

云南省夏季极端高温变化特征

常友治, 毛文书, 王梦园

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 602730554@qq.com

收稿日期: 2020年8月24日; 录用日期: 2020年9月4日; 发布日期: 2020年9月11日

摘要

为了进一步研究云南省夏季极端高温的变化特征, 本文采用云南省国家一般气象站1970~2009年共计40年日平均气温、日最高气温、日最低气温数据资料, 然后使用趋势分析、EOF分析、M-K检验等统计分析方法, 分析了云南省夏季平均温度以及极端高温的变化特征。结果表明: (1) 云南省夏季极端高温空间分布不均匀, 气温由南向北逐渐递减, 由于受地形及纬度的影响, 夏季平均极端高温的最大值位于元江站。(2) 从1970~2009年, 云南的夏季平均气温和极端高温均表现出上升趋势。40年夏季的平均温度上升了1.2℃, 并且突变发生在1990年代初期。极端高温上升了1℃, 突变发生在1986年左右。(3) 在过去的40年中, 云南的极端最高温度变化率在云南南部和云南北部最大。

关键词

云南省, 夏季极端高温, EOF分析, 回归分析, M-K检验

Characteristics of Extreme High Temperature Changes Are Studied in Summer in Yunnan Province

Youzhi Chang, Wenshu Mao, Mengyuan Wang

College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 602730554@qq.com

Received: Aug. 24th, 2020; accepted: Sep. 4th, 2020; published: Sep. 11th, 2020

Abstract

In order to further study the characteristics of extreme high temperature changes in summer in Yunnan Province, this paper uses 40 years of average daily temperature, daily maximum tem-

perature, daily minimum temperature data from Yunnan National General Weather Station from 1970 to 2009, using linear regression analysis, EOF analysis, M-K test and other statistical methods to analyze the characteristics of the average temperature and extreme high temperature in summer in Yunnan Province. The result shows that: (1) The spatial distribution of extreme high temperature in summer in Yunnan Province is uneven, and the temperature gradually decreases from south to north. Due to the influence of terrain and latitude, the maximum value of the average extreme high value of the average extreme high temperature in summer is located at Yuanjiang Station. (2) From 1970 to 2009, Yunnan's summer average temperature and extreme high temperature both showed an upward trend. The average temperature in the summer of 40 years increased by 1.2°C, and the mutation occurred in the early 1990s. The extreme high temperature rose by 1°C, and the mutation occurred around 1986. (3) The variability of the extreme maximum temperature in Yunnan Province in the past 40 years is the largest in southern and northern Yunnan.

Keywords

Yunnan Province, Extreme High Temperature in Summer, EOF Analysis, Regression Analysis, M-K Test

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

气候变化是当今社会普遍关注的全球环境问题，各国气候学者从不同的角度对这一问题作了研究，获得了许多有意义的结果，我国近百年气候变暖的趋势非常显著，升温幅度为 0.5°C~0.8°C [1]，尤其是近 50 年，中国地表年平均气温升温速率为 0.22°C/10a，明显增暖，超过全球或北半球同期升温水平，是全球变暖最明显的地区之一[2]；任国玉等[3]使用国家基准站和基本气象站的地面观测资料，系统地分析了中国大陆地区 1951 年以来主要气候要素演化的时间和空间特征，结果表明，中国近 50 年来地表气温增温速率为 0.22°C/10a，变暖幅度约为 1.1°C，高于同期全球或半球的平均增温速率；林学椿等[4]利用 711 个气象站的温度记录，得到并讨论了近百年的全国温度序列，结果表明，中国近百年的温度变化与北半球的温度变化很相似；丁一汇等[5]发现我国增温趋势与北半球的增温情况相似，但在具体的变化过程和幅度上又存在明显差异；张先恭等[6]使用我国 137 个站逐月平均气温绘制了全国历年逐月温度分布图，研究了全国和各区温度等级值的演变规律及其相互联系，以及近 30 年来我国气温演变的某些特征，结果表明，我国各地气温的变化趋势与北半球气温变化趋势一致。

云南的气候类型复杂多样，具有低纬度、季风和山区等气候特征，人类和世界各地的活动造成的全球气候变化是影响变更的关键因素，近年来，许多中国气象学家一直在研究云南的气候变化：程建刚等[7]利用云南的温度和降水数据，分析了云南的气候变化特征、强降水的极端天气以及热干旱事件对全球变暖的响应，在过去的 50 年中，云南的温度变化几乎与世界、北半球和中国的趋势相吻合，温度变化的范围比世界略大，在 20 世纪 1980 年代后半叶出现了越来越热的现象；何萍等[8]分析楚雄市最近 50 年的气候变化特征，发现自 20 世纪 1980 年代以来温度一直在上升。何云玲等[9]使用各种统计分析方法，对昆明市 60a 的气候变化数量和特征惊醒的分析，结果表明，昆明市近 60 年的气候变化表现出温暖干燥的趋势，温度升高，降水减少；卜明等[10]使用 1960~2012 年云南省 30 个气象站点的数据，使用线性趋势

