

# 近 60 年昆明市气候变化特征分析

何云玲, 鲁枝海

(云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 利用线性倾向率、Mann-Kendall 非参数检验、滑动 T 检验(MTT法)和小波分析等数理统计分析方法, 分析昆明市近 60 a 气候变化趋势和气候突变特征。结果显示: 近 60 a 昆明市气候变化呈气温升高、降水量略微减少的暖干化趋势; 气温上升率  $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 降水量下降率  $3.89\text{ mm}/10\text{ a}$ ; 干季增温强于雨季, 而雨季降雨量下降趋势明显; 2001~2010 年是近 60 a 来昆明气温最高、降水量最少的 10 a; 昆明市气温变化包含 5~10、10~15 a 左右周期, 其降水量变化有 10~15 a 左右的周期变化特征。

**关键词:** 气候变化; Mann-Kendall 非参数检验法; 滑动 T 检验法; 小波分析; 昆明

**中图分类号:** P467      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2012)09-1119-06

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化, 自 1860 年以来全球地表温度升高  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 变暖幅度自 20 世纪 90 年代以来明显加速, 最暖的 12 a 有 11 a 出现在 1995~2006 年间; 许多热带地区降水量增多, 副热带大部份地区降水量减少, 高纬度地区降水量趋于增多<sup>[1]</sup>。气候变化对人类生存、经济社会发展等会带来极其深远的影响, 这是国际社会公认的环境问题<sup>[2-5]</sup>。与全球变化相应, 中国的气候也发生显著深刻的变化, 近百年气温上升了  $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ , 近 50 a (1956~2005 年) 增暖尤其明显, 温度升高了  $1.25^{\circ}\text{C}$ ; 而同时全国年降水量呈减少趋势, 西部降水量增长趋势明显, 其中最明显的是西北地区, 但西南一些地区有减少趋势<sup>[6,7]</sup>。

气候变化对中国经济与社会的可持续发展带来了十分严峻的挑战, 这种现实威胁不断加剧。同国外相比, 中国气候变化研究起步较晚, 由于缺少长期实地观测资料, 许多研究结果还非常不完善, 存在很多不确定性。而且中国地域广阔, 在大气环流控制下, 受地形、自然条件的变更、人为活动的影响, 全球升温下区域变化有各自的敏感性, 气候变化在时空上存在着不同步现象, 气候变化区域响应的差异性普遍存在的<sup>[8-11]</sup>。精

确评估中国各区域气候变化的事实、原因以及影响, 可为增强国家适应长期气候变化影响的能力, 推迟或避免气候变化对国家生态安全所产生的威胁, 实现社会、经济和环境可持续发展提供参考依据。

昆明市位于中国西南边陲、云贵高原中部, 是云南省省会; 作为云南省唯一的特大城市, 昆明市是云南省以及西部地区重要的政治、经济、文化、科技、交通中心之一。昆明市属亚热带气候带, 三面环山, 南濒滇池; 具有四季温差小, 干湿季分明, 日照长, 霜期短, 静风频率高, 垂直变化显著的低纬高原山地季风气候特征。在全球变暖的大背景下, 昆明市的气候也发生着变化, 目前关于昆明地区气候变化方面的研究, 已有气象工作者做过一些云南省不同地区的比较研究<sup>[12,13]</sup>, 所用资料样本较短, 而且对其气候演变趋势及气候突变研究还不多见, 而常常人们所关心的是与生产生活密切相关的周围一定区域气候的变化情况。对于气候变化来说, 气温和降水是非常重要的气候要素, 因此本文主要针对这两个重要的气候要素在昆明市长期变化特征进行分析研究, 这对昆明市短期气候预测, 以及采取有效措施应对气候变化具有十分重要的实际意义。

