

Analysis of Characteristics of Precipitation Change in Kunming during Recent 59 Years

Li Xu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: xuli2cuit@outlook.com

Received: Oct. 14th, 2019; accepted: Oct. 29th, 2019; published: Nov. 5th, 2019

Abstract

Using monadic linear regression analysis method, Mann Kendall nonparametric test and wavelet analysis on the rainfall characteristics of Kunming in 1960-2018 are analyzed, and the results show that the annual precipitation and annual precipitation days in Kunming from 1960 to 2018 generally showed a downward trend, but the annual precipitation decline trend was not significant. The annual precipitation intensity and the annual maximum daily precipitation were generally increasing, but the trend of increase was not significant. About 59a, the annual precipitation changed for the first time in 1976-1977, for the second time in 1993-1994, and for the third time in 1999. The number of annual precipitation days began to change dramatically in 1993. In the evolution process of annual precipitation of nearly 59a, there are mainly periodic changes in the five time scales of 26-30a, 16-22a, 8-12a, 5-7a and 3-4a, and the first main cycle 29a is characterized by "small-large-small".

Keywords

Kunming, Precipitation, Climate Change Characteristics

近59年昆明市降水变化特征分析

徐立

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: xuli2cuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月14日; 录用日期: 2019年10月29日; 发布日期: 2019年11月5日

摘要

本文利用一元线性回归分析方法、Mann-Kendall非参数检验和小波分析对昆明1960~2018年的降水特征进

行了分析, 研究表明: 昆明市1960~2018年年降水量、年降水日数大致呈下降的趋势, 但年降水量下降趋势不显著, 年降水强度、年最大日降水量均大致呈升高的趋势, 但两者升高趋势均不显著。近59a, 年降水量在1976~1977年间第一次产生突变, 在1993~1994年第二次产生突变, 在1999年第三次产生突变。年降水日数在1993年开始产生突变。近59a的年降水量演化过程中主要存在着26-30a、16-22a、8-12a、5-7a、3-4a这5类时间尺度的周期变化规律, 且第一主周期29a以“降水量少-降水量大-降水量少”为特征。

关键词

昆明, 降水, 气候变化特征

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

在联合国政府间气候变化专门委员会第五次评估报告 2014 中指出: 工业革命后, 自 1880~2012 年, 132 年间地表平均温度增加了 0.85°C [1]。2016 年, 全球平均气温达到有气象观测记录以来的最高水平, 气候变化指标上升至新水平[2]。近百年来, 地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。我国气候变化趋势与全球气候变化趋势基本相一致[3]。越来越多的证据表明, 全球频繁出现的极端天气事件与气候变化有关。由气候变化引发的极端天气不仅会对人类健康产生影响, 还会对农业和自然生态系统产生影响[4] [5] [6]。因此, 气候变化成为当今社会关注与研究的热点话题。

昆明位于我国云南省, 地处低纬、高海拔地区, 在云贵高原中心, 南濒滇池, 三面环山, 属亚热带季风气候区, 受大气环流、地理位置和海拔高度的共同影响, 形成四季如春的气候环境。对于昆明气候的研究由来已久, 陈辉等[7]利用 1951~1990 年 40a 气象观测资料对昆明地区的气候变化时间序列进行了多重分维计算与分析, 有利于认识昆明气候变化内在的规律性和制约机制, 在预测昆明未来气候的演变趋势等方面具有重要的指导意义。何云玲等[8]利用线性倾向率、Mann-Kendall 非参数检验、滑动 T 检验和小波分析等数理统计分析方法, 分析了昆明市近 60a 气候变化趋势和气候突变特征。杨蓉等[9]利用昆明气象站 1951~2013 年逐日气温和降水资料, 采用线性趋势、Sen 斜率估计、Mann-Kendall 等方法分析了昆明降水、气温和极端天气的变化特征与趋势。吴亮等[10]通过昆明 1951~2016 年的气候数据研究昆明的气候变化特征。张一平等[11]、施晓辉等[12]考虑了城市化效应, 对昆明城市气候做了分析与研究。彭妮等[13]也考虑了城市化效应, 利用昆明及周边 3 个观测站 1961~2010 年的相关气象资料, 对近 50a 昆明城市化气候变化特征及对未来趋势进一步进行了分析。尽管对昆明气候特征已有较多的分析, 但目前对于昆明降水变化特征的研究还较为缺乏, 因此开展昆明市降水变化规律研究具有重要意义。