估计和滑动平均等方法,从季节和年际两个尺度对云南省不同地区的气候变化进行了测量,分析这些特征后,云南省 1960~2012 年的年平均气温明显上升,1997 年是一个突变点;段旭等[11]使用云南省 1961~2008 年间 124 个测站的日平均气温与降水数据,考虑温度的垂直递减率,客观分析了温度细网格数据,分析云南省近 50 年的气候变化,结果显示云南省近 50 年的温度变化趋势与北半球和全国一致,但速度慢;尤卫红等[12]使用自适应多分辨率数据滤波器分析了世界、中国和云南近 100 年的温度变化的等级结构和突变特征,全球数百年来温度变化的主要特征是全球变暖,与云南省最近 100 年的温度变化基本相同,但与世界不同。

在地表温度极高的背景下,极端气候问题吸引了国内外学者进行研究。翟盘茂等[13]利用过去 50 年中每天的最高和最低温度和降水数据,计算并分析了极端高温、低温和强降水事件的变化趋势,发现中国北部地区夜间温度极低的天数显著减少,而该地区白天的温度正在增加;马柱国等[14]利用全国 110 个站点的日平均地表温度数据,计算分析了 1951~2000 年北部干旱和半干旱地区的极端温度发生和强度趋势,此外,还显示了极端温度变化的趋势和区域差异,发现最低温度的发生频率显著降低,并且增加趋势与极端最低温度的发生频率的降低和最低温度的升高密切相关;杨萍等[15]结合我国 1961~2000 年 194 个测站的日最高和最低温度数据,结合我国近 40 年的极端温度事件年份的极端温度指数,分析了变化的过程和季节性特征,春季和秋季两个季节的变化尚不明确,年和季节尺度上的极端冷暖指数均反映了增暖趋势;唐红玉等[16]通过分析我国年、季平均最高和最低温度变化趋势的空间分布以及事件的变化特征,获得了 1951~2002 年全国 733 个站点的月平均最高和最低温度,至于平均最高温度的变化特征,北部的温度升高明显,南部的变化不明显,或者出现了弱冷的趋势,全国的年平均最低温度几乎相同,且变化明显。平均最低温度的升高明显大于平均最高温度的升高,丙炔中国的年平均日较差下降很多,在北部地区非常明显;于淑秋等[17]使用我国过去 50 年中 234 个测量站的日平均温度数据,对最高和最低每日平均温度,各种极限温度的天数等进行研究的结果发现,在过去 50 年的夏季,温度已升至每日最高平均温度之上,在大多数北部地区,最低每日平均温度趋势相对明显地升高,日平均温度仍高于最低日平均温度;翟盘茂等[18]利用中国 1951~1990 年的实际数据研究了中国最高气温和最低气温的时空变化趋势,最高温度在黄河北部地区和黄河东部地区都呈现上升趋势,结果发现,全国最低气温普遍呈现上升趋势,高纬度地区气温上升最明显;任福民等[19]利用中国 1951~1996 年的极端温度数据,分析研究了中国极端温度变化趋势的区域分布和季节变化特征。极端最低温度变化率在春季和秋季两个季度最高,而夏季是极端最低温度变化率最小的季节。云南省气候类型复杂多样,是我国气候变化较为明显和敏感的地带,我国也有不少学者对云南省极端气候事件进行了研究。马振锋等[20]利用 1961~2000 年西南地区 139 个气象观测站的常规地面观测数据的年平均值,计算分析了过去 40 年西南地区气候的年际变化特征,结果表明,该地区的气候变化与全球变化是不同步的,西南地区的气候变化几乎具有相同的周期,南部地区的气候要素在高海拔地区的变化要比在低海拔地区的变化快,并且全世界的温度变化比西南地区的变化快;班军梅等[21]利用中国西南地区 1951~2000 年的平均温度,以及一天中的最高温度和最低温度的数据,计算分析了与事件变化相关的特征,本地年平均温度、年平均日最高温度和年平均日最低温度正在降低,温度的降低对平均温度的影响最大,而每日最低温度总体上倾向于升高;袁文德等[22]利用西南 88 个台站 1961~2012 年温度数据,使用 1% 阈值的方法、线性趋势、Mann-Kendall 秩相关方法、反距离加权插值方法来定义极端温度事件,通过结合以上分析时空变化,发现在西南地区存在极端高温事件和极端低温事件的极端温度指数,表现出上升和下降趋势;罗燕等[23]利用 1961~2008 年云南 125 个测站的日常观测数据,采用百分位数方法定义云南的极端温度和降水阈值,计算分析了极端条件下的高温 and 低温分布以及强降水的特征,气候变化的过程以及该地区与气候增暖的关系,发现在大多数地区,极端寒冷的频率明显下降,而年平均温度与极端高温的频率呈现正相关的关系;王晓等[24]利用