**收稿日期:** 2011-11-25; **修订日期:** 2012-01-10

**基金项目:** 云南省自然科学基金项目(2011FB009)资助。

**作者简介:** 何云玲(1978-), 女, 云南大理人, 博士, 副教授, 主要研究领域为城市生态气候。E-mail: hyl@xtbg.ac.cn

## 1 数据资料来源与处理方法

昆明气象站(WMO ID 56778, 东经  $102^{\circ}41'$  E, 北纬  $25^{\circ}01'N$ , 1 892.4 m)是国家气象综合性的观测基地站之一,是国际气象资料交换网络所属的国际标准气象站,有完整的气象观测资料序列,自建站后从未迁站,代表着中国云南中部的气候状况和变化趋势。本研究所用的逐月平均气温、降水量资料来自于云南省气象局和中国气象科学数据共享服务网,数据集由各省上报的全国地面月报信息化文件根据《全国地面气候资料统计方法》及《地面气象观测规范》有关规定进行整编统计而得,通过均一性检验和质量控制,所用时段为1951~2010年。因为昆明地区受西南季风的影响,冬季受干暖季风环流控制,天气晴朗干燥;夏季受湿热季风环流控制,云雨较多,一年中降水变化显著,干湿分明,通常雨季降水量占全年的85%左右,因此统计中分为雨季(5~10月)、干季(11月至次年4月)进行。

对昆明气象站1951~2010年的气温、降水资料计算其逐年、季平均值,采用5 a滑动平均距平分析、气候倾向率分析其气候变化趋势特征,计算结果的显著性用F检验和Mann-Kendall非参数检验其置信度。气候突变特征分析则先采用Mann-Kendall法检验后<sup>[14]</sup>,对序列突变点和可能突变点,再利用滑动T方法进行检验;这样可验证突变点真伪,增强突变分析结果的可信度<sup>[15]</sup>。此外,文中采用Morlet小波分析法<sup>[16]</sup>,分析近60 a昆明市气候变化的周期性。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候变化趋势分析

1) 气温。昆明市1951~2010年平均气温为15.09℃,从多年变化趋势来看(图1),年平均气温基本呈逐年升高的趋势,近60 a中,年平均气温最高出现在2005年,为16.7℃,最低出现在1971年,为13.7℃。1951~2010年平均增温率为0.24℃/10 a,这一结论与任国玉等研究全国同期1951~2004

年平均气温上升率0.25℃/10 a的结果相似<sup>[17]</sup>,说明总体上昆明地区气温变化与全国气温变化保持一致。通过F显著性检测和Mann-Kendall非参数检验,1951~2010年昆明年平均气温增温趋势达到 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验,为显著增温。

分析昆明市近60 a来各个年代的年平均气温变化情况(表1):20世纪50~70年代年平均气温呈现下降趋势,20 a间年平均气温总体下降0.8℃,下降倾向率为0.4℃/10 a。70年代达到近60 a来昆明的年平均气温最低值。70年代后至今年平均气温一直表现为逐年上升趋势,40 a间上升1.76℃,上升倾向率为0.44℃/10 a,2001~2010年为昆明地区近60 a来气温最高的10 a。

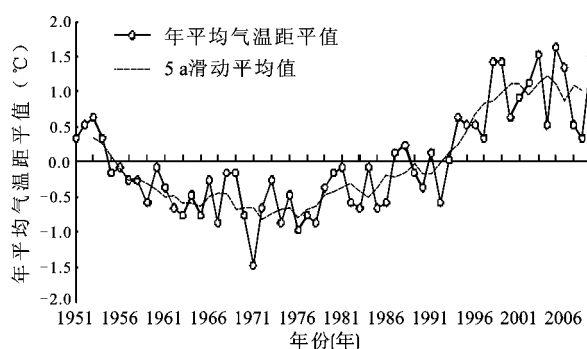


图1 1951~2010年昆明年平均气温距平值逐年变化

Fig. 1 Annual variation of air temperature anomalies in Kunming in 1951-2010

昆明市近60 a的干季、雨季平均气温变化特征(图略)基本和全年保持一致,都表现为总体上升趋势。但雨季上升速度较全年低,近60 a总体上升1.05℃,上升倾向率为0.18℃/10 a;干季的上升速度比全年高,近60 a上升1.68℃,上升倾向率为0.29℃/10 a。通过F检验和Mann-Kendall非参数检验,雨季和干季的增温趋势均达到 $\alpha=0.01$ 显著性水平,为显著增温。

2) 降水量。近60 a昆明市平均年降水量为994.69 mm,年降水量最高出现在1999年,为1 449.9 mm,最低出现在2009年,为565.8 mm。多年变化趋势结果显示(图2),年降水量呈现波动中

