

Analysis on Characteristics of Temperature Variation in Kunming during Recent Decades

Li Xu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: xulicuit@outlook.com

Received: Oct. 24th, 2019; accepted: Nov. 6th, 2019; published: Nov. 13th, 2019

Abstract

The annual minimum temperature, annual maximum temperature, annual mean minimum temperature, annual mean maximum temperature and annual mean temperature of Kunming city from 1960 to 2018 all showed a significant rising trend. The 1970s was the coldest period during recent decades, but the minimum temperature (-7.8°C) appeared in the 1980s. 2000 to 2010 was the warmest period in the period of recent 59 yrs, but the maximum temperature (32.8°C) appeared after 2010. The annual minimum temperature changes before the annual maximum temperature. The annual minimum temperature changed suddenly in 1987 and increased significantly since 1997. The annual maximum temperature only started to mutate in 2005 and has increased significantly since 2013. The abrupt change in the annual mean temperature began between 1991 and 1992, and the annual mean temperature increased significantly since 1993. In addition, the temperature in the process of change mainly exists in the 25 - 28a time scale periodic change rule, and this cycle is mainly characterized by "cold-warm-cold".

Keywords

Kunming, Temperature, Climate Change

近几十年昆明市温度变化特征分析

徐立

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: xulicuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月24日; 录用日期: 2019年11月6日; 发布日期: 2019年11月13日

摘要

利用昆明市1960~2018年气温观测数据对当地年最低气温、年最高气温、年平均最低气温、年平均最高气温、年平均气温变化趋势进行了研究。结果表明,近几十年来昆明地区年最低气温、年最高气温、年平均最低气温、年平均最高气温、年平均气温均大致呈显著上升的趋势。20世纪70年代是近59a最冷的阶段,但气温的极小值(-7.8℃)出现在20世纪80年代。2000~2010为近59a最暖的阶段,但气温的极大值(32.8℃)出现在2010年之后。年最低气温先于年最高气温产生突变。年最低气温在1987年开始产生突变,且自1997年开始,年最低气温呈显著升高趋势;年最高气温在2005年才开始产生突变,且自2013年开始,年最高气温显著升高。年平均气温在1991~1992年间产生突变,自1993年开始,年平均气温显著增加。此外,气温在变化过程中主要存在着25~28a时间尺度的周期变化规律,且此周期以“冷-暖-冷”为主要特征。

关键词

昆明, 降水, 气候变化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近百年以来全球气候呈现以快速变暖为主要特征的变化趋势[1] [2] [3]。根据全球各国气象台站观测结果,近百年以来全球地表气温升温幅度已经超过 0.7℃,并且由于化石燃烧等人类活动的影响,20世纪90年代以来的增暖幅度明显加速,这导致了极端天气气候事件大幅增加,已经对人类生存和各国经济社会的可持续发展带来了深远影响[4] [5] [6]。

近几十年来,西南地区气候也发生了显著变化[7] [8]。郝晓阳等[9]基于昆明站1951~2013年的逐日气温资料,采用多种统计方法分析了昆明站近60年来气温变化特征,发现近60年来昆明市年平均气温呈上升趋势,变化倾向率为0.29℃/10a;平均气温在年代际变化上进入20世纪90年代以来均大于多年平均气温,且距平气温在逐渐增大,1990s离差系数最大,为气温波动最大的10年;平均气温突变年份为1993年,存在23~32年的主周期。魏康洪等[10]利用昆明1999~2013年气温和降水资料进行了昆明市气候均值、气候倾向率、距平、线性趋势和异常统计分析。结果表明,昆明年均气温略呈上升趋势,气温增温率为0.007℃/a;干季增温弱于雨季,冬春季呈气温偏高异常,夏秋季呈低温异常。潘娅婷等[11]发现昆明年平均气温、平均最低气温、极端最高和极端最低气温均在1990年初出现异常增暖。吴利华等[12]指出极端气温指数霜冻日数、冷夜日数、冷昼日数、冷日持续指数和月平均日较差呈明显下降趋势,月最低气温极大值、月最低气温极小值、夏季日数、热夜日数、暖夜日数、暖昼日数和热日持续指数则呈明显上升趋势,而月最高气温极大值、月最高气温极小值、冰封日数和作物生长期呈不显著上升趋势,并且月最低气温指数比月最高气温指数升温幅度快。此外,许多学者对昆明市年际到年代际尺度气温变化特征及其影响因子进行了分析,极大推进了高原城市气候变化的研究进展[13] [14]。