反距离加权插值法、Mann-Kendall 变异检验法、周期方差分析外推法等,通过调查时空变化的特征,发现云南的极端气温事件呈现上升趋势;张万诚等[25]利用云南省气象台站 122 站 1961~2011 年每月的极端温度数据,利用线性趋势分析等方法分析云南省 1961~2011 年四个季节和极端温度的趋势特征,结果发现,低纬高原地区年平均温度和四个季节最高温度的空间分布呈北低南高的形式,并随着西北纬度从西南向南纬度的减小而增加,明显的区域差异正在出现,云南的冷灾害事件正在减少;杨晓静等[26]利用 1958~2013 年云南气象站点的每日最高和最低温度数据,采用 Mann-Kendall 方法、反距离加权方法等研究了极端温度的空间分布特征,连续高温事件和持续性事件的频率均显著高于低温事件,并且最低温度升高高于最高温度,最高温度随着最低温度而增加。

云南属于山区高原地貌,大部分位于中海拔区域。整个省的地势西北高,东南低,从北向南呈阶梯状下降。北部是青藏高原的南部,是全国气候变化较为明显的敏感地区。云南省整体属于热带和亚热带气候,具有低纬气候,季风气候和山区气候的特点。云南的气候基本上属于亚热带高原的季风型,三维气候的特点是显着的,类型很多,一年的温差小,一天的温差大,干湿季很明显,温度根据地形的高度垂直变化。全省平均温度在最热的月份(7月)在 19℃~22℃之间,在最冷的月份(1月)在 6℃~8℃之间,年温差是只有 10℃~12℃。夜晚相对凉爽,白天相对炎热,两者之间的温差达到 12℃~20℃,尤其是在冬季和春季两个季节。云南的极端温度变化对我国大范围温度的时空分布有一定影响。因此,研究云南的极端高温变化规律非常重要。

2. 资料与方法

针对云南近 40 年的温度变化特征,采用云南省 15 个站点 40 年的 1970~2009 年日平均温度,最高温度和最低温度的数据,为消除地理位置、地形等的影响,对每个站、每年的逐日气温资料采用 1970~2009 年 40 年气候平均值和标准差进行距平标准化处理。本文选取的地面观测资料均满足:时间序列较长(1970~2009 年),资料较为完整,缺测值较少,站点在所选年份之前没有变动的特点。所研究区域的经度范围为:104°29'~117°50',纬度范围为:16°20'~26°23'。所选台站海拔高度范围为:4.2~749.7 m。

本文使用线性回归分析、EOF 分析、M-K 检验等统计分析方法。可使用标准差来衡量极端温度的变率。回归分析是通过建立样本量与其所对应的时间一元线性回归方程,来表示样本量上升或下降的趋势。正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, 简称 EOF),它是气象多变量分析中经常使用的方法之一。将气象要素场分解为时间函数部分和空间函数部分,空间函数部分概括了气象场的区域分布特征,这部分不随时间变化,时间函数部分由空间变量的线性组合组成,称为主分量。这些主成分的头几个占据了原始空间变化总方差的很大一部分,并研究了主成分的原理可以通过定律代替研究场的时间变化。Mann-Kendall 方法(缩写为 M-K 方法)是一种非参数统计检验方法,也称为无分布检验,其优点是样本不必遵循一定的分布,不受异常值的干扰,并且与类型变量和序数变量兼容。

3. 云南省夏季极端高温的空间分布特征

3.1. 客观代表站的选取

利用云南地区 15 站 1970~2009 年共 40 年逐月温度资料,在消除台站迁移,经过均一性检查和严格质量控制的基础之上,按照所研究区域内站点尽量多,时段尽量长的原则,挑选了云南地区东经 97°~107°E, 21~30°N 内的 15 站 40 年的逐日气温资料进行分析,其站点空间分布如图 1 所示。

由图 1 可见,所选内域内站点分布均匀,有代表性,它包括了云南省内的大部分地区,它们分别是:维西、昭通、腾冲、保山、昆明、景东、玉溪、泸西、临沧、澜沧、思茅、元江、勐腊、江城、砚山共 15 个站点。

