Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2026, 15(6), 1243-1256
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2026.156131

Hans汉斯

铜仁机场2010年~2025年降水特征分析

杨　艳，梅雨婷

贵州省铜仁凤凰机场有限责任公司，贵州　铜仁

收稿日期：2026年10月5日；录用日期：2026年11月4日；发布日期：2026年11月10日

摘　要

本文基于铜仁机场基准观测点自动观测站2010~2025年逐日降水数据，利用线性回归、Morlet小波分析、Mann-Kendall突变检验等方法对降水特征进行分析。结果表明：铜仁机场降水丰沛，呈波动性变化，年降水量减少趋势不明显，冬季降水量总体以61 mm/10 a的速率显著增多。降水量年内分布呈单峰型，峰值为6月，5月次之，主要出现在春夏季节(占比70%)。降水日数年内呈双峰值分布，3~5月最多，6月次之。暴雨量和暴雨日数的月分布均呈单峰值分布，在4~10月出现，峰值为7月，6月次之，主要集中在夏季，年平均贡献率分别为23%、2.3%，暴雨对年降水量的影响十分显著。突变检验显示，冬季降水量在2015年突变增多，秋季降水量在2016年突变减少，暴雨量在2018年突变减少。降水量存在4~6 a与2~3 a两类时间尺度的周期振荡，主周期为4.5 a。

关键词

铜仁机场，降水，趋势分析，小波分析，Mann-Kendall突变检验

Analysis of Precipitation Characteristics of Tongren Airport from 2010 to 2025

Yan Yang, Yuting Mei

Guizhou Tongren Fenghuang Airport Co., Ltd., Tongren Guizhou

Received: October 5, 2026; accepted: November 4, 2026; published: November 10, 2026

Abstract

Based on the daily precipitation data of the automatic observation station of Tongren Airport from 2010 to 2025, the precipitation characteristics were analyzed by linear regression, Morlet wavelet analysis and Mann-Kendall mutation test. The results showed that the precipitation in Tongren Airport was abundant and fluctuated. The decreasing trend of annual precipitation was not obvious, and the precipitation in winter increased significantly at a rate of 61 mm/10 a. The annual distribution

文章引用: 杨艳, 梅雨婷. 铜仁机场 2010 年~2025 年降水特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(6): 1243-1256.
DOI: 10.12677/ccrl.2026.156131

of precipitation was unimodal, with the peak in June, followed by May, mainly in spring and summer (accounting for 70%). The number of precipitation days showed a double-peak distribution during the year, with the most in March-May and the second in June. The monthly distribution of rainstorm amount and rainstorm days showed a single peak distribution, which appeared from April to October, with the peak in July, followed by June, mainly concentrated in summer, and the annual average contribution rates were 23% and 2.3%, respectively. The impact of rainstorm on annual precipitation is very significant. The mutation test showed that the winter precipitation increased abruptly in 2015, the autumn precipitation decreased abruptly in 2016, and the rainstorm decreased abruptly in 2018. There are two kinds of periodic oscillations with 4~6 a and 2~3 a time scales in precipitation, and the main period is 4.5 a.

Keywords

Tongren Airport, Precipitation, Trend Analysis, Wavelet Analysis, Mann-Kendall Mutation Test

Copyright © 2026 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

降水现象是指液态或(和)固态的水汽凝结物或冻结物从云中或空中降落到地面的现象[1]。依据民用航空气象相关规范，以小时雨强划分降雨等级：小于或等于 2.5 毫米/小时为小雨，2.6 毫米/小时~8.0 毫米/小时为中雨，大于或等于 8.1 毫米/小时为大雨[1]。而中国气象部门则采用 24 h 累积降水量，将降水强度划分为小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨、特大暴雨六个等级。

降水从多方面对飞行造成不利影响：一方面易引发跑道湿滑、跑道积冰、飞机积冰、发动机性能受损、飞机阻力增加；另一方面降水会显著降低能见度，干扰飞行员目视判断。降水对飞行影响程度取决于降水强度、降水种类以及飞行阶段，其中强降水及其伴随的强对流天气风险最高，常导致航班延误、复飞或备降。同时，铜仁机场降水结束后近地面空气处于饱和状态，受地形条件影响易出现低云、低能见度天气，进一步加大航班运行保障压力。

近年来，气象专家们已经对不同地方的降水特征展开了深入的研究。张仁忠[2]、熊永花[3]等通过线性趋势、M-K 突变分析法等方法对贵州锦屏县、台江县的降水分别从年、季节、月尺度，剖析其变化特征。郑丽娟[4]、杨庭潇等[5]、彭淼机[6]、杨柳婧[7]分别对康定、重庆江北、南宁、湛江机场的降水采用线性回归分析法等方法分析了降水的年际、季节、月的变化特征以及变化趋势。已有研究表明，铜仁主城区短时强降水特征，主要集中在午后至次日凌晨[8]；铜仁市冬季降水周期在 10 年和 3 年[9]；铜仁区域短时强降水的局地性明显，5~8 月出现的频次较高[10]。

然而，铜仁机场地处梵净山东麓，其特殊地形条件使得地形抬升和辐合作用显著，降水对飞行安全影响重大，深入研究其降水形势特征有助于为铜仁机场精细化预报预警提供一定的参考。本文基于铜仁机场基准观测点自动观测数据，系统分析铜仁机场降水不同时间和季节尺度变化特征，以此为铜仁机场降水预报评估和防洪工作提供有力的依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料

本文基于 2010~2025 年铜仁机场 04 号跑道基准观测点自动观测站采集的逐日地面降水数据进行统

计分析，日降水量统计时段为北京时间当日 00 时至 24 时。定义春季为 3~5 月、夏季为 6~8 月、秋季为 9~11 月、冬季为 12 月~次年 2 月。

定义当日观测到降水，不论量大小，即日降水量 ≥0.0 mm 的日数为降水日数，年降水日数为全年出现降水的日数之和。我国气象部门将 24 小时累计降水量达到 50 毫米及以上的强降雨定义为暴雨，本文将日降水量 ≥ 50.0 mm 的日期定义为暴雨日，年暴雨日数为全年出现日降水量 ≥ 50.0 mm 的日数之和。年总降水量中，由年暴雨日降水量之和所占的比例定义为暴雨的贡献率；一年中暴雨日数，占全年总降水日数的比例定义为暴雨日数的贡献率。

2.2. 方法

本文采用线性回归、距平分析等数理统计方法[11]，对降水量及暴雨事件的年际演变规律与季节分布特征开展系统性分析。利用 Mann-Kendall 突变分析法(曼－肯德尔突变检验法) [12]对年降水量、季节降水量、暴雨量进行突变分析，检验序列趋势变化是否显著。采用 Morlet 小波分析法[13]分析年降水量的周期性和趋势性。

Mann-Kendall 突变分析法是一种非参数统计突变检测方法，其优点是无需样本数据服从特定正态分布，不受少数异常值干扰，可同时识别序列的趋势升降特征，精准定位突变发生的具体时间点，还能明确标注突变的影响区域。对长度为 n 的时间序列构造秩序列 S_k，计算顺序统计量序列 UF_k，将原序列逆序重复计算，得到逆序统计量序列 UB_k，令 $UB_k = -UF_k$。显著性水平取 $\alpha = 0.05$，临界值为±1.96，$UF_k > 0$，表示序列上升趋势；$UF_k < 0$，表示序列下降趋势；$|UF_k| > 1.96$，代表该时段趋势显著。如果 UF 曲线与 UB 曲线相交，且交点落在 ±1.96 临界线内部，交点对应的时间即为序列潜在突变时间。