2. 资料与方法

2.1. 资料

采用中国气象数据网提供的昆明站(56778 站)逐月气象资料, 时间为 1960~2018 年, 要素包括气温、相对湿度、降水、日照时数。

2.2. 方法

采用一元线性回归分析方法对昆明 1960~2018 年的降水进行趋势分析[14], 并对其进行 Mann-Kendall

非参数检验[15],最后使用小波分析[16]分析昆明年平均降水量的周期规律。

其中,小波分析公式为

$$W_f(a,b) = \int_R f(t) \bar{\varphi}_{ab}(t) dt, a > 0, b \in R \quad (1)$$

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

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

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 叫做平移参数。小波变换(1)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

$$W_p(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_p(\alpha, b)|^2 db \quad (3)$$

小波方差图反应了能量随尺度 a 的分布, 可以确定一个时间序列中各尺度扰动的相对强度, 进而确定一个时间序列中存在的主要周期。

3. 研究结果

3.1. 降水的年际变化特征

图 1~4 分别为年降水量、年降水日数、年降水强度以及最大日降水量年际变化曲线。由图中可知, 年降水量、年降水日数从 1960~2018 年大致呈下降的趋势, 但年降水量下降趋势不显著。年降水强度、年最大日降水量从 1960~2018 年均大致呈升高的趋势, 但两者升高趋势均不显著。进一步分析发现, 1960~2018 年降水量平均值为 994.7 mm, 最大值为 1449.9 mm, 出现在 1999 年, 最小值为 565.8, 出现在 2009 年, 一元线性回归方程的相关系数为 0.07, 未能通过 0.05 的显著性检验, 表示昆明近 59a 的年降水量下降趋势不显著(图 2)。由图 3 可知, 其相关系数为 0.484, 通过 0.05 的显著性检验, 表示昆明近 59a 的年降水日数下降趋势显著, 线性倾向率为 $-3.4d/10a$ 。近 59a 年降水日数平均值为 128d, 其中最大值为 159d, 出现在 1971 年, 最小值为 102d, 出现在 2009 年。由图 4 可知, 其相关系数为 $r = 0.186$, 未能通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验, 表示昆明近 59a 的年降水强度上升趋势不显著。近 59a 年降水强度平均值为 7.8 mm/d, 其中最大值为 11.2 mm/d, 出现在 1999 年, 最小值为 5.5 mm/d, 出现在 1987 年。