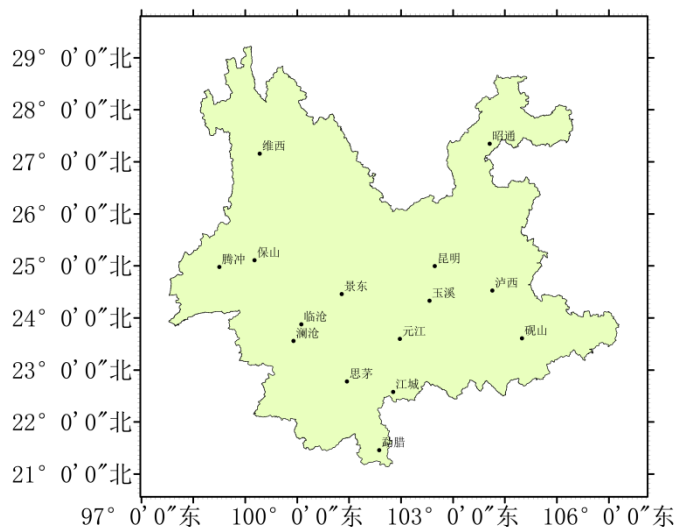


Figure 1. The space distribution of the 15 stations in Yunnan province
图 1. 云南省 15 站的空间分布

3.2. 云南省夏季平均极端高温的空间分布

图 2 给出了 1970~2009 年云南省 15 个站的夏季平均极端高温的空间分布, 用来了解云南省夏季平均极端高温的空间分布特征。

由图 2 可知: 云南省夏季平均极端高温空间分布不均匀, 气温由南向北逐渐递减, 云南省南部温度高, 北部温度低, 夏季温度最大值位于云南省南部(元江站), 多年平均极端高温大于 32.2℃, 由于受地形及纬度的影响, 夏季温度较低的区域位于云南省西部与东北部, 多年夏季平均温度低于 25.5℃。

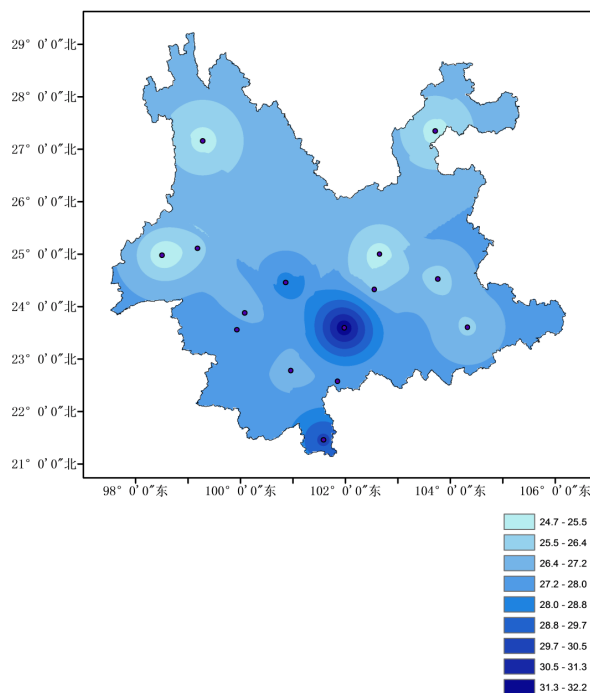


Figure 2. Spatial distribution of average extreme high temperature in summer
图 2. 夏季平均极端高温的空间分布

另外对云南地区 15 站 40 年夏季极端高温资料采取标准化处理之后, 对其距平进行 EOF 分析, 图 3 给出了方差贡献率较大的前 3 个模态的空间分布及相应的时间系数变化。