尽管已有相关工作对昆明气候变化特征进行了研究,但所用资料样本相对较短,而且对其气候演变趋势的研究还不多见。因此,利用最新资料对昆明近几十年来气温变化特征进行深入研究有利于提高应

对气候变化能力以及提升气候资源利用水平。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文所用数据资料为中国气象数据网提供的昆明站 1960~2018 年逐月气温资料，该资料已经经过严格的质量控制，被广泛应用于我国气候变化研究中[15]。

2.2. 方法

为了探究昆明近几十年来气温的变化特征，利用一元线性回归、Mann-Kendall (M-K)非参数检验和小波分析方法对昆明 1960~2018 年的气温的趋势变化、突变和周期规律进行分析，相关方法已被广泛用于气候变化分析。

M-K 检验公式为：

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{Var(s_k)}} (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

UF_k 为标准形式的正态分布，是按时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n 计算出的统计量序列，给定特定的显著性水平 α ，若 $|UF_k| > U\alpha$ ，则表明序列的趋势变化比较明显。

小波分析公式为

$$W_f(a, b) = \int_R f(t) \bar{\varphi}_{ab}(t) dt, a > 0, b \in R \quad (2)$$

其中， $\varphi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ，而函数已成为小波母函数，它满足容许条件

$$\int_R |\hat{\varphi}(\omega)|^2 / |\omega| d\omega < \infty \quad (3)$$

其中， $\hat{\varphi}(\omega)$ 表示 $\varphi(t)$ 的傅立叶变换。参数 a 一般叫做尺度参量，这个参量具有伸缩的功能，即参数 a 具有将小波函数 $\varphi_{ab}(t)$ 的友集展宽($a > 1$)和缩窄($a < 1$)的功能，参数 b 为平移参数。小波变换实际上是对函数 $f(t)$ 在某一局部上的“平滑”作用。将 b 的取值范围内所有小波系数的平方积分，就可得到小波方差，即

$$W_p(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_p(\alpha, b)|^2 db \quad (4)$$

小波方差图反应了能量随尺度的分布，可确定时间序列中各尺度扰动的相对强度，进而确定主周期。

3. 研究结果

3.1. 气温的年际变化特征

图 1 为昆明年最低气温时间序列。由图中可知，在 1960~2018 年间，昆明年最低气温平均值 -2.1°C ，且序列表现出较为明显的上升趋势，其线性倾向率分别为 $0.44^\circ\text{C}/10\text{a}$ ，趋势系数达到 0.38，通过了 0.05 的显著性检验。同时，由图中可以发现，昆明年最低气温也存在较为明显的年际变化特征，年平均气温的最小值为 -7.8°C ，出现在 1983 年，而最大值为 1.2°C ，出现在 1994 年。