表1 昆明年平均气温与年降水量的年代际变化

Table 1 The annual average air temperature and annual precipitation during the different stages of Kunming

年代(年)	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010
年平均气温(℃)	15.12	14.61	14.32	14.81	15.48	16.08
年降水量(mm)	974.77	1002.78	1049.45	943.19	1058.86	937.09

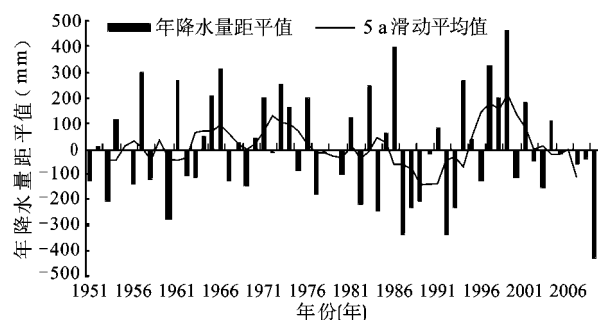


图2 1951~2010年昆明年降水量距平值逐年变化

Fig.2 Annual variation of precipitation anomalies in 1951-2010 in Kunming

小幅度的下降趋势,1951~2010年总体下降22.54 mm,下降倾向率为3.89 mm/10 a,这一结论与任国玉等得出的全国1951~2004年降水量呈现小幅增加趋势的分析结论刚好相反<sup>[7]</sup>,而与近年云南省干旱多发的背景相呼应。通过F检验,降水量下降趋势显著性水平不足0.05,说明降水整体减少趋势不显著。然而降水量波动却很剧烈,从各个年代的平均年降水量变化(表1)看出:近60 a各个年代降水量波动很大,20世纪50~70年代降水量逐年增加,20 a间增加了74.68 mm,增加倾向率为37.34 mm/10 a;70~80年代降水量剧烈减少,10 a间下降106.26 mm,下降倾向率达到106.2 mm/10 a;80~90年代降水量又大幅度增加,10 a间增加115.67 mm;90年代到21世纪初降水量再度急剧下降,10 a间下降121.77 mm,2000~2010年达到昆明近60 a来降水量的最低值时段。

分析近60 a昆明地区干、雨季的降水量变化(图略),结果显示:雨季降水量呈现小幅下降趋势,下降倾向率7.26 mm/10 a,是全年下降倾向率的两倍。而干季降水变化情况和全国的一致,呈现出小幅增加趋势,增加倾向率为3.37 mm/10 a。根据F检验显示干季和雨季都是属于小幅不显著变化。说明近60 a昆明地区年降水量小幅减少是由雨季降水量减少引起的。

## 2.2 气候突变特征分析

1) 气温。根据Mann-Kendall突变检验结果(图3):昆明市1951~2010年平均气温的正序列曲线UF很大部分超过0.05显著性水平的信度线,表明气温突变趋势显著。除去起始点,正序列曲线UF和反序列曲线UB有两个交点,其中一个在0.05显著性水平临界线范围内,另一个在临界线范围外。从突变检验得出可能的突变点为1954、

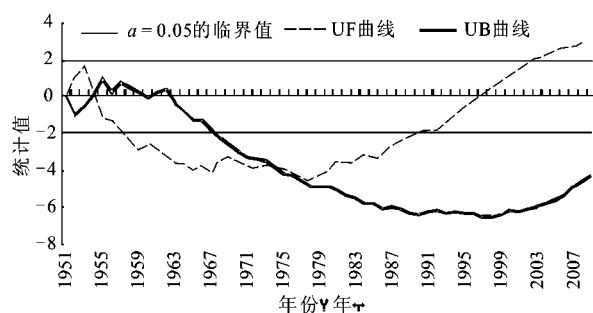


图3 昆明年平均气温突变的Mann-Kendall检验

Fig.3 Abrupt change of annual average temperature in Kunming using Mann-Kendall test