Morlet 小波变换所得小波系数包含实部与虚部，其中实部能够反映时序信号不同时刻的相位演变特征，可直观表征多时间尺度下降水丰、枯相位交替变化规律；基于小波系数构建小波方差，可甄别序列中显著性振荡主周期。

3. 主要影响天气系统

铜仁市处于贵州的东北部，是云贵高原向湘西丘陵过渡的斜坡地带，地势由西北向东南降低，位置较高，丘陵群山作用显著。而铜仁机场正处于过渡带东部边缘，位于丘陵地区山坡顶端，正西面是海拔 2572 米的梵净山。属中亚热带季风湿润气候区，降雨频繁，雨量充沛。降水天气过程受多尺度天气系统共同影响：大尺度环流背景上，高空槽、南支槽、西太平洋副热带高压、台风外围环流等系统提供环流配置；中尺度上，低层切边线、西南涡、冷锋、云贵准静止锋、地面辐合线等系统直接触发降水；低空急流、台风外围偏东气流提供水汽。受季节影响变化明显，汛期主要受高空槽、低涡切变、西太平洋副热带高压进退影响，降水强度大；冬季主要受西风带气流和云贵准静止锋影响，春秋两季是过渡阶段。

4. 降水特征分析

4.1. 降水年际变化趋势

铜仁机场 2010~2025 年的年平均降水量达到 1401.5 mm，降水丰沛。如图 1 所示，铜仁机场降水量的年际变化振幅较大，通过线性回归分析发现，总体呈现微弱逐年缓慢减少的走向，未能通过 0.05 的显著性检验，长期下降趋势不显著。滑动平均曲线显示，降水量年际变化的幅度在年平均降水量水平线上上下小幅摆动，个别年份出现较大变幅，其中 2014 年降水量最多，达到了 1984.1 mm，这是铜仁机场 2001 年复航以来降水量最高的年份，2011 年降水量最小，只有 992 mm。

铜仁机场各年降水日数差异较大，2010~2025 年平均降水日数为 182 d，如图 1 所示，最长降水日数

为 222 d，出现在 2019 年，最短降水日数为 129 d，出现在 2011 年，总体呈现增多趋势，未能通过 0.05 的显著性检验，增多趋势不显著。可以看出，2018~2020 年降水日数明显高于平均值，均超过 200 d，约占全年 60%。

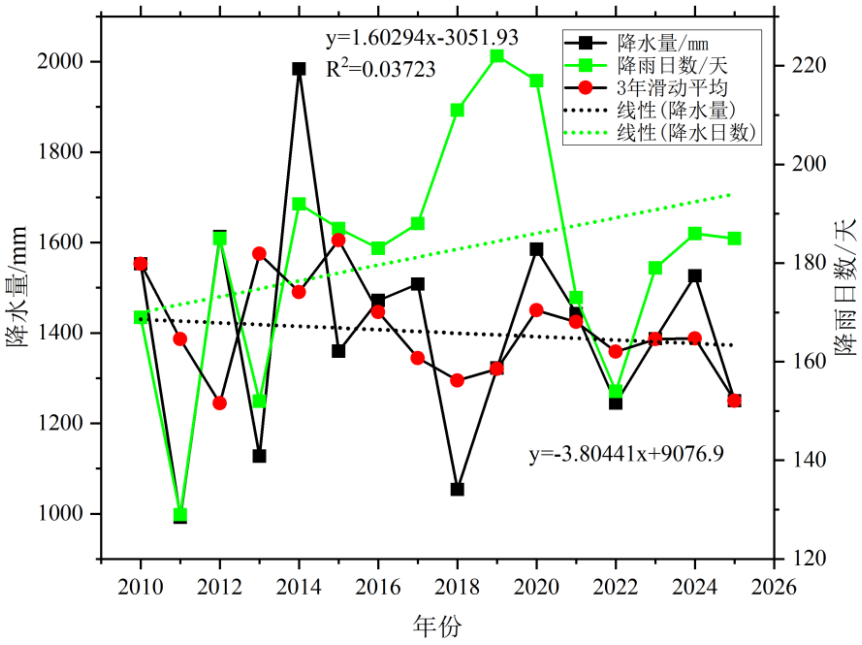


Figure 1. Interannual variation of precipitation and precipitation days in Tongren Airport
图 1. 铜仁机场降水量、降水日数年际变化

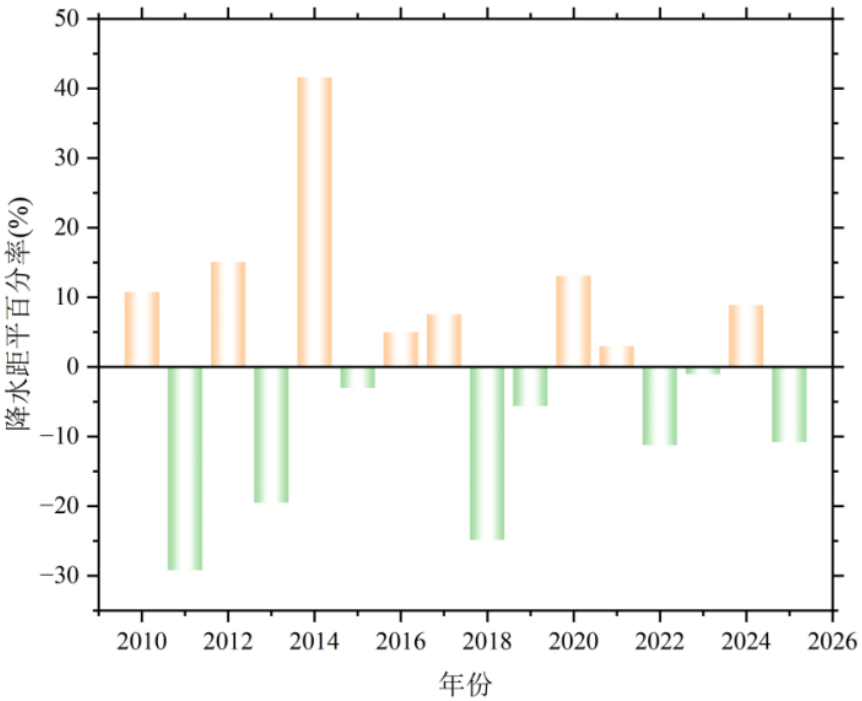


Figure 2. Percentage of annual precipitation anomaly at Tongren Airport
图 2. 铜仁机场年降水量距平百分率图

降水距平百分率可直观反映某一年降水量偏离多年平均水平的相对程度，正值代表该年降水较常年偏多，数值越大，降水偏多程度越显著；负值代表该年降水较常年偏少，数值越小，降水偏少越突出，干旱程度越重。如图 2 所示，通过对铜仁机场 2010~2025 年逐年降水量的距平百分率进行分析，铜仁机场近 16 年整体呈现丰水年、枯水年交替出现，2014 年降水距平百分率为+41.6%，降水较常年显著偏多；2011 年和 2018 年降水量分别为 992 mm 和 1053.6 mm，距平百分率分别为−29.2%和−24.8%，这两年降水明显偏少，属于偏旱年份，2011 年干旱程度更重，其余年份都在正常范围内摆动。