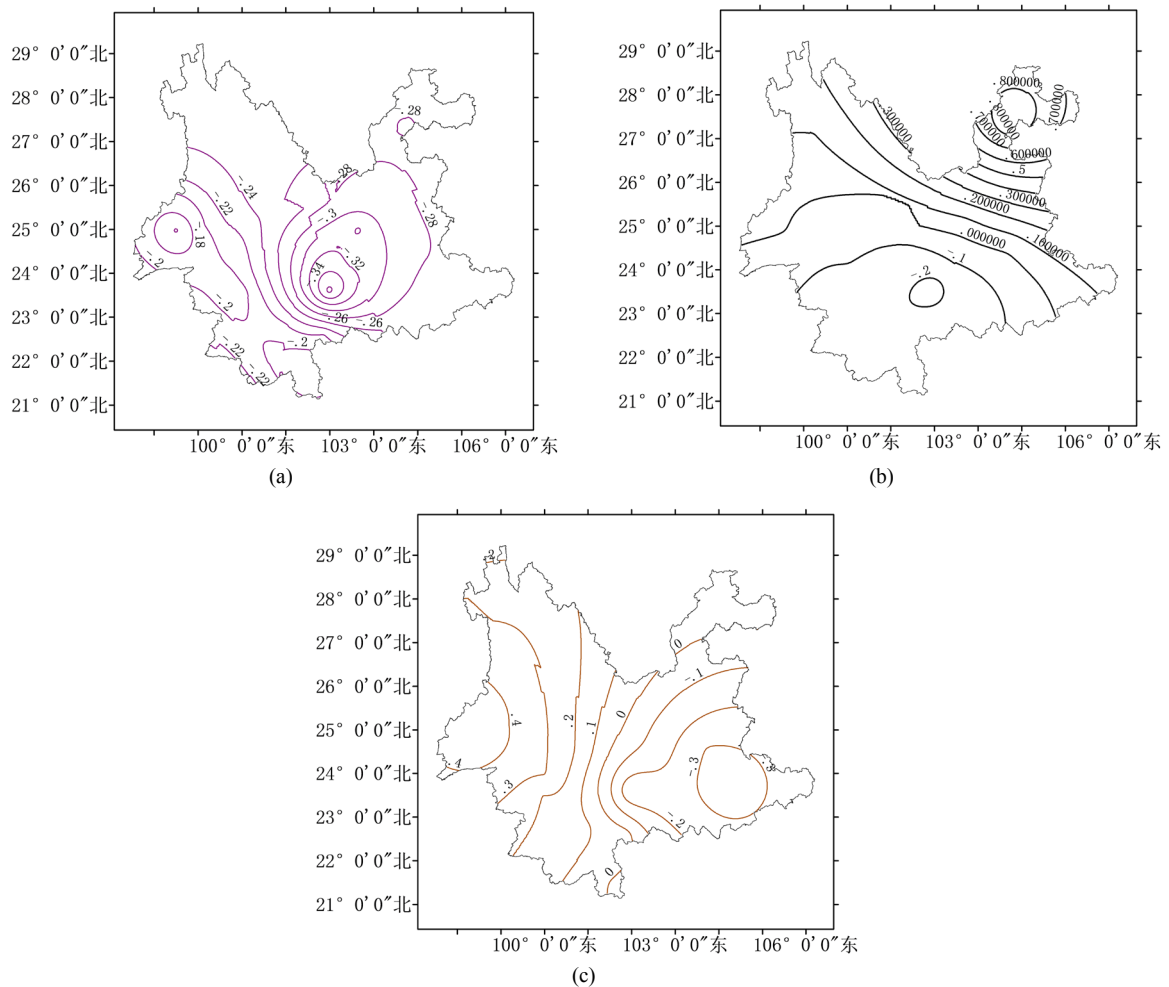


Figure 3. The distribution of the first third mode of the EOF of the summer temperature in Yunnan province. (a) The first mode; (b) The second mode; (c) The third mode

图 3. 云南地区夏季温度 EOF 分解前 3 个模态的空间分布。(a) 第 1 模态; (b) 第 2 模态; (c) 第 3 模态

由图 3 可知, 第 1 模态(图 3(a))占总方差的 53.8%, 表明极端高温的空间分布型为全区一致型, 其振幅高值中心位于云南省南部的元江站, 是云南省夏季极端高温的主要空间分布型。第 2 模态(图 3(b))占总方差的 15.3%, 表明云南省夏季极端高温大致呈现东北低西南高的反相位变化, 表明了云南省夏季极端高温东北与西南之间的空间局地差异。第 3 模态(图 3(c))占总方差的 9.6%, 表明云南省夏季极端高温东西部之间的空间局地差异。

从以上的分析中可以看出, 采用一级近似将云南省作为一个整体来分析其平均温度的时空变化特征是合理的。

3.3. 云南省夏季极端高温的变率分布

图 4 为近 40 年云南省夏季极端温度的标准差分布, 图中显示, 夏季极端最高温度的变率在云南省东北部与南部最大。

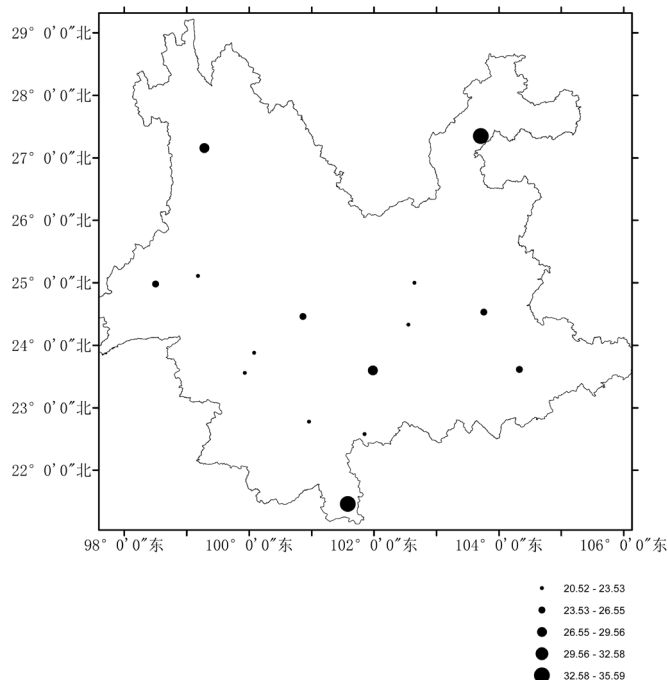


Figure 4. The distribution of extreme temperature standard deviation in Yunnan province from 1970-2009
图 4. 1970~2009 年云南省极端温度标准差的分布图