1975年;可能的突变时间区域为1957~1990年和2003~2009年。基于上述Mann-Kendall突变检验的结果,对可能的突变点和时间区域做滑动T检验,检验结果显示1954年突变显著性水平为0.25不足0.05,突变不显著;1975年突变显著性水平达到0.05,突变显著;1957~1990年以及2003~2009年突变显著水平均达到0.01,突变非常显著。综上所述,1975年是突变点,是气温逐渐升高的开始。1957~1990年和2003~2009年是突变时间区域,分别是昆明近60 a来冷期和暖期的体现。

2) 降水量。根据Mann-Kendall突变检验结果,1951~2010年昆明年降水量的正序列曲线UF只有1962~1965年时间区域超过0.05显著性水平的信度线,正序列曲线UF和反序列曲线UB有5个有效的交点(图4),因此得出近60 a昆明降水量变化存在可能的突变点为1968、1970、1989、2001、2004年;可能的突变时间区域为1962~1965年。基于Mann-Kendall突变检验结果,对可能的突变点和时间区域做滑动T检验,检验结果显示只有2004年是真正的突变点,显著性水平达到0.05,为

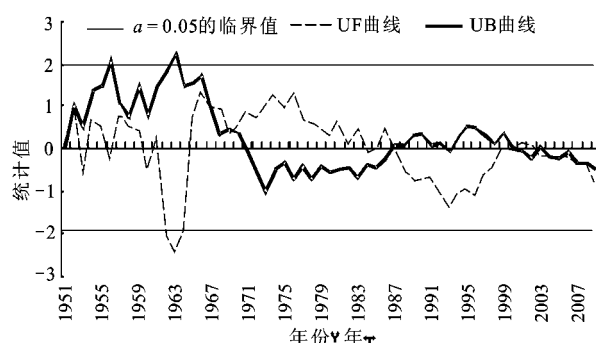


图4 昆明年降水量突变的Mann-Kendall检验

Fig.4 Abrupt change of annual precipitation in Kunming using Mann-Kendall test



降水量逐渐减少的开始。其他点的突变显著性水平平均不到0.1,不是突变点。

3) 气温和降水量变化的周期性。图5为昆明市近60 a气温和降水量在不同时间尺度上的周期振荡。图中信号的强弱通过小波系数的大小来表示。可见,昆明市年平均气温从20世纪50年代开始减少,70年代气温较低,2000年之后气温升高,其中50~70年代间主要存在5~10 a左右的周期振荡,1980~2000年间主要存在10~15 a左右的周期振荡(图5a)。昆明市年降水量主要存在10~15 a左右的周期振荡(图5b),尤其在1950~1990年最为明显,2004年之后降水量有减少趋势。

### 3 小结与讨论

1) 从不同气候要素来看:1951~2010年昆明市年平均气温上升1.39℃,平均增温率为0.24℃/10 a,表现为显著性水平0.01的明显增温趋势;年降水量总体下降了22.54 mm,下降倾向率为3.89 mm/10 a,表现为显著性水平0.1的不显著小幅下降趋势。总体来说,近60 a来昆明市气候变化呈现气温升高、降水量略微减少的暖干化趋势。

2) 从不同季节来看:干季气温增温率强于雨季;而雨季降水量呈现下降趋势,干季降水量呈现小幅增加趋势,近60 a来昆明市年降水量小幅减少是由雨季降水减少引起的。

3) 从不同年代来看:1975年是气温的突变点,是气温逐渐升高的开始。同时1957~1990年和2003~2009年是两个突变时间区域,分别是昆明近60 a来冷期和暖期的体现。2004年是降水趋势变化的突变点,是降水逐渐减少的开始。总体来说,2001~2010年是近60 a来昆明市气候变化中气温最高、降水最少的10 a。

4) 从周期性来看:昆明市气温变化包含了5~10、10~15 a左右的周期,其降水具有10~15 a的

周期变化特征。

全球气候变化在世界各地反映的强度不一,影响程度也有差异。已有学者研究表明,过去40多a来,云南省大部分地区气温呈显著升高趋势,平均每10 a增温0.3℃,增温幅度较大的是云南西北部和南部地区,东部和东北部增温幅度较小,而金沙江河谷和元江河谷地区呈现出降温趋势<sup>[18-20]</sup>;云南省大部分地区夏秋季降水减少,春冬季降水增加<sup>[21-23]</sup>。在全球气候变暖的背景下,昆明市近60 a来的气候变化以变暖为总趋势,与全球、中国的变化趋势基本一致,而且与全国年平均气温的增长率相似,变暖幅度自也与全球20世纪90年代以来明显加速的结论一致,但是增温率略小于云南省的平均水平,而且冬春干季气温增温率强于夏秋雨季。降水量的变化总体上呈现减少趋势,但其变化的规律性明显小于气温。