通过 Mann-Kendall 突变检验对铜仁机场 2010~2025 年年降水量进行突变分析，结果如图 3 所示，UF 值在 2010~2012 年由负值抬升为正值，表明铜仁机场的年降水量由偏少期转为偏多期，在 2014~2017 年年间维持正值，表明铜仁机场的年降水量呈上升趋势，但 UF 统计量始终位于 0.05 显著性水平临界值 ±1.96 范围内，表明铜仁机场年降水量变化趋势不显著。根据 UF 和 UB 两条曲线相交的位置确定突变点，表明铜仁机场年降水量不存在显著性突变年份。

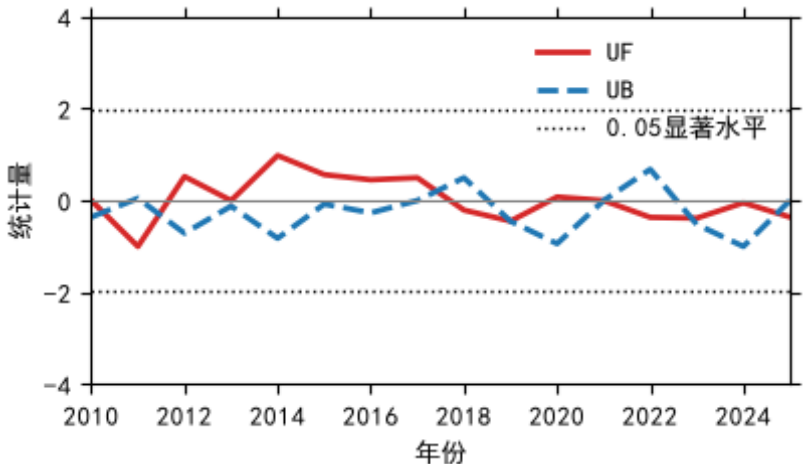


Figure 3. Analysis chart of abrupt change of annual precipitation in Tongren Airport
图 3. 铜仁机场年降水量突变分析图

4.2. 降水季节特征

如图 4 所示，铜仁机场受季节性变化天气系统影响，降水季节特征明显，符合中亚热带季风湿润气候降水特性，雨热同期。降水季节特征为：夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。夏季(6~8 月)，是铜仁机场降水最丰富的季节，总体呈现微弱逐年缓慢减少的走向，未能通过 0.05 的显著性检验，趋势不显著。年平均季降水量为 549.3 mm (占全年 39.2%)，除了 2013~2014 年以外，波动较为平缓，2014 年的降水量高达 1200.3 mm，在平均降水量的 2 倍以上，是铜仁机场复航以来的峰值，但 2013 年仅有 148.4 mm，是夏季降水量最小的年份。春季(3~5 月)次之，年平均季降水量为 431.7 mm (占全年 30.8%)，年际变化较大，无明显的上升或下降趋势。最低为 2011 年的 201.7 mm，最高为 2012 年的 604 mm，有 5 年的春季降水量达到了 500 mm 以上，全年降水主要集中在春、夏两季，共占全年总降水量的 70%，是一年雨水最充足的时段。秋季(9~11 月)，降水量相对较少，平均降水量为 277.1 mm (占全年 19.8%)，呈现逐年降低趋势，未能通过 0.05 的显著性检验，下降趋势不显著。最高降水量出现在 2020 年，达到了 472.8 mm，最低降水量仅有 140.5 mm，出现在 2022 年。冬季(12~2 月)，降水量出现最少，平均降水量为 143.4 mm，占全年 10.2%，2020 年降水量达到了 272.7 mm，远高于平均水平。通过对冬季降水量进行线性回归分析，通过了 0.05 的显著性检验，整体呈现显著上升趋势，增加幅度为 61 mm/10 a，冬季降水增多，预示低云、

低能见度天气出现概率上升。应强化冬季降水天气的预警研判，防范降水及其衍生的低云、低能见度现象威胁飞行安全。

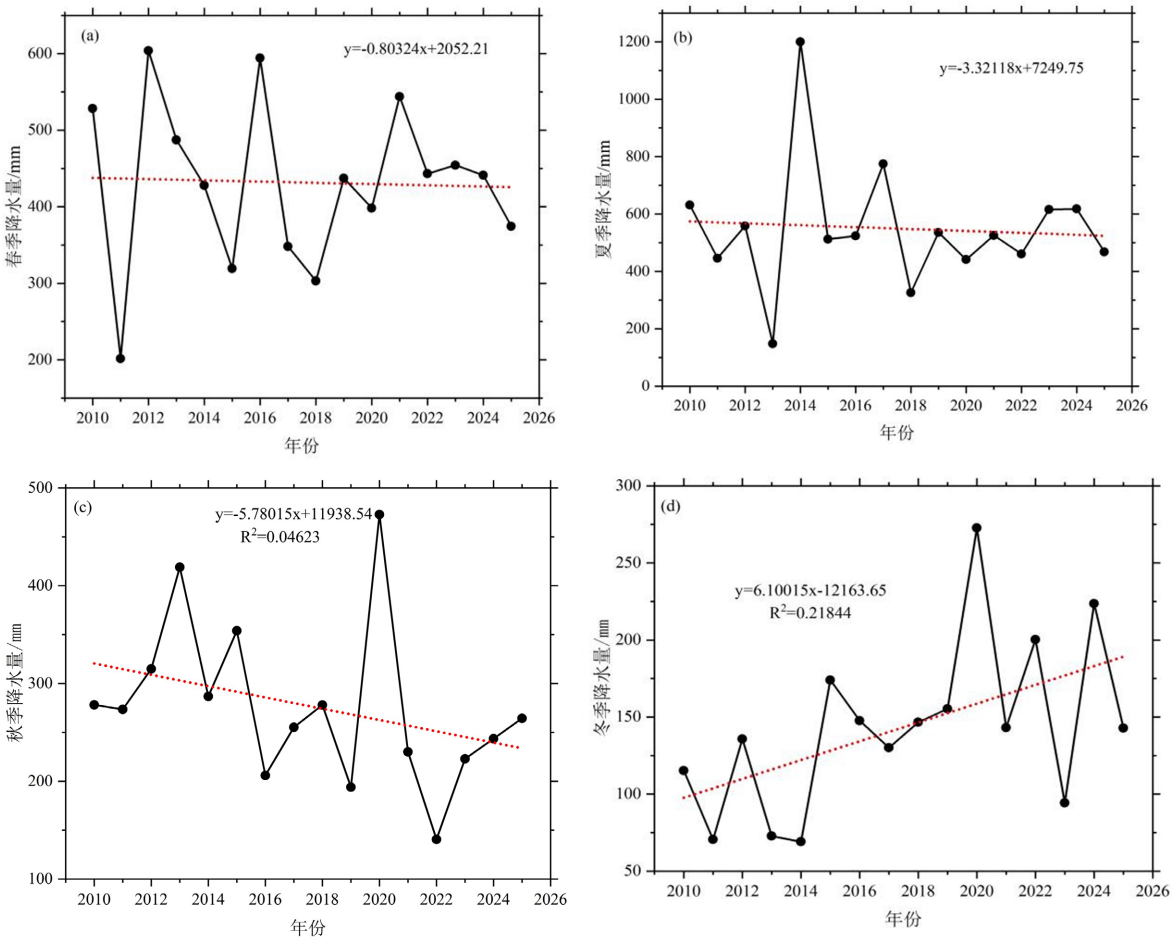


Figure 4. (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, (d) Winter precipitation trend chart
图 4. (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季、(d) 冬季降水量趋势图