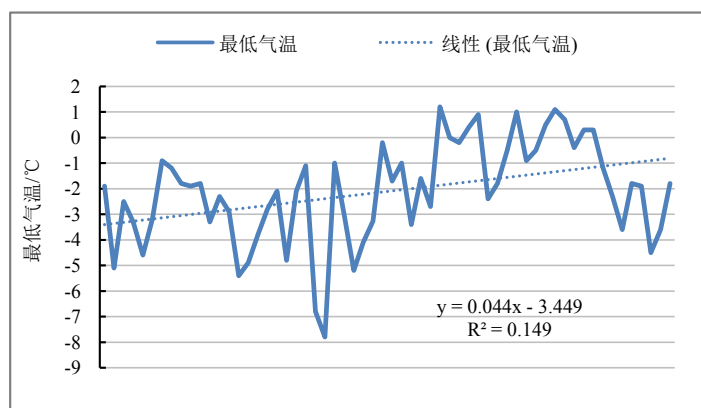


Figure 1. Time series of annual minimum temperature from 1960 to 2018

图 1. 1960~2018 年年最低气温时间序列

进一步给出昆明年最高气温的年际变化曲线(图 2)。由图中可知,近几十年来昆明市年最高气温的平均值达到 29.6°C,且同样表现出较为明显的升温趋势,其升温率为 0.21°C/10a,趋势系数达到 0.31,通过 0.05 的显著性检验。对于年际变化而言,年最高气温也存在一定的年际变化特征,最小值为 27°C,出现在 1974 年,最大值为 32.8°C,出现在 2014 年。

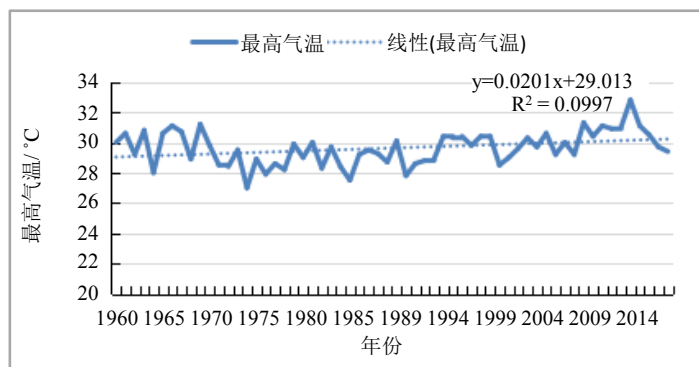


Figure 2. Time series of annual maximum temperature from 1960 to 2018

图 2. 1960~2018 年年最高气温时间序列

年平均最低气温、年平均最高气温、年平均气温在 1960~2018 年间大致呈明显上升趋势(图 3),趋势系数分别为 0.832、0.715 和 0.813,均通过 0.05 的显著性检验,且其线性倾向率分别为 0.52°C/10a、0.30°C/10a 和 0.38°C/10a。进一步对比分析可知,年平均最低气温的升温趋势比年平均最高气温大,可见,在年平均气温升高过程中,年平均最低气温对升温趋势的贡献大于年平均最高气温。1960~2018 年年平均最低气温的多年平均值为 10.6°C,其中最小值为 8.9°C,出现在 1971 年,最大值为 12.7°C,出现在 2005 年。年平均最高气温的平均值为 21.1°C,最小值为 19.8°C,出现在 1971 年,最大值为 22.9°C,出现在 2009 年。年平均气温的平均值为 15.2°C,最小值为 13.6°C,出现在 1971 年,最大值为 16.7°C,出现在 2005 年。

3.2. 气温的突变特征

图 4 为昆明市 1960~2018 年年最低气温的 M-K 突变检验结果。由图中可知,昆明年最低气温在 1987 年开始产生突变,自 1997 年开始,UF(k)开始超过 0.05 的显著性水平临界线,表示自 1997 年开始,年最低气温升高趋势是显著的。

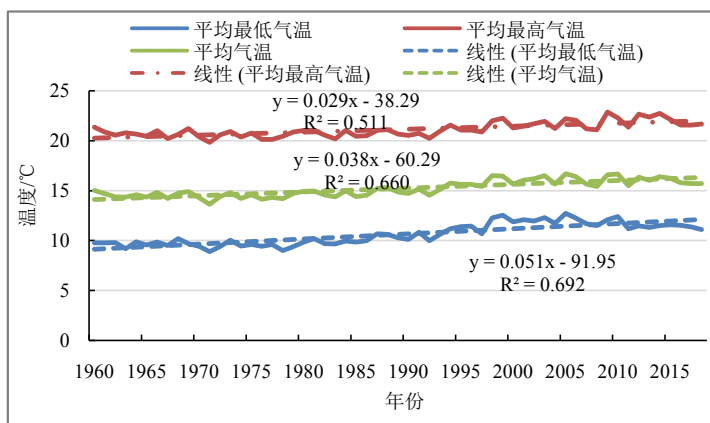


Figure 3. Time series of annual mean maximum, minimum and mean temperature from 1960 to 2018