4. 云南省夏季极端高温的时间演变特征

4.1. 云南省夏季平均温度的演变特征

通过对以上资料进行经验正交函数分解分析,大致对云南地区夏季平均温度的空间分布有了一个初步的了解,下面对云南地区夏季温度趋势进行分析,处理结果如图 5 所示。

图 5 给出了云南省年夏季平均温度在近 40 年中的演变及线性趋势,图中折线为夏季平均温度的演变曲线,直线为 40 年里平均温度的线性趋势。从图 5 来看,云南省 15 个站点平均的夏季温度的趋势系数表明近 40 年来本地夏季平均温度表现为增温趋势,它呈现出波动的上升趋势,并且温度上升趋势非常显著。40 年间平均气温上升了 1.2℃。从 1970s 末开始增温,并且越来越快。1970~1980 年间云南省的温度上升趋势不明显,1980 年以来云南省的平均温度上升趋势十分显著。

从图 6 可以看出,通过对 1970~2009 年期间云南省的平均温度进行 M-K 检验,UF 曲线在 1970~2009 年期间没有明显的波动,并且在 1976 年之后由明显的上升趋势,该年份超过置信区间,并在 1991 年左右与 UB 曲线相交,交点位于该置信区间内,这说明了云南省 1970~2009 年期间在 1990s 初期的平均气温发生了突变。

4.2. 云南省夏季极端高温的演变特征

图 7 显示了云南省近 40 年夏季极端高温的演变和线性过程,图中的折线为观测数据,直线为线性拟合趋势。根据图 7,云南省 15 个站点的夏季极端高温趋势系数表明,该地区夏季极端高温在最近 40 年总体上呈现上升趋势,是波动上升的,却温度上升趋势不明显。40 年来,云南省的极端高温增加了 1℃。

图 8 显示了云南省夏季极端高温的突变分析,对 1970~2009 年云南省夏季极端高温的 M-K 检测表明,UF 曲线在 1970~2009 年没有波动,且总体上呈现上升趋势,与 UB 曲线的交点位于 1986 年的置信区间内,但事实证明,1970~2009 年云南省的平均温度在 1986 年左右发生了急剧变化。

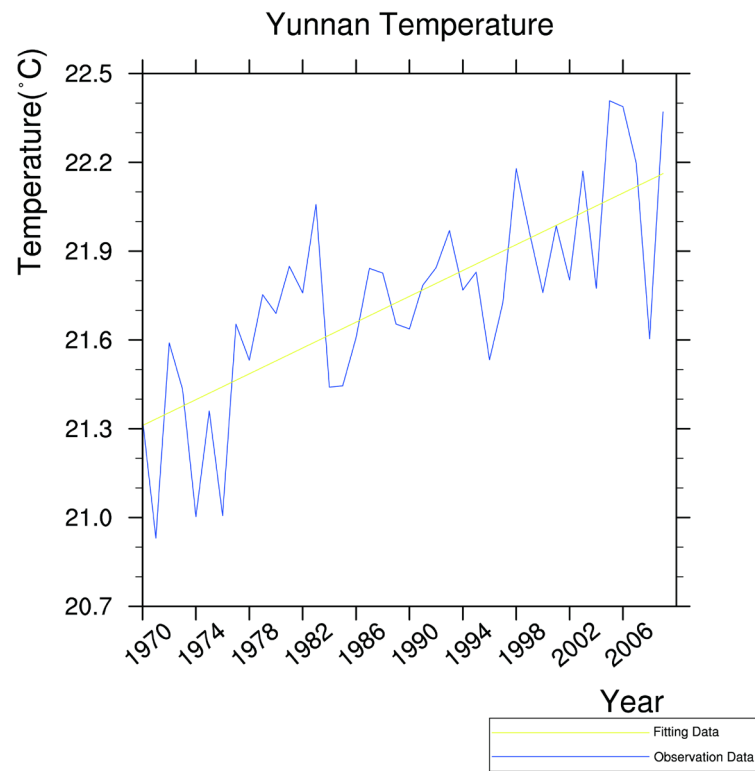


Figure 5. The evolution and linear trend of the average summer temperature in Yunnan province from 1970-2009
图 5. 1970~2009 年云南省夏季平均温度的演变及其线性趋势