分析铜仁机场降水日数来看，见图 5，季节特征为：春季 > 冬季 > 夏季 > 秋季，四季分布较为均匀，春季出现降水日数最多，为 56.9 d (占全年 31.3%)，冬季次之，为 43.1 d (占全年 23.7%)，夏季出现 41.3 d (占 22.7%)，秋季出现日数最少，为 40.7 d (占 22.4%)。可以看出铜仁机场春季降雨日数最长，降水量次之，降水强度偏弱且持续时间长，空气长期处于饱和状态，为低云、低能见度形成提供有利条件；夏季降水总量最大，降雨频次较低，降水性质以短时强对流降雨为主；秋季降雨频次最低，降水量偏少，天气状况总体稳定，但仍受对流系统影响；冬季降雨发生频次高于夏、秋两季，降水总量全年最低，降水多表现为小雨、毛毛雨，持续弱降水易使近地面水汽维持饱和状态，诱发低云、低能见度，对飞行安全造成不利影响。

通过 M-K 检验，从图 6 可以看出，铜仁机场 2010~2025 年春季、夏季和秋季降水量均没有超过显著性水平为 0.05 的临界线，表明变化趋势不显著。春季和夏季没有发生突变，秋季降水量在 2012~2016 年 UF 值 > 0，表明这段时期秋季降水量呈现上升趋势，2017 年以后有明显的下降趋势，UF 与 UB 曲线相交于 2016 年附近，交点在置信区间内，表明铜仁机场秋季降水量突变年在 2016 年。冬季降水量在

2014~2015 年 UF 值由负值转为正值，转为明显的上升趋势，发生由少到多的突变，根据交点位置时间点确定铜仁机场冬季降水量在 2015 年出现了突变现象，突变之后冬季降水量持续增多，尤其是 2020、2022、2024 年的上升趋势超过了显著性水平为 0.05 的临界线，上升趋势显著。

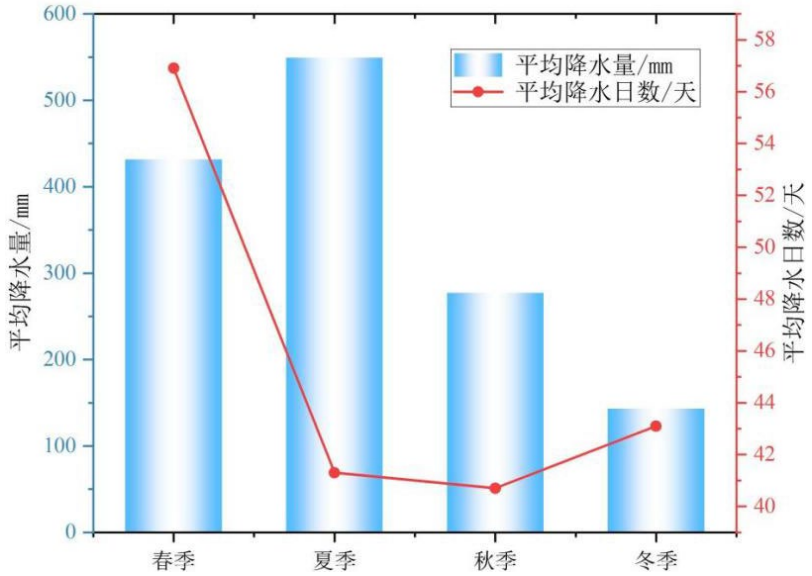


Figure 5. Seasonal variation of precipitation and precipitation days in Tongren Airport
图 5. 铜仁机场降水量、降水日数季节变化

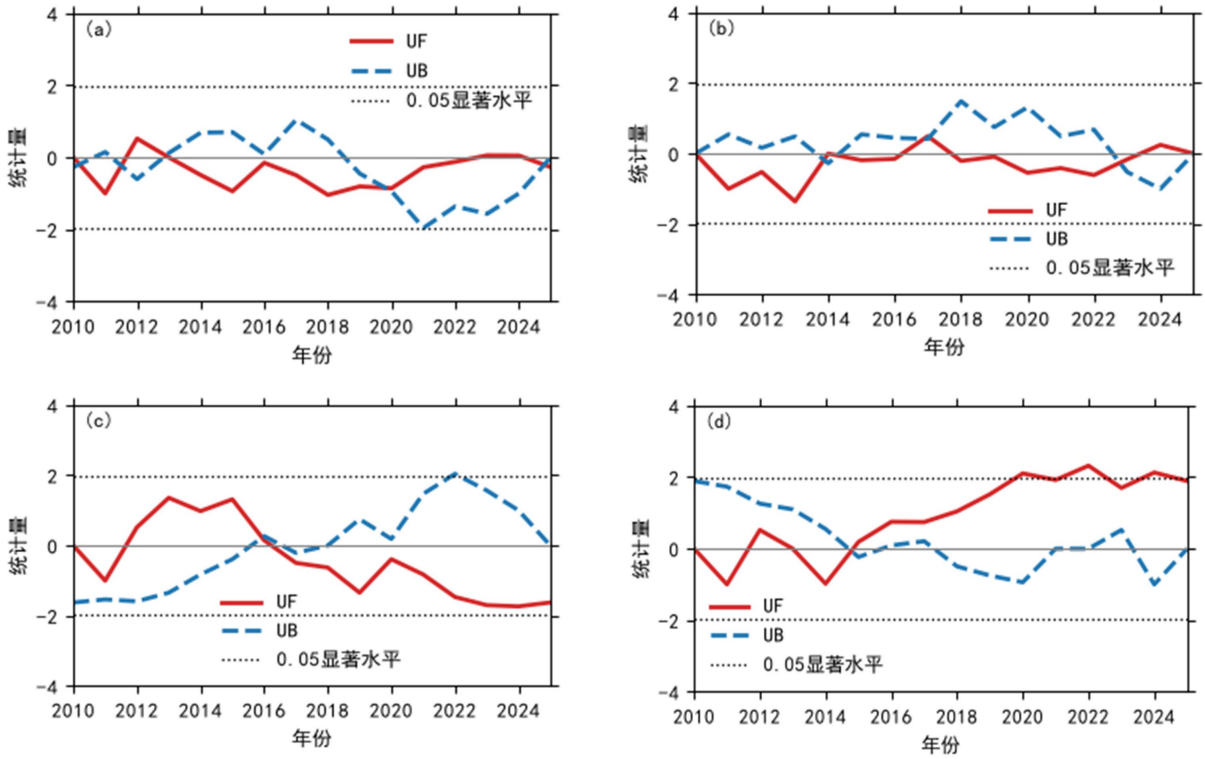


Figure 6. (a) M-K test of precipitation in spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter
图 6. (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季、(d) 冬季降水量 M-K 检验

4.3. 降水的月变化特征

如图 7 所示，铜仁机场年内各月均有降水量，分配不均，无明显的枯水月份，整体水汽条件充足，气候湿润，月降水量呈单峰值分布，平均降水量为 116.8 mm。进入 3 月后降水量增加，峰值出现在 6 月，月平均降水量为 229.6 mm (占 16.4%)；5 月次之，月平均降水量为 210 mm (占 15%)；10 月份以后降水量迅速减少，12 月降水量最少，仅为 35.3 mm (占 2.5%)。4~9 月的月平均降水量均超过了 100 mm，总降水量 1002.7 mm，占全年总降水量的 71.5%；10 月~次年 3 月平均总降水量为 398.8 mm (占 28.5%)，可以看出年内降水汛期与非汛期特征明显，高度集中于汛期时段，汛期降水量的多少决定了全年降水量的多少。