至于气候变化的主要原因,Sahai总结了近几十年来气候变化的研究结果归结为:① 火山喷发等自然原因和人类活动等原因造成的大气组成成分的变化(大气二氧化碳、臭氧、气溶胶等比例的变化);② 土地利用(森林砍伐,荒漠化)等引起的地表性质改变;③ 城市热岛效应<sup>[24]</sup>。除了受气候的影响,各地区不同的地形地貌、海拔高度、自然环境条件的变更、以及人类活动影响的加剧等等都是导致区域气候发生变化的重要因子,而且这些因子在各个区域的影响程度大小表现不同,也是产生区域气候变化不一致的原因。区域气候变化的原因一直是科学界争论的焦点。由于本研究区地处中国西南边陲,没有长期足够的区域相关的气溶胶、云量、人类活动、土地利用的观测数据,王学峰等、唐国利等仅对近年来城市化对昆明气温变化的影响作了初步探讨<sup>[25,26]</sup>,热岛效应对昆明地区气候变化的贡献程度还没有确定。关于昆明气候变化的原因,仍待进一步的研究。

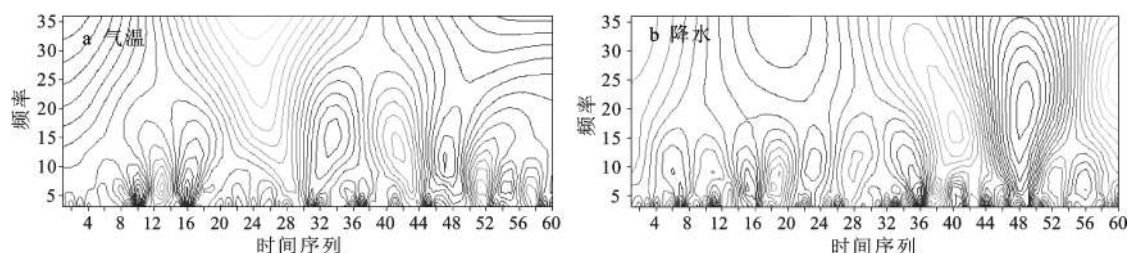


图5 昆明市气温和降水量的小波分析

Fig.5 Wavelets analysis of annual mean temperature and precipitation in Kunming

但是昆明地区气候变化的事实是显见的,对其气候变化特征的分析研究反映其对全球变化的响应。近 60 a, 尤其 20 世纪 90 年代后气候明显开始变暖、2000 年之后降水有所减少对区域生态环境的变化必然有着不可忽视的影响; 由于局地条件不同, 造成气候变化的原因又多样, 加之气候因子与其他环境要素相互作用共同影响, 对于一个特定地点的气候变化原因的机制还有待深入探讨。确认气候变化的事实, 对气候变化特征研究的最终目的在于探讨其对生态系统以及人类生产生活的影 响及其反应, 为下一步研究提供基础。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Brunetti M, Buffoni L, Mangianti F, et al. Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy[J]. Global and Planetary Change, 2004, **40**(1):141-149.
- [3] Schönwiese C D, Grieser J, Trömel S. Secular change of extreme monthly precipitation in Europe[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2003, **75**(3):245-250.
- [4] Davson J P, Racherla P N, Lynn B H, et al. Simulating present-day and future air quality as climate changes: Model evaluation[J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(2):4551-4566.
- [5] 丁一汇, 任国玉. 中国气候变化科学概论[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [6] 赵宗慈, 王绍武, 罗 勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, **3**(3):183-184.
- [7] 方修琦, 张学珍, 戴玉娟, 等. 1951~2005 年中国大陆冬季温度变化过程的区域差异[J]. 地理科学, 2010, **30**(4):571-576.
- [8] 叶正伟, 吴 威. 庐山旅游区气候变化特征及其影响因素分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(10):1221-1227.
- [9] 姜德娟, 李 志, 王 昆. 1961~2008 年山东省极端降水事件的变化趋势分析[J]. 地理科学, 2011, **31**(9):1118-1124.
- [10] 张立伟, 宋春英, 延军平. 秦岭南北极气温的时空变化趋势研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(8):1007-1111.
- [11] 任永建, 陈正洪, 肖 莺, 等. 武汉区域百年地表气温变化趋势研究[J]. 地理科学, 2010, **30**(2):278-285.
- [12] 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, **27**(5):19-26.
- [13] 程建刚, 王学锋, 范立张, 等. 近 50 年来云南气候带的变化特征[J]. 地理科学进展, 2009, **28**(1):18-28.
- [14] 解明恩, 张万成. 云南短期气候预测方法与模型[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [15] 尹云鹤, 吴绍洪, 陈 刚. 1961~2006 年我国气候变化趋势与突变的区域差异[J]. 自然资源学报, 2009, **24**(12):2147-2157.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(2 版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [17] 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, **63**(6):943-956.
- [18] Fan Z X, Achim Bräuning, Axel Thomas, et al. Spatial and temporal temperature trends on the Yunnan Plateau (Southwest China) during 1961-2004[J/OL]. International Journal of Climatology, 2010, doi: 10.1002/joc.2214.