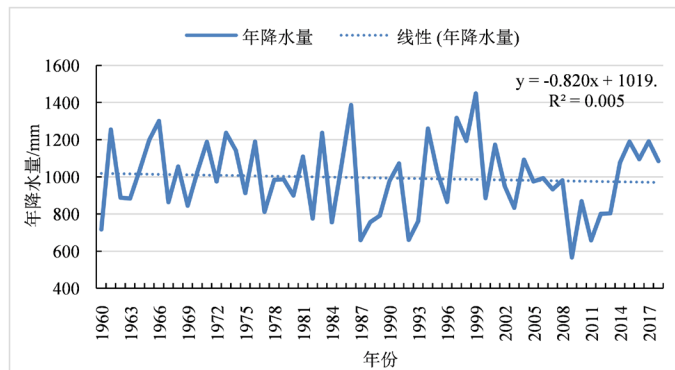


Figure 1. Annual precipitation from 1960 to 2018

图 1. 1960~2018 年年降水量

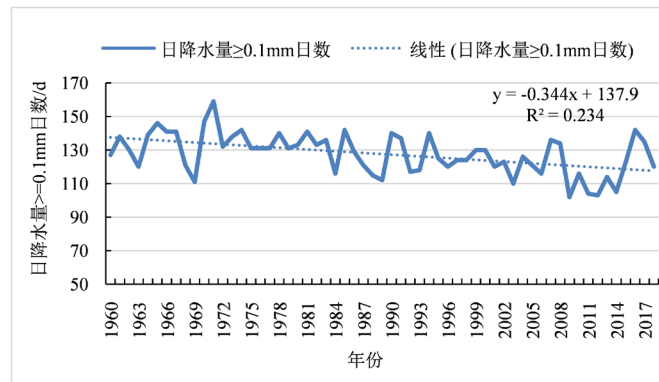


Figure 2. The number of precipitation days from 1960 to 2018

图 2. 1960~2018 年年降水日数

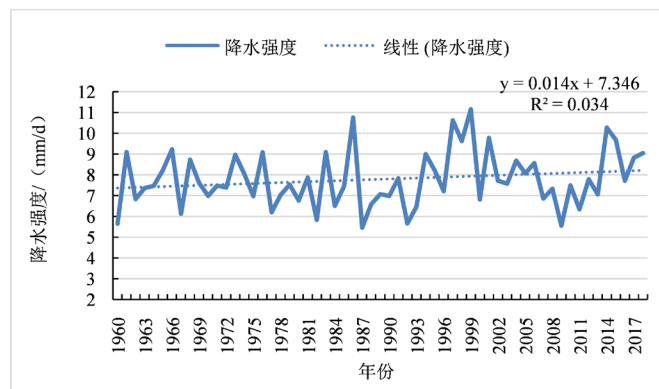


Figure 3. Annual precipitation intensity from 1960 to 2018

图 3. 1960~2018 年年降水强度

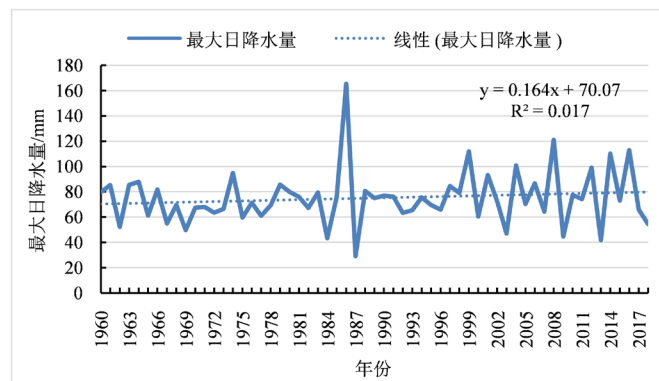


Figure 4. Annual maximum daily precipitation from 1960 to 2018

图 4. 1960~2018 年最大日降水量

3.2. 降水量的趋势变化

进一步对昆明市近几十年来年降水量、年降水日数的变化特征进行 M-K 突变检验。由年降水量的 M-K 突变检验结果(图 5)可知,在昆明 1960~2018 年年降水量 M-K 检测曲线中,UF(k)与 UB(k)第一次相交于 1976~1977 年,UF(k)与 UB(k)第二次相交于 1993~1994 年间,且在 1999 年第三次相交,第四次再次相交于 2017 年。结合年降水量的累积距平时间序列(图 6)可以发现,年降水量在 1976~1977 年间第一

次产生突变, 在 1993~1994 年第二次产生突变, 在 1999 年第三次产生突变。第四个交点不能确定为突变点。故可将降水量大致分为 4 个阶段, 1960~1976 年波动上升阶段、1977~1993 年波动下降阶段、1994~1999 年波动上升阶段、2000~2018 年波动下降阶段, 波动上升阶段对应着降水量的增加, 波动下降阶段对应着降水量的减少。图 7 为年降水日数的 M-K 突变检验结果。由图可知, UF(k)与 UB(k)交于 1993 年和 1995 年。进一步结合图 3 年降水强度的变化趋势可认为 1993 年为突变点, 自 1993 年之后, UF(k)始终小于 0, 且在 2002 年起, UF(k)超过下边的临界线, 即从 2002 年起, 年降水日数显著下降。即近 59a 年降水日数在 1993 年开始产生突变, 并自 2002 年开始, 年降水日数下降趋势显著。