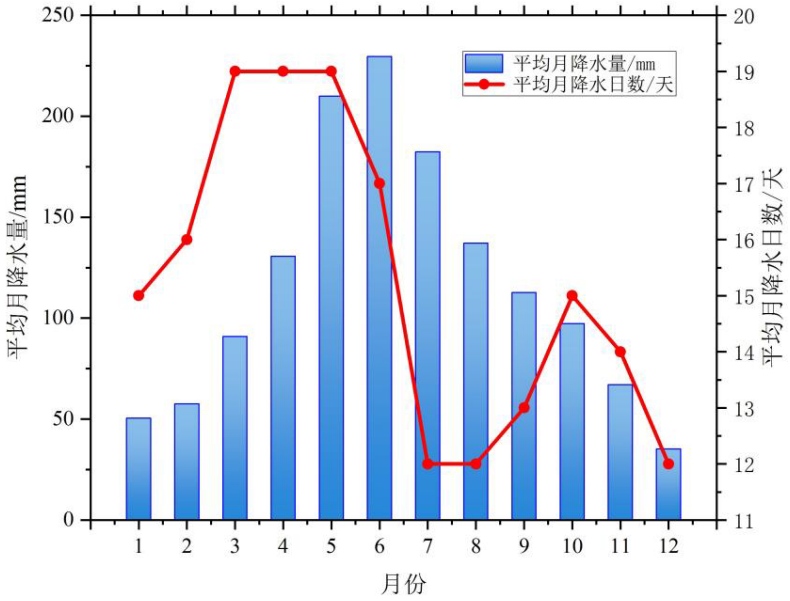


Figure 7. Annual variation of precipitation and precipitation days at Tongren Airport
图 7. 铜仁机场降水量、降水日数年变化

分析铜仁机场月平均降水日数来看，年内各月降水频繁，呈双峰值分布。月平均降水日数为 15 d，其中，3~5 月出现日数最多，月平均为 19 d；6 月次之，月平均日数为 17 d；7~8 月、12 月出现降水日数最少，月平均为 12 d。可以看出铜仁机场 3~5 月降水日数最多，降水量逐渐增加，为连阴雨天气过渡为强对流天气影响；6 月月平均降水量全年最高，降水日数略有减少，为铜仁机场全年受强对流天气影响最大月份，短时强降水、雷暴高发；7~8 月雨量大、降雨天数最低，多为午后局地热对流，短时强降雨为主。

4.4. 年降水的周期分析

图 8 为铜仁机场降水量小波系数实部等值线图，用于识别降水量序列在不同时间尺度上的周期变化规律，进而依据周期特征预估降水量未来变化趋势。图中横坐标为年份，纵坐标代表时间尺度，颜色越红，小波系数实部数值越大，表明降水量越高，处于丰水期；颜色越蓝，小波系数实部数值越小，表明降水量越低，处于枯水期。铜仁机场的年降水量存在 4~6 a 与 2~3 a 两类时间尺度的周期振荡特征。在 4~6 a 尺度上，降水序列完整呈现丰水期－枯水期交替演变，先后完成 6 次丰枯循环；2025 年以后等值线尚未闭合，依据该尺度振荡规律推断，2024 年后降水将逐步转入丰水阶段。在 2~3 a 尺度上，周期性振荡具有显著阶段性特征，仅在 2014~2020 年存在枯－丰－枯－丰－枯 5 个循环周期，2014 年以前与 2020 年之后该尺度振荡幅度显著降低，周期信号较弱。

小波方差能够表征降水量序列不同时间尺度上的振荡强弱，方差曲线峰值对应的时间尺度即为序列显著振荡周期，本文借助小波方差识别降水量序列的主周期。如图 9 可见，曲线最高峰值对应的时间尺度约为 4.5 a，表明铜仁机场年降水量演变最突出的主周期为 4.5 a。

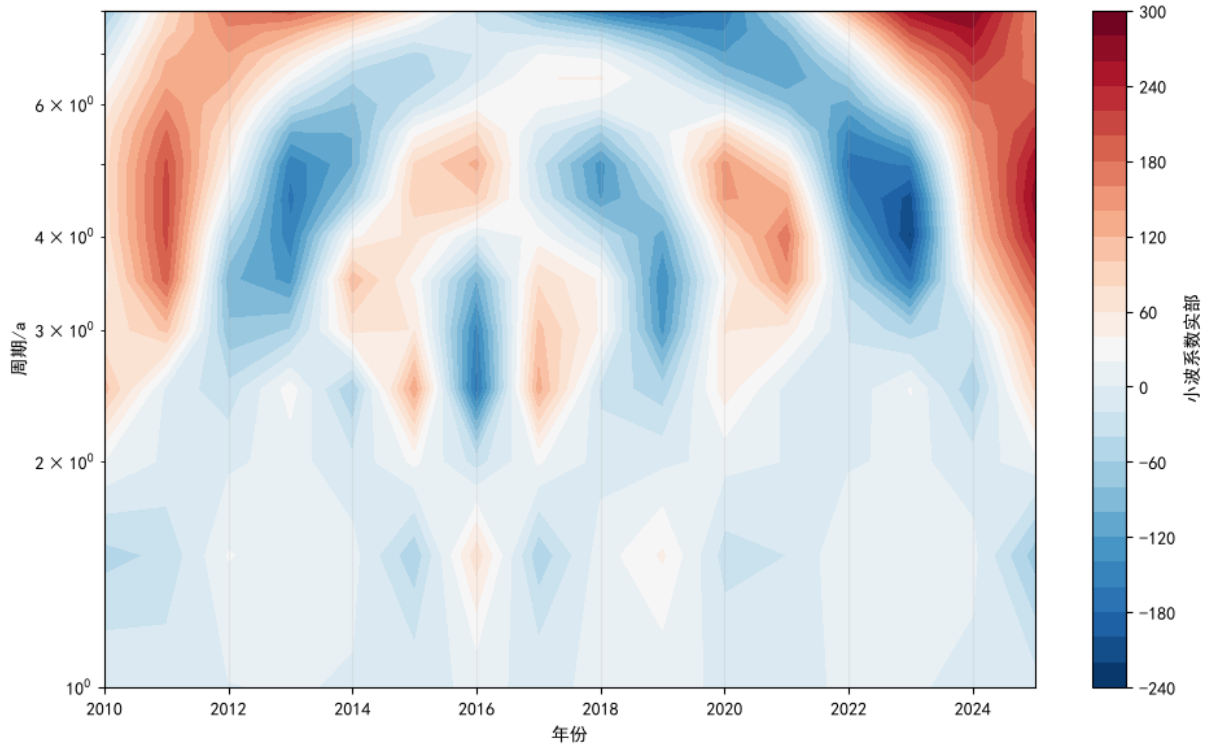


Figure 8. The isoline of real part of wavelet coefficient of precipitation in Tongren Airport
图 8. 铜仁机场降水量小波系数实部等值线