- [19] 黄中艳. 1961~2007 年云南干季干湿气候变化研究[J]. 气候变化研究进展, 2010, **6**(2):113-118.
- [20] 郑建萌, 任菊章, 张万诚. 云南近百年来温度雨量的变化特征分析[J]. 灾害学, 2010, **25**(3):24-31.
- [21] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J]. 地理科学, 2007, **27**(4):499-505.
- [22] 陶云, 何 华, 何 群, 等. 1961~2006 年云南可利用降水量演变特征[J]. 气候变化研究进展, 2010, **6**(1):8-14.
- [23] 刘 瑜, 赵尔旭, 黄 玮, 等. 云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析[J]. 灾害学, 2010, **25**(1):39-35.
- [24] Sahai A K. Climate change: A case study over India[J]. Theoretical and Applied Climatology, 1998, **61**(3):9-18.
- [25] 唐国利, 任国玉, 周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列的影响[J]. 应用气象学报, 2008, **19**(6):722-730.
- [26] 王学锋, 周德丽, 杨鹏武. 近 48 年来城市化对昆明地区气温的影响[J]. 地理科学进展, 2010, **29**(2): 145-150

## Climate Change Trends and Characteristics of Kunming in Recent 60 Years

HE Yun-ling, LU Zhi-hai

(School of Resources Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091, China)

**Abstract:** It is noted that the climate change is not globally uniform. Regional variations can be much larger and considerable spatial and temporal variations may exist among climatically different regions. In addition, climate change in a specific region or nation is of particular interest to that region and its economic activity. Archival meteorological data of monthly air temperature and precipitation series were used to investigate climate change trends and characteristics in 1951-2010 of Kunming, which is located in the low-latitude plateau region of southwest China. The magnitude of a trend was estimated using linear regression analysis and the station significance of a trend was assessed by the M-K test and MT-test. Furthermore, the periodicity of a series was probed by Morlet wavelet transform. The results show that the climate change presents increasing air temperature and decreasing precipitation in the past 60 years in Kunming region. The annual mean temperature increased at the trend rate of  $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  at the significance level  $\alpha=0.01$ . The annual precipitation decreased at the rate of  $3.89\text{ mm}/10\text{ a}$ . The increasing trend of air temperature is more obvious in dry season than rainy season, but decline rate of precipitation is obvious in rainy season than dry season. In the first 10 years of 21st century, Kunming experienced much more severe temperature increase and precipitation decrease than in other periods over the observation period of 60 years. In addition, annual mean temperature of Kunming exits two evident characteristic time scale with 5-10 years and 10-15 years. The periodic variations of annual precipitation time series are localized in 10-15 years.

**Key words:** climate change; Mann-Kendall nonparametric; moving T-test; wavelet analysis; Kunming