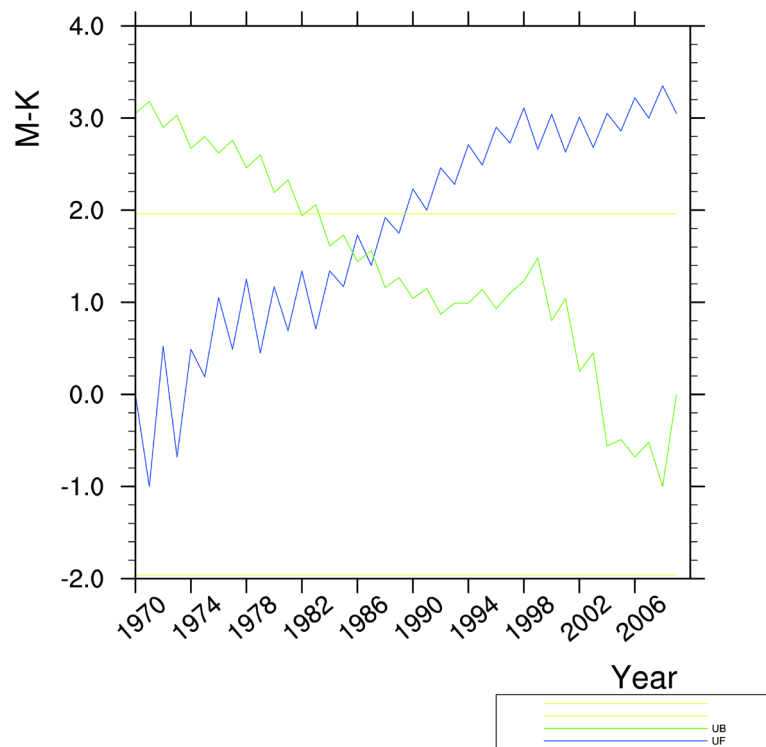


Figure 6. Analysis of average temperature mutations in Yunnan province from 1970-2009
图 6. 1970~2009 年云南省年平均气温突变分析

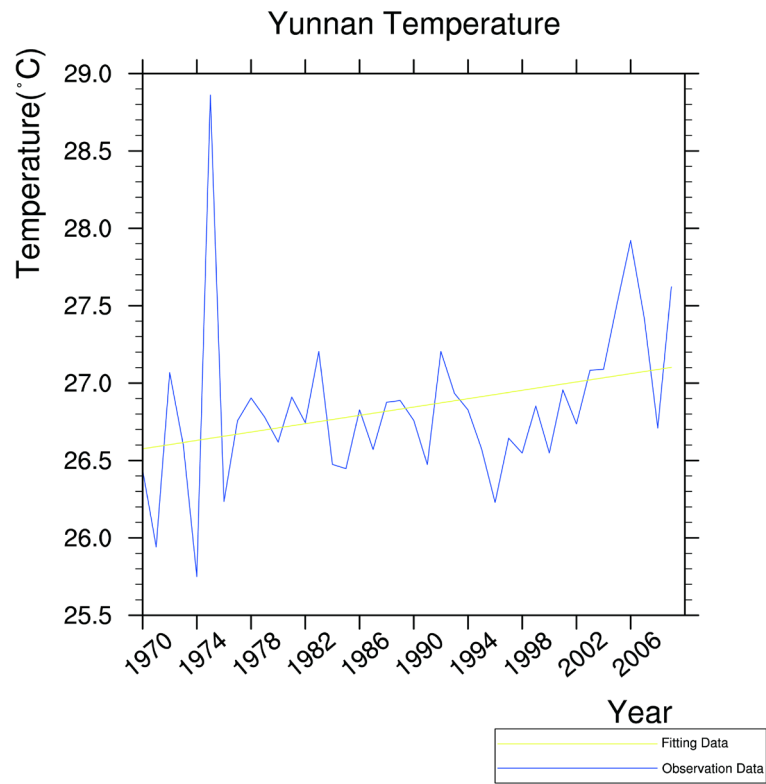


Figure 7. The evolution and linear trend of the extreme high summer temperature in Yunnan province from 1970-2009
图 7. 1970~2009 年云南省夏季极端高温距平的演变及其线性趋势