图 3. 1960~2018 年年平均最高、最低和平均气温时间序列

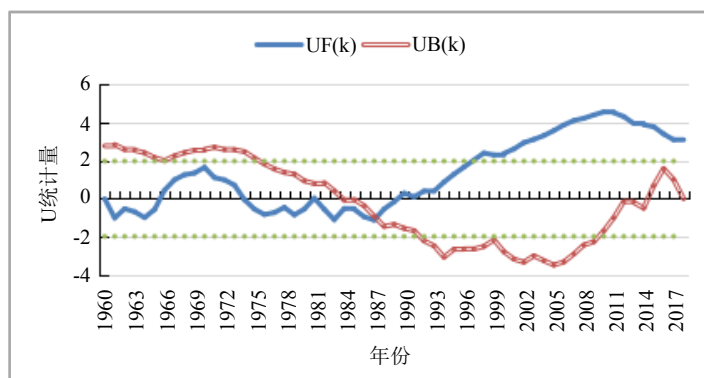


Figure 4. M-K test on annual minimum temperature from 1960-2018

图 4. 1960~2018 年年最低气温的 M-K 检测曲线

图 5 为年最高气温的 M-K 突变检验图。从图中可以发现，1960~2018 年间年最高气温在 2005 年开始产生突变，年最高气温存在上升趋势，2013 年 UF(k) 开始超过临界线，即自 2013 年开始，年最高气温显著升高。

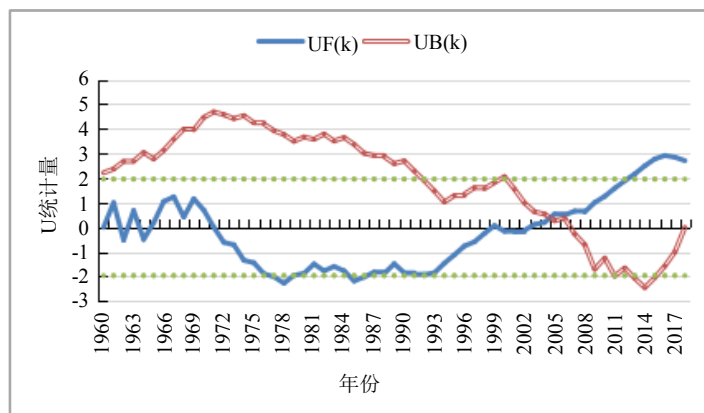


Figure 5. M-K test on annual maximum temperature from 1960-2018

图 5. 1960~2018 年年最低气温的 M-K 检测曲线

图 6 为 1960~2018 年年平均气温突变检验示意图。从图中同样可以发现，1960~2018 年年平均气温在 1991~1992 年间开始产生突变，在 1993 年 $UF(k)$ 开始超过临界线，表示自 1993 年开始，年平均气温显著增加。

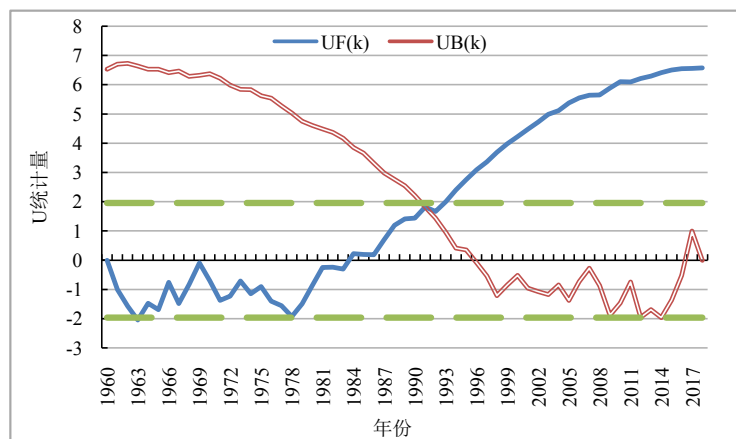


Figure 6. M-K test on annual mean temperature from 1960-2018

图 6. 1960~2018 年年平均气温的 M-K 检测曲线

进一步分析可知，年最低气温先于年最高气温产生突变，即年最低气温在 1987 年开始产生突变，且自 1997 年开始，年最低气温呈显著升高趋势。年最高气温在 2005 年开始产生突变，且自 2013 年开始，年最高气温显著升高。年平均气温在 1991~1992 年间开始产生突变，自 1993 年开始，年平均气温显著增加。

