明气温上升的稳定性比较高,除冬季外,标准差均小于  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

(2)在 1951~2012 年期间,丽江的气温确实存在突变的问题。根据 M-K 检验和累积距平法,可以看出,年平均气温突变发生在 1994 年,春、夏、秋、冬各季节突变年分别在 2003 年、1981 年、1992 年、1995 年。UF 线高于 0.05 显著水平线的点都出现在 2000 年以后。可见丽江气温在 2000 年以后增温非常显著。

(3)丽江冬季异常暖年只有 3a,异常冷年只有 1a,异常现象最少。秋季的异常现象最多,异常暖年

有 9a,异常冷年有 6a。其次是夏季,在增暖的大背景下异常冷年有 8a,比异常暖年多 2a。异常增暖现象主要出现在 20 世纪 90 年代以后,异常暖年的出现频率有增加的趋势。

### 参考文献:

- [1] 秦大河, 罗勇, 陈振林.气候变化科学的最新进展: IPCC 第四次评估综合报告解析 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (6): 1673-1719.
- [2] 陆华静, 彭勇刚, 黄爱星.河池市金城江区 1971~2010 年期间的气温变化特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (2): 12-14.
- [3] 庄毅斌, 肖国杰, 张婕等.近 30 年南靖县气候变化特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (4): 1673-8411.
- [4] 王缉宏.桂平市近 50 年来气温变化特征 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (3): 48-50.
- [5] 利赛明, 陈静林等.近 49 年珠海气温变化及城市化影响初探 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (2): 40-45.
- [6] 何润洁, 韦馨丰.湛江站近 35 年气温变化特征及原因 [J]. 广东气象, 2008, (2): 109-110.
- [7] 肖军, 刘惠萍.近 40 年来惠东年平均气温变化趋势 [J]. 广东气象, 2007, (1): 29-30.
- [8] 陈映强, 林巧美, 陈桂标.揭阳市近 50 年气温的变化特征和未来的变化趋势 [J]. 广东气象, 2007, (3): 35-36.
- [9] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 42-37.
- [10] 贲维芬.龙胜县近 50 年气候变化特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (3): 34-37.
- [11] 钟美英, 魏伟良, 刘竞雄.五华县近 52 年气温变化特征分析 [J]. 广东气象, 2012, (2): 41-44.
- [12] 李丽云, 张锦华, 陆伟.1960~2011 年番禺气温的变化特征及突变分析 [J]. 广东气象, 2012, (3): 16-18.
- [13] 丁一汇, 任国玉, 石广玉等.气候变化国家评估报告: 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2 (1): 1-5.
- [14] 蒋淑芳, 李小泉.近三十余年我国气候异常的初步分析 [J]. 气象, 1985, 11 (7): 20-24.
- [15] 王绍武, 龚道溢, 陈振华.近百年中国的严重气候灾害 [J]. 应用气象学报, 1999, (10): 43-53.