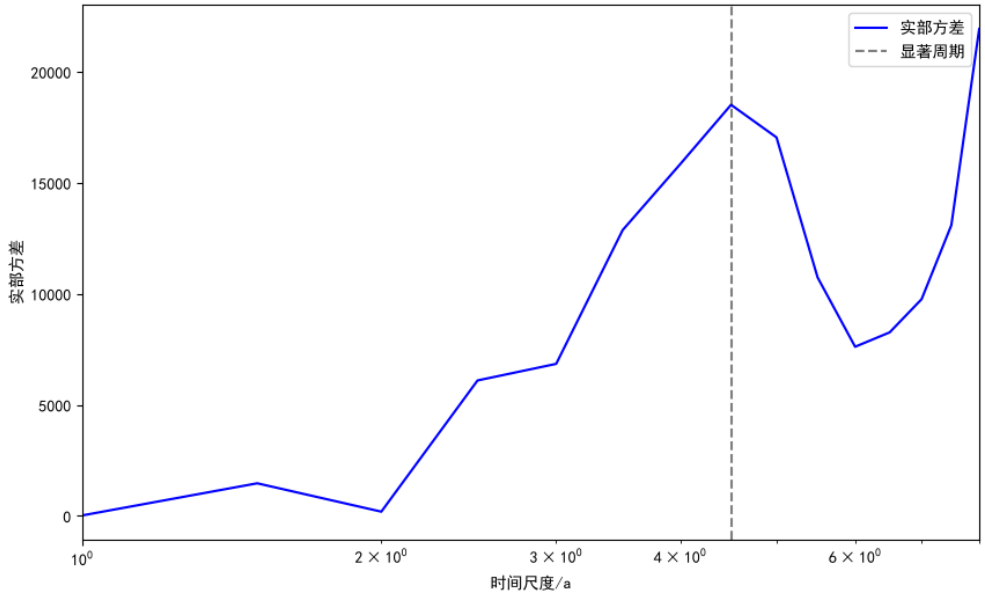


Figure 9. Variance of wavelet coefficient of precipitation in Tongren Airport
图 9. 铜仁机场降水量小波系数方差

5. 暴雨特征分析

5.1. 暴雨量及贡献率的年际变化

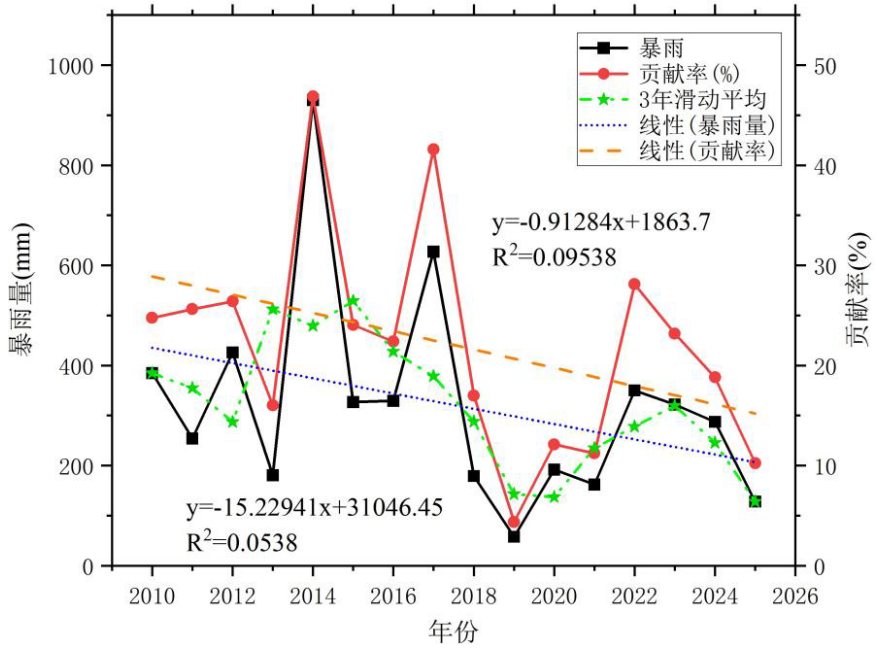


Figure 10. Interannual variation of rainstorm and contribution rate at Tongren Airport
图 10. 铜仁机场暴雨与贡献率的年际变化

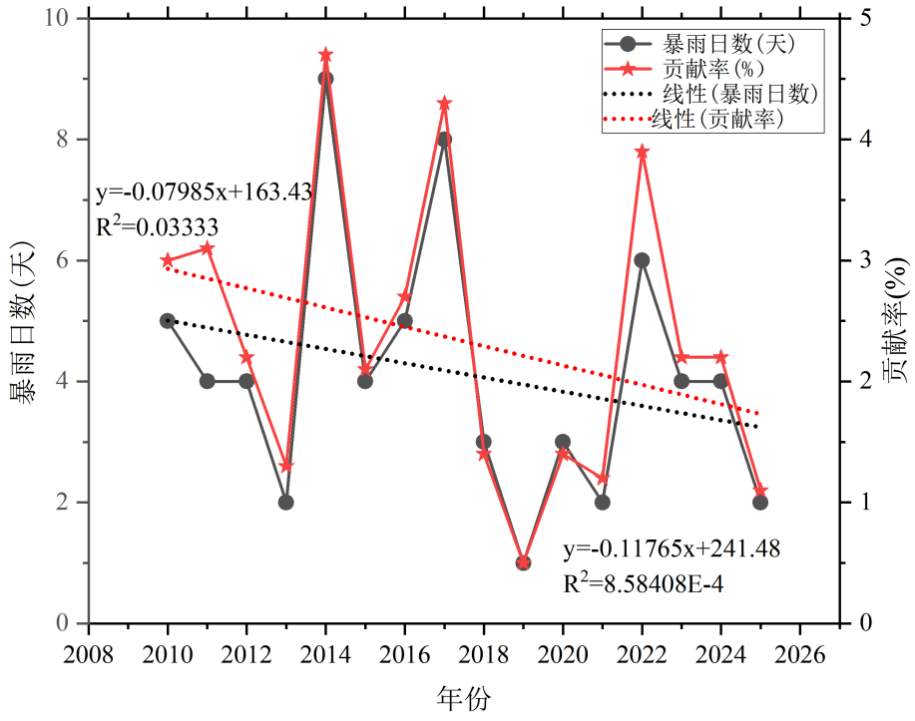


Figure 11. Interannual variation of rainstorm days and contribution rate at Tongren Airport
图 11. 铜仁机场暴雨日数与贡献率的年际变化

图 10 为铜仁机场 2010~2025 年暴雨量与暴雨贡献率的年变化曲线图，结合图 1 可以看出，铜仁机场年暴雨量与年降水量、暴雨贡献率的年际变化总体趋势基本一致，年平均暴雨量达到 321.1 mm，年暴雨量最大值为 930.2 mm，出现在 2014 年，最小值为 57.8 mm，出现在 2019 年。铜仁机场暴雨的年平均贡献率为 23%，最大贡献率达到了 47%，出现在 2014 年，最小贡献率为 4%，出现在 2019 年。通过对年暴雨量和暴雨贡献率进行线性回归分析发现，两者呈现下降趋势，但都未能通过 0.05 的显著性检验。

如图 11 所示，铜仁机场历年均有出现暴雨，年际日数差异较大，年暴雨日数和贡献率均总体呈现下降趋势，但都未能通过 0.05 的显著性检验。年平均暴雨日数为 4 d，2014 年出现最多，有 9 d，2017 年次之，为 8 d，2019 年出现最少，为 1 d。铜仁机场降水日数中暴雨的年平均贡献率为 2.3%，最大贡献率为 4.7%，出现在 2014 年，最小贡献率为 0.5%，出现在 2019 年。综合分析来看，暴雨对年降水量的影响十分显著，暴雨日数多、暴雨总量大的年份，年降水量普遍偏多；反之，暴雨日数少、暴雨总量小的年份，年降水量往往偏少。