3.3. 气温的周期特征

对 1960~2018 年年平均气温进行小波变换，并通过提取小波系数一级计算小波系数实部，可得到昆明 1960~2018 年平均气温变化的小波系数(图 7)。由图可见，图中实线小波系数大于 0，代表年平均气温相对较高的暖期，虚线小波系数小于 0，代表年平均气温相对较低的冷期。昆明市 1960~2018 年年平均气温的演化过程中存在着多时间尺度的特征，其中主要存在着 25~28a 周期变化规律，且此周期以“冷-暖-冷”为特征。

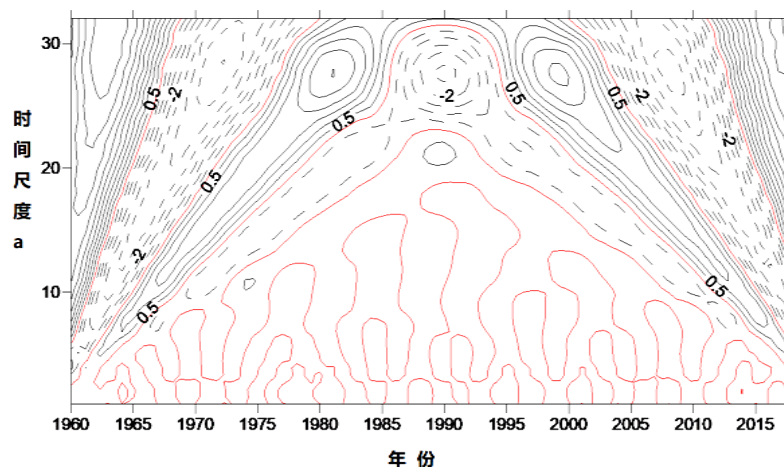


Figure 7. Wavelet coefficients of annual mean temperature from 1960 to 2018

图 7. 1960~2018 年年平均气温小波系数

以小波方差为纵坐标, 时间尺度为横坐标, 可得小波方差图(图 8)。小波方差图能反映年平均气温时间序列的波动能量随时间尺度的分布情况, 并用于确定气温演化过程中存在的主周期。由图 8 可知, 1960~2018 年的小波方差图中只存在 1 个较为明显的峰值, 对应着 28a 的时间尺度, 说明 28a 左右的周期震荡最强, 为年平均气温变化的第一主周期。该特征表明以“冷-暖-冷”为特征 28a 左右的周期波动控制着年平均气温在 1960~2018 年间的变化趋势。

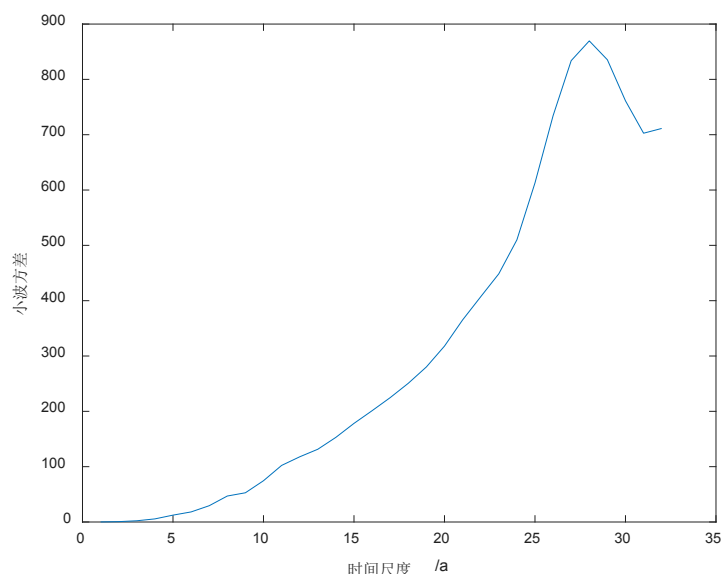


Figure 8. Wavelet variance of annual mean temperature from 1960 to 2018
图 8. 1960~2018 年年平均气温的小波方差图