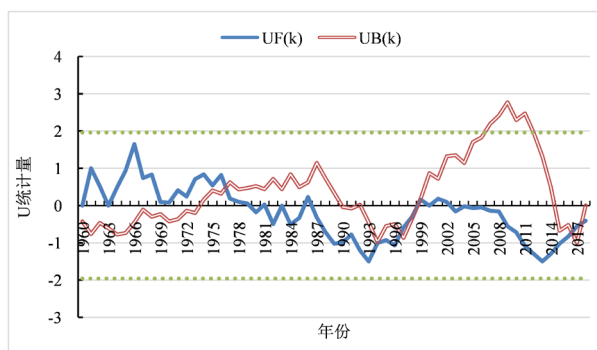


Figure 5. Annual precipitation M-K detection curve from 1960 to 2018

图 5. 1960~2018 年年降水量 M-K 检测曲线

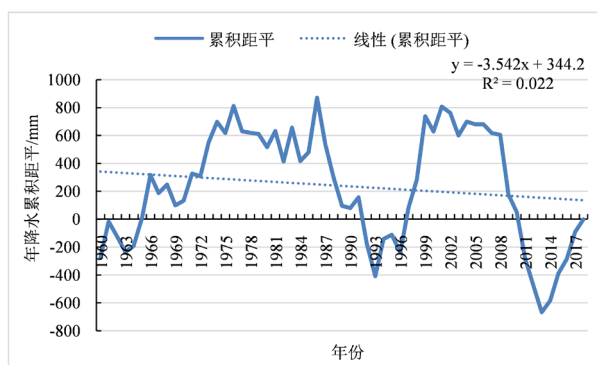


Figure 6. Cumulative precipitation anomaly from 1960 to 2018

图 6. 1960~2018 年降水量累积距平

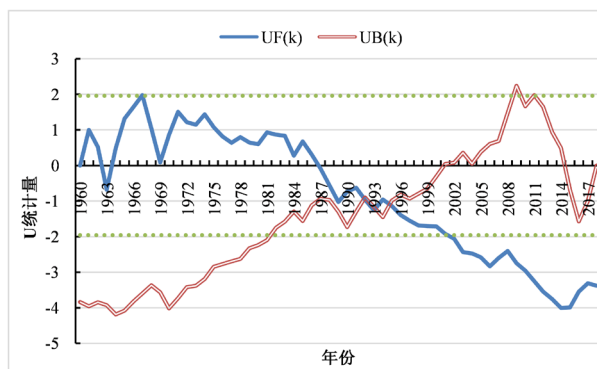


Figure 7. Annual precipitation days M-K detection curve from 1960 to 2018

图 7. 1960~2018 年年降水日数 M-K 检测曲线

图8为昆明市1960~2018年的年降水量小波分析结果。从图中可以发现,昆明市1960~2018年间年降水量演化过程中存在着多时间尺度的特征,其中主要存在着26~30a、16~22a、8~12a、5~a以及3~4a这5类时间尺度的周期变化规律。进一步由年降水量的小波方差(图9)可知,1960~2018年的小波方差存在5个较为明显的峰值,依次对应着4a、6a、10a、18a和29a的时间尺度,说明29a左右的周期震荡最强,为年降水量变化的第一主周期。18a、10a、6a和4a时间尺度分别对应着第二、三、四、五峰值,为年降水量变化的第二、三、四、五主周期。说明上述5个周期的波动控制着年降水量在1960~2018年的变化特征,且第一主周期29a以“降水量少-降水量大-降水量少”为特征。

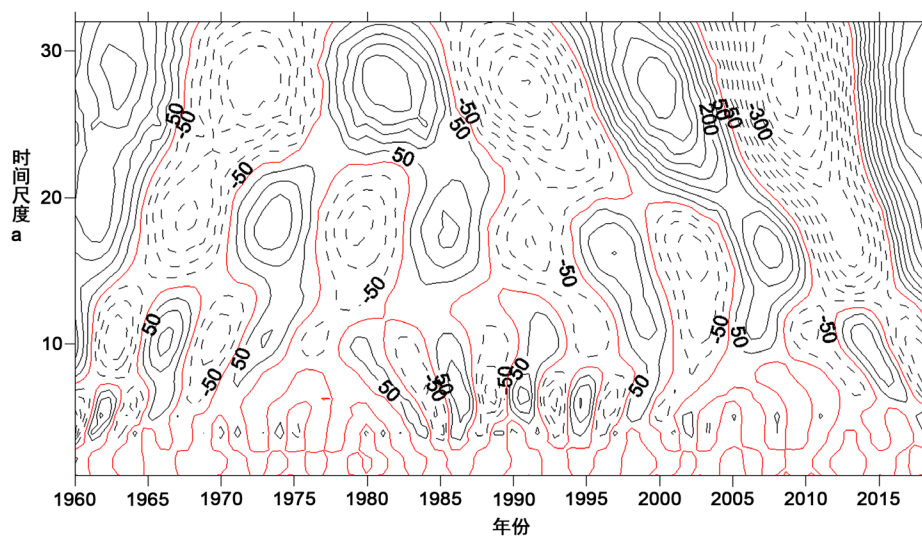


Figure 8. Real contour map of wavelet coefficients of precipitation variation from 1960 to 2018
图8. 1960~2018年年降水量变化小波系数实部等值线图