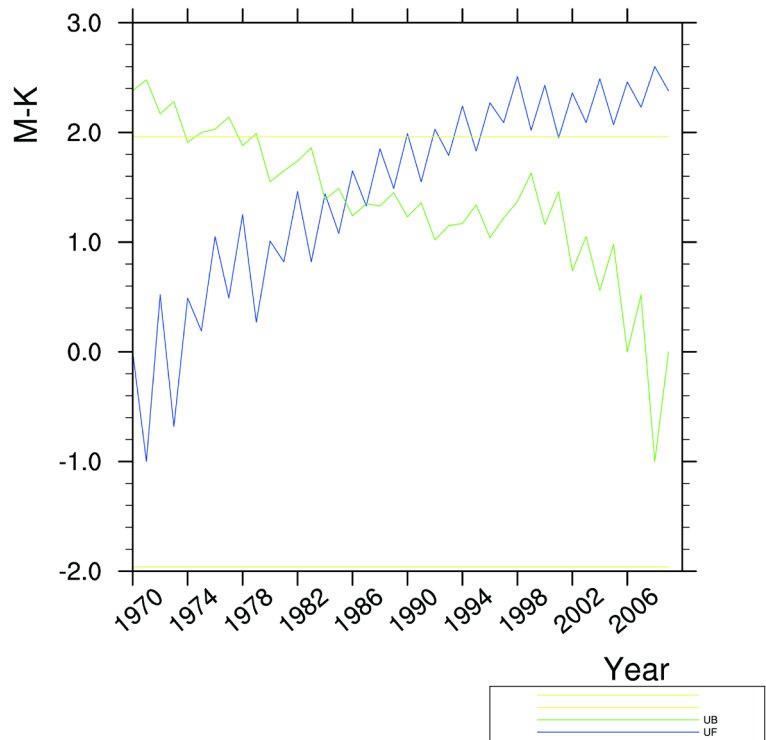


Figure 8. Analysis of extreme high temperature mutations in Yunnan province from 1970-2009
图 8. 1970~2009 年云南省极端高温突变分析

5. 结论

本文采用云南省国家一般气象站 1970~2009 年共计 40 年温度资料, 使用线性回归分析、EOF 分析、M-K 检验等统计分析方法, 对云南省夏季温度进行了分析, 得出以下结论:

(1) 云南省夏季极端高温空间分布不均匀, 气温由南向北逐渐递减, 由于受地形及纬度的影响, 夏季平均极端高温的最大值位于元江站。

(2) 从 1970~2009 年, 云南的夏季平均气温和极端高温均表现出明显的上升趋势。40 年夏季的平均温度上升了 1.2℃, 并且突变发生在 1990 年代初期。极端高温上升了 1℃, 突变发生在 1986 年左右。

(3) 在过去的 40 年中, 云南的极端最高温度变化率在云南南部和云南北部最大。

参考文献

- [1] China Meteorological Administration (2006) Climate and Environment in China. China Meteorological Press, Beijing.
- [2] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005(4): 791-798.
- [3] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005(6): 942-956.
- [4] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995(5): 525-534.
- [5] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994(12): 19-26.
- [6] 张先恭, 李小泉. 本世纪我国气温变化的某些特征[J]. 气象学报, 1982(2): 198-208.
- [7] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析[J]. 地理科学进展, 2008(5): 19-26.
- [8] 何萍, 李宏波, 束炯, 等. 楚雄市城市气候特征分析——兼谈中国主要城市热岛强度对比分析[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 712-720.
- [9] 何云玲, 鲁枝海. 近 60 年昆明市气候变化特征分析[J]. 地理科学, 2012, 32(9): 1119-1124.
- [10] 卜明, 李爱国. 1960-2012 年云南省年际气温与降水量的区域性变化特征[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(8): 130-136.
- [11] 段旭, 陶云. 云南近 50 年来的气候变化[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 243-250.
- [12] 尤卫红, 段旭, 邓自旺, 伍从斌. 全球、中国及云南近百年气温变化的层次结构和突变特征[J]. 热带气象学报, 1998(2): 78-85.
- [13] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003(S1): 1-10.
- [14] 马柱国, 符淙斌, 任小波, 杨赤. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系[J]. 地理学报, 2003(S1): 11-20.
- [15] 杨萍, 刘伟东, 王启光, 熊开国, 侯威. 近 40 年我国极端温度变化趋势和季节特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 29-36.
- [16] 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 1951-2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. 气候与环境研究, 2005(4): 728-735.
- [17] 于淑秋. 近 50 年我国日平均气温的气候变化[J]. 应用气象学报, 2005(6): 787-793.
- [18] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997(4): 35-46.
- [19] 任福民, 翟盘茂. 1951-1990 年中国极端气温变化分析[J]. 大气科学, 1998(2): 89-96+98-99.
- [20] 马振锋, 彭骏, 高文良, 田宏. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006(4): 633-642.
- [21] 班军梅, 缪启龙, 李雄. 西南地区近 50 年来气温变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2006(3): 346-351.
- [22] 袁文德, 郑江坤. 1962-2012 年西南地区极端温度事件时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1246-1254.
- [23] 罗燕, 田永丽, 戴敏, 陈新梅. 云南近 50 年极端气温及降水事件变化特征与区域气候变暖的关系[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2015, 37(6): 870-877.
- [24] 王晓, 李佳秀, 石红彦, 王纪伟, 梁贻仓. 1960-2011 年云南省极端气温事件的时空分布及趋势预测[J]. 资源科学, 2014, 36(9): 1816-1824.

- [25] 张万诚, 郑建萌, 马涛, 任菊章. 1961-2012 年云南省极端气温时空演变规律研究[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 710-722.
- [26] 杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 赵焕. 云南省 1958-2013 年极端气温时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(3): 523-536.