5.2. 暴雨的季节特征

如图 12 所示，铜仁机场暴雨出现在春、夏、秋三季，冬季没有出现暴雨。暴雨量与暴雨日数季节特征均为：夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季，与降水量的季节特征一致。夏季出现的暴雨量与暴雨日数最多，年平均暴雨量为 229.2 mm (占 71.4%)，年平均暴雨日数为 2.8 d (占 66.7%)；春季次之，年平均暴雨量为 53.7 mm (占 16.7%)，年平均暴雨日数为 0.9 d (占 21.4%)；秋季暴雨量为 38.2 mm，占比 11.9%，年平均暴雨日数为 0.5 d，占比 11.9%。

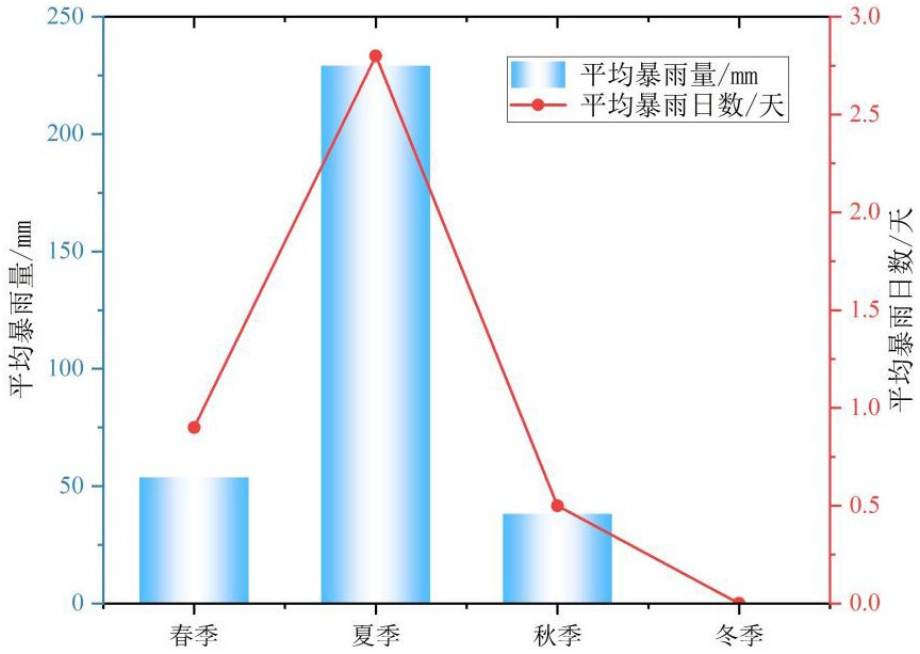


Figure 12. Seasonal variation of rainstorm and rainstorm days at Tongren Airport
图 12. 铜仁机场暴雨、暴雨日数的季节变化

5.3. 暴雨的月变化

如图 13 所示，铜仁机场暴雨在 4~10 月出现，11 月~次年 3 月均没有出现暴雨天气过程，平均月暴雨量为 45.9 mm，平均月暴雨日数 0.6 d，历年暴雨量、暴雨日数的月平均值均呈单峰值分布。峰值出现

在 7 月，月平均暴雨量为 90.6 mm (占 28.2%)，平均月暴雨日数 1.1 d；6 月次之，月平均暴雨量为 88.1 mm (占 27.4%)，平均月暴雨日数 1 d；4 月份月平均暴雨量最少，仅为 3.4 mm (占 1.1%)，4 月、10 月平均月暴雨日数均最少，仅 0.1 d。可以看出，铜仁机场平均暴雨量的多少很大程度上由平均暴雨日数决定，暴雨天数越多，平均暴雨量就越大；暴雨天数越少，平均暴雨量就越小，有明显的旱涝急转。

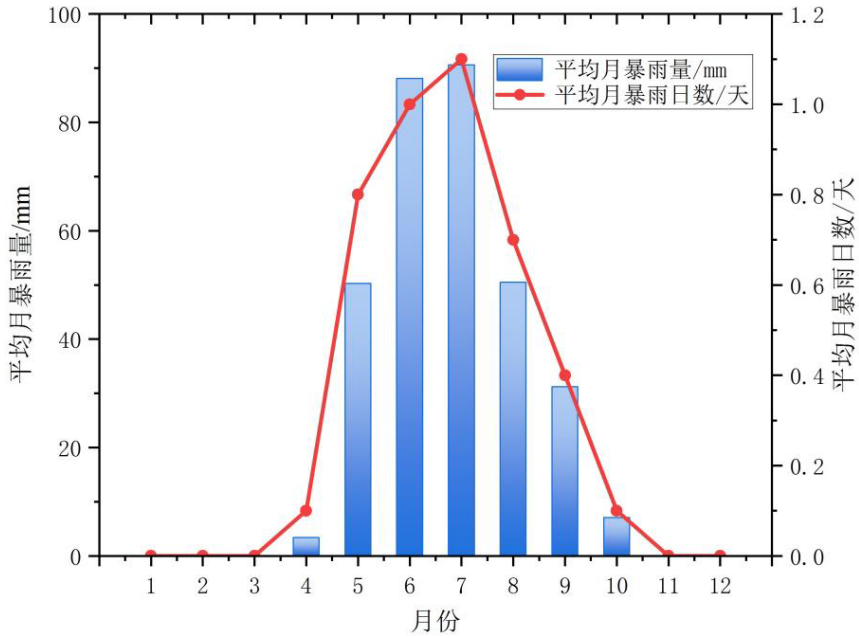


Figure 13. Annual variation of rainstorm and rainstorm days at Tongren Airport
图 13. 铜仁机场暴雨、暴雨日数年变化

5.4. 降水量极值分析

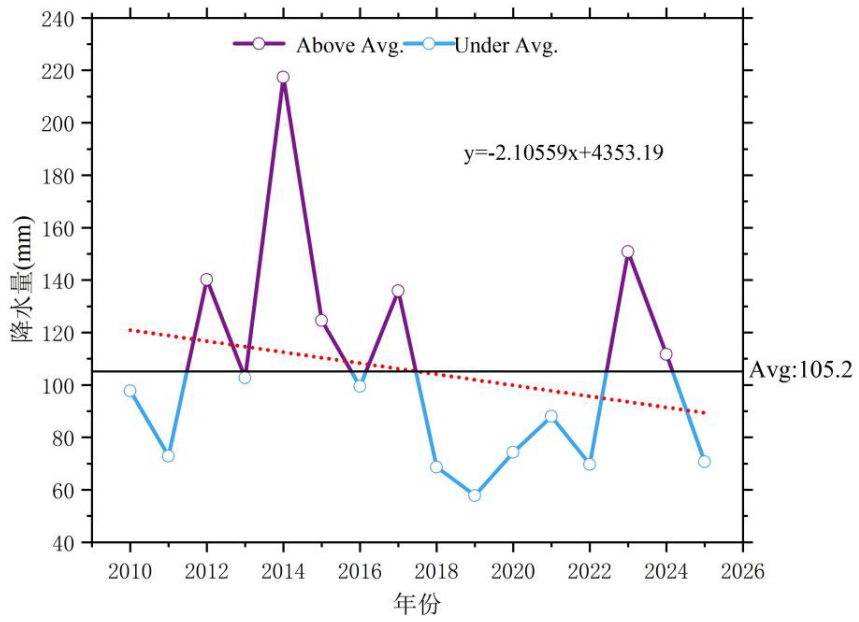


Figure 14. Interannual variation of daily maximum precipitation at Tongren Airport
图 14. 铜仁机场日最大降水量的年际变化