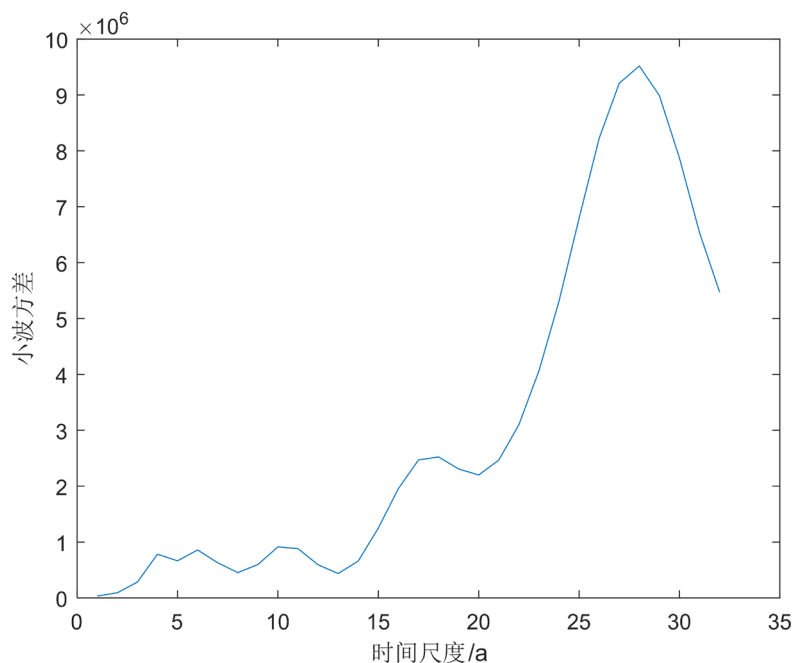


Figure 9. A small wave square chart of precipitation from 1960 to 2018
图9. 1960~2018年年降水量的小波方差图

4. 结论

采用一元线性回归分析方法对昆明 1960~2018 年的降水进行趋势分析, 并对其进行 Mann-Kendall 非参数检验, 最后使用小波分析探究降水的周期规律, 得出以下结论:

1) 昆明市 1960~2018 年年降水量、年降水日数大致呈下降的趋势, 但年降水量下降趋势不显著, 年降水强度、年最大日降水量均大致呈升高的趋势, 但两者升高趋势均不显著。

2) 近 59a, 年降水量在 1976~1977 年间第一次产生突变, 在 1993~1994 年第二次产生突变, 在 1999 年第三次产生突变。年降水日数在 1993 年开始产生突变。

3) 近 59a 的年降水量演化过程中主要存在着 26-30a、16-22a、8-12a、5-7a、3-4a 这 5 类时间尺度的周期变化规律, 且第一主周期 29a 以“降水量少 - 降水量大 - 降水量少”为特征。

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] 萧凌波, 闫军辉. 基于地方志的 1736-1911 年华北秋粮丰歉指数序列重建及其与气候变化的关系[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1777-1788.
- [2] 戚颖, 白雪峰, 李铁男. 气候变化对黑龙江省生育期内玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 254-263.
- [3] 张悦, 胡琦, 和骅芸, 潘学标, 马雪晴, 黄彬香, 王靖. 气候变化背景下华北平原冬小麦冬前生育期与节气对应及偏移分析[J]. 中国农业气象, 2019, 40(7): 411-421.
- [4] 曹艳萍, 庞营军, 庞肖杰. 1956-2017 年锡林郭勒盟气候变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 284-290.
- [5] 窦小东, 黄玮, 易琦, 刘晓舟, 左慧婷, 李蒙, 李忠良. LUCC 及气候变化对澜沧江流域径流的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(13): 4687-4696.
- [6] 马学志, 王永波, 赵辰辰, 倪振宇. 青藏高原东南部巴松措现代沉积过程及其对气候变化的响应[J]. 湖泊科学, 2019, 31(4): 1169-1181.
- [7] 陈辉, 郭世昌. 昆明地区气候变化的多分形特征[J]. 气候与环境研究, 1997(4): 40-47.
- [8] 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.
- [9] 杨蓉, 王龙, 申官正, 王莹, 王琳. 昆明地区降水、气温及极端天气的长期变化趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(6): 45-49.
- [10] 吴亮, 董草, 庞磊, 曾双贝. 近 65 年昆明气候变化及其海绵城市技术探析[J]. 施工技术, 2017, 46(S1): 1243-1247.
- [11] 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, 11(3): 96-102.
- [12] 施晓晖, 顾本文. 昆明城市气候特征[J]. 气象, 2001, 23(3): 38-41.
- [13] 彭妮, 周泓, 李江林, 王一鸣, 黎云霞. 昆明近 50 年城市化气候变化特征及未来趋势[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(30): 171-174.
- [14] Kahya, E. and Kalayci, S. (2004) Trend Analysis of Stream Flow in Turkey. *Journal of Hydrology*, **289**, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006>
- [15] 魏凤英. 现代气候统计与预测技术[M]. 第二版. 北京: 气象出版社, 2008: 106-112.
- [16] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金, 2003(1): 3-5.