4. 结论

本研究运用一元线性回归、MK 检验和小波分析等方法对昆明 1960~2018 年气温变化特征进行了分析, 得到以下结论:

1) 昆明市 1960~2018 年年最低气温、年最高气温、年平均最低气温、年平均最高气温和年平均气温均大致呈显著上升的趋势。20 世纪 70 年代是近 59a 最冷的阶段, 但气温的极小值(-7.8°C)出现在 20 世纪 80 年代。2000~2010 为近 59 年来最暖的阶段, 但气温的极大值(32.8°C)出现在 2010 年之后。

2) 近 59 年间, 昆明市年最低气温先于年最高气温产生突变。年最低气温在 1987 年开始产生突变, 且自 1997 年开始, 年最低气温呈显著升高趋势; 年最高气温在 2005 年才开始产生突变, 且自 2013 年开始, 年最高气温显著升高。年平均气温在 1991~1992 年间产生突变, 自 1993 年开始显著增加。

3) 昆明市气温变化主要存在 25~28a 时间尺度的周期变化规律, 且此周期以“冷-暖-冷”为主要变化特征。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

[1] 苏勃, 高学杰, 效存德. IPCC 全球 1.5°C 增暖特别报告冰冻圈变化及其影响解读[J]. 气候变化研究进展, 2019,

- 15(4): 395-404.
- [2] 刘典何文. 1954-2015 年昆明太华山站气候干湿变化分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1): 68-73.
- [3] 段宏波, 汪寿阳. 中国的挑战: 全球温控目标从 2°C 到 1.5°C 的战略调整[J]. 管理世界, 2019, 35(10): 50-63.
- [4] 孔锋. 中国灾害性冰冻天气日数气候演变空间分异特征(1961-2016 年)[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 121-130.
- [5] 孙康慧, 曾晓东, 李芳. 1980-2014 年中国生态脆弱区气候变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(4): 455-468.
- [6] 孔春芳, 岳永财, 徐凯. 2000-2015 年江汉平原区域植被 NPP 时空特征及其对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(6): 1460-1469.
- [7] 许婉彤, 曾彪, 李博, 等. 柴达木盆地气候变化区域性特征及其影响因素[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(3): 357-364.
- [8] 陈发虎, 董广辉, 陈建徽, 等. 亚洲中部干旱区气候变化与丝路文明变迁研究: 进展与问题[J]. 地球科学进展, 2019, 34(6): 561-572.
- [9] 郝晓阳, 叶文, 吴利华. 1951-2013 年昆明市气温变化特征分析[J]. 绿色科技, 2015(4): 10-12.
- [10] 魏康洪, 陈晓平, 熊升念. 1999-2013 年昆明市气温与降水量的变化趋势[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(7): 133-137.
- [11] 潘娅婷, 杨靖新, 李晓鹏, 等. 近 70 年昆明市气温变化与城市化影响研究[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(2): 29-35.
- [12] 吴利华, 彭汐, 马月伟, 等. 1951-2016 年昆明极端气温和降水事件的变化特征[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(1): 91-104.
- [13] 何云玲, 张一平, 刘玉洪, 等. 昆明城市气候水平空间分布特征[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 724-729.
- [14] 施晓晖, 顾本文. 昆明城市气候特征[J]. 气象, 2001, 27(3): 38-41.
- [15] 张一平, 彭贵芬, 李玉麟. 低纬高原城市昆明的气候特征[J]. 高原气象, 1997(3): 96-100.