如图 14 所示，铜仁机场的年最大日降水量的年平均值为 105.2 mm，年际波动较大，呈现下降趋势，但未能通过 0.05 的显著性检验。最大值为 217.4 mm，出现在 2014 年 7 月 15 日，是铜仁机场有记录以来最大日降水量，最小值为 57.8 mm，出现在 2019 年 5 月 19 日，最大值约为最小值的 4 倍。其中超过 140 mm 的年份仅有 2 年，分别为 2014 年、2023 年。

5.5. 暴雨的突变分析

分析暴雨 M-K 突变检验曲线图 15 可知，铜仁机场 2010~2025 年暴雨量 UF 值没有超过显著性水平为 0.05 的临界线，表明变化趋势不显著。在 2014~2017 年 UF 值 ＞0，表明这段时期暴雨量呈现上升趋势，但上升趋势较小，2018 年以后 UF 值 ＜0，暴雨量转为明显的下降趋势，UF 与 UB 曲线相交于 2018 年，交点在置信区间内，根据交点位置时间点确定铜仁机场暴雨量在 2018 年出现了突变现象，发生由多到少的突变。

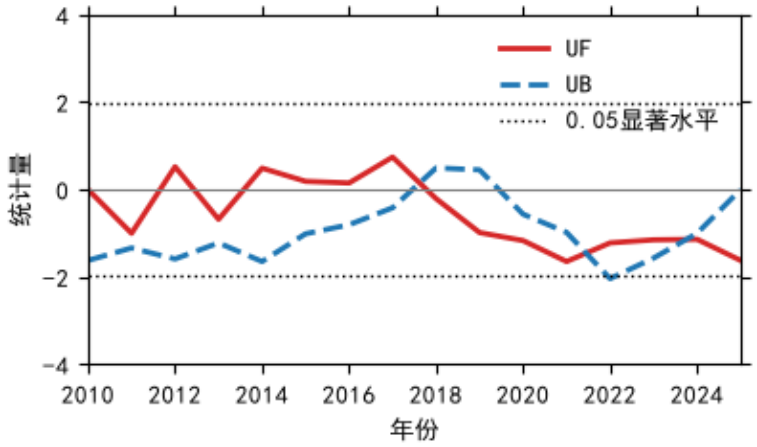


Figure 15. M-K test of rainstorm in Tongren Airport
图 15. 铜仁机场暴雨 M-K 检验

总体来看，铜仁机场冬季降水量呈显著增加趋势，降水及其衍生的低云、低能见度天气对飞行安全造成影响的概率随之增加，因此应强化冬季降水天气的预警研判。全年及夏、秋季降水量、暴雨量、暴雨日数、年最大日降水量随年份减少的趋势均不明显，但考虑到全球气候变暖背景下极端气象事件频发，2023 年本场最大日降水量 150.8 mm，充分体现极端强降水的风险隐患。基于此，应持续加强极端强降水天气的研判与监测，深入研究降水变化特征，提升对降水现象本质规律的认识，为机场飞行安全提供可靠的气象支撑。

6. 结论

本文利用铜仁机场基准观测点自动气象观测站 2010~2025 年逐日降水数据，采用线性回归、Morlet 小波分析、Mann-Kendall 突变检验等统计方法，从降水的年际变化、季节变化、月变化和降水日数等方面分析铜仁机场的降水气候特征，主要得出以下结论：

(1) 铜仁机场降水丰沛，年际变化呈波动性，年降水量减少趋势不明显，冬季降水量总体以 61 mm/10 a 的速率显著增多。降水量和降水日数月分布均不均匀，降水量呈单峰值分布，峰值为 6 月，5 月次之，12 月最少；降水日数呈双峰值分布，3~5 月最多，6 月次之，7~8 月、12 月最少。汛期降水量的多少决定了全年降水量的多少。

(2) 铜仁机场降水季节特征明显，雨热同期。降水量季节特征为：夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季，全年降水主要集中在春、夏两季(占 70%)。降水日数季节特征为：春季 > 冬季 > 夏季 > 秋季，分布较为均匀。

(3) 铜仁机场暴雨量及暴雨日数年际差异较大。年平均暴雨日数为 4 d，2014 年最多(9 d)，2019 年最少(1 d)。年平均暴雨量为 321.1 mm，最多 930.2 mm，最少 57.8 mm。暴雨量及暴雨日数随年份减少的趋势不明显。

(4) 铜仁机场降水有明显的旱涝急转。暴雨在 4~10 月出现(春、夏、秋三季)，主要集中在夏季。历年暴雨量、暴雨日数的月变化均呈单峰值分布，峰值为 7 月，6 月次之，4 月最少。平均暴雨量的多少很大程度上由平均暴雨日数决定，暴雨天数越多，平均暴雨量就越大；暴雨天数越少，平均暴雨量就越小。

(5) 铜仁机场年降水日数中暴雨日数的平均贡献率为 2.3%，最大 4.7%，最小 0.5%；年降水量中暴雨的平均贡献率为 23%，最大 47%，最小 4%。暴雨对年降水量的影响十分显著，暴雨日数多、暴雨总量大的年份，年降水量普遍偏多；反之，暴雨日数少、暴雨总量小的年份，年降水量往往偏少。

(6) 突变检验显示，冬季降水量在 2015 年突变增多，秋季降水量在 2016 年突变减少，暴雨量在 2018 年突变减少。

(7) 铜仁机场降水量存在 4~6 a 与 2~3 a 两类时间尺度的周期振荡特征，演变最突出的主周期为 4.5 a。从主周期来看，推测铜仁机场未来的 3~4 年总体会出现一个丰水期。

参考文献

[1] 中国民用航空局空管行业管理办公室. AP-117-TM-2021-01R2, 民用航空气象地面观测规范[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021.

[2] 张仁忠, 易志学, 吴慧, 等. 1957-2024 年贵州锦屏县降水特征分析[J]. 农业灾害究, 2026, 16(2): 108-110, 114.

[3] 熊永花, 赖小红, 杨胜忠. 台江县 1959-2023 年降水时间序列变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(3): 442-451.

[4] 郑丽娟. 康定机场 2018-2022 年降水特征分析[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(10): 134-136.

[5] 杨庭潇, 王楷博. 重庆江北机场 2012-2021 年降水特征分析[J]. 绿色科技, 2022, 24(16): 32-34, 38.

[6] 彭淼机. 1991-2020 年南宁机场降水特征分析[J]. 科技与创新, 2022(5): 29-32.

[7] 杨柳嫦. 湛江机场近 29 年降水特征分析[J]. 科技与创新, 2016(8): 65-66.

[8] 龙雅迪, 古丽娜热·阿不都热扎克, 张丹丹, 等. 铜仁主城区短时强降水特征统计分析[J]. 山地气象学报, 2025, 49(2): 64-70.

[9] 何为, 廖洪敏, 石薇, 等. 1961-2017 年铜仁市降水变化特征分析[J]. 现代农业科技, 2020(4): 177-178, 186.

[10] 谢仁波, 何历洪, 符晴, 等. 铜仁市短时强降水阈值及时空分布初探[J]. 山地气象学报, 2024, 48(2): 73-77.

[11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.

[12] 陈奔月. 基于 Mann-Kendall 方法的闽江流域降水趋势分析[J]. 陕西水利, 2024(1): 30-33.

[13] 宁婧, 张高健, 张丹, 等. 基于小波分析的鄂邑近 60 年降水量变化特征[J]. 陕西气象, 2023(6): 41-46.