

滇西北机场降水及气温的变化特征与季风的关系分析

陈 莉, 代冰冰, 田孟坤

云南机场集团有限责任公司丽江机场, 云南 丽江

收稿日期: 2026年8月27日; 录用日期: 2026年9月30日; 发布日期: 2026年10月13日

摘 要

利用2007~2022年滇西北丽江机场气温和降水数据, 采用线性倾向率法、小波分析、Mann-Kendall检验等方法, 研究滇西北机场降水及气温的变化特征与季风的关系。结果表明: (1) 滇西北机场年降水量整体上呈增加趋势, 降水日数最多的月份是7月。年平均最高气温、年平均最低气温和极端最低气温均呈明显的增加趋势。(2) 气温和降水存在在大时间尺度上均存在10个月变化周期。(3) 年平均气温在2008年、2015年、2019年、和2020年发生突变, 降水量在2016年及2019年发生突变。(4) 夏季风 I_{sw} 与气温、降水量相关性较好, I_{sw} 对丽江机场气温的影响是不连续性的, 有时候是正相关而有时则为负相关。而由夏季平均指数可看出夏季风 I_{sw} 与气温、降水量呈正相关, 即夏季风越强, 气温越高, 同时降水量越多。气温、降水量与冬季风强度具有显著的相关性。 I_N 与气温、降水量是明显的负相关关系, 冬季风增强, 气温及降水量则随之减少。

关键词

降水, 气温, 变化特征, 季风

Analysis of the Relationship between the Variation Characteristics of Precipitation and Temperature and Monsoon in Northwest Yunnan Airport

Li Chen, Bingbing Dai, Mengkun Tian

Lijiang Airport, Yunnan Airport Group Co., Ltd., Lijiang Yunnan

Received: August 27, 2026; accepted: September 30, 2026; published: October 13, 2026

Abstract

The air temperature and precipitation data of Lijiang Airport in northwest Yunnan from 2007 to 2022 were used, using linear trend rate method, wavelet analysis, Mann-Kendall test and other methods, the relationship between the variation characteristics of precipitation and temperature and monsoon in northwest Yunnan airport was studied. The results show that: (1) The annual precipitation in northwest Yunnan airport showed an increasing trend on the whole, and the month with the most precipitation days was July. The annual mean maximum temperature, annual mean minimum temperature and extreme minimum temperature all showed an increasing trend. (2) Both temperature and precipitation have a 10-month cycle on a large time scale. (3) The annual mean temperature changes in 2008, 2015, 2019, and 2020, and the precipitation changes in 2016 and 2019. (4) Summer monsoon I_{sw} has a good correlation with temperature and precipitation. The effect of I_{sw} on temperature at Lijiang Airport is not continuous; sometimes it's positive, other times negative. But looking at the summer average index, the summer monsoon I_{sw} is positively correlated with both temperature and precipitation, meaning the stronger the summer monsoon, the higher the temperature and the more precipitation. Temperature and precipitation are significantly correlated with winter monsoon intensity. I_n is obviously negatively correlated with temperature and precipitation—when the winter monsoon gets stronger, temperature and precipitation decrease accordingly.

Keywords

Precipitation, Temperature, Variation Characteristics, Monsoon

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

近年来各种极端气候事件频繁发生, 全球气温也逐渐升高, 各种气象灾害事件也不断增加。各种气象灾害已经对自然生态环境造成了严重的破坏。因此, 研究气候变化已经转变为大气科学领域的一个主要研究领域[1]-[4]。降水是一个十分重要的气象要素[5]-[7], 它对生态环境的形成与演变以及农作物起着决定性的作用。气温也是一个十分重要的气象要素[8], 天气变化与气温密切相关, 气温对自然景观的生成和人类生存环境有着非常重要的影响, 人类的生存环境与气温息息相关。

降水对能见度有着十分重要的影响, 不同降水的种类、降水强度及飞行速度对能见度的影响则不同。当天空降雨时, 当飞机座窗玻璃上由于雨水形成的水膜折射光线时飞行员所能观测到的主导能见度会变差, 当降水强度达到中等及以上强度时, 某些航空公司则规定航班不能降落, 降水对航空公司的经营效益有着十分重要的影响。当航空器的飞行速度越大而且降水强度增强时, 飞行员所能看到的能见度就越小。当航空器进近着陆时, 降水使飞行员无法依靠目视来准确判定飞机离跑道的高度, 容易造成飞机提前接地, 严重时可能造成事故。

以云南为主体的低纬高原地区干、雨季分明, 具有十分重要的研究意义。丽江地处云南西北高原, 与青藏高原东南侧相邻, 受高原地势影响, 强冷空气和西南暖湿气流不易到达, 强降水天气出现的范围、次数和日降水量均较云南其他地区偏小, 因此本文选取滇西北丽江机场作为研究目标。丽江机场天气变

化在很大程度上受季风的影响,很多研究指出季风对气候变化有着十分重要的影响。季风对丽江机场气候活动的影响比较明显,季风区雨季开始的时间及雨量的多少与夏季风爆发的早晚呈正相关。经研究发现季风对丽江机场夏季降水有着重要的影响[9],印度季风开始期与丽江雨季开始期存在很好的相关性。季风还影响着其它气象要素的变化[10]-[12]。

2. 数据与方法

利用丽江机场气象台 2007~2022 年气象观测资料,采用 Mann-Kendall 趋势检验法、气候倾向率以及 Morlet 小波方法,探讨丽江机场降水量和气温日尺度和年尺度的变化特性,从而得到丽江机场降水和气温的气候变化规律。

小波分析也是气象学领域使用比较广泛的一种统计方法,在其众多的应用中,最常见的是 Morlet 小波分析法,它是同时进行时间和频率域上的信号展开,是一种典型的多分辨率分析方法,采用 Morlet 小波分析可以得到各频率的时间变化过程及各频率间的关联关系。小波变换能够将短波部分分离出来,这是其他方法无法做到的优点;此外, Morlet 小波分析还可以描述函数的奇异性。鉴于气象要素本身存在明显的周期性变化,小波分析技术近些年在气象学中的应用愈发普及。本文采用母小波函数(复值 Morlet 小波),在描述不同特征时间尺度信号在位相和时间上的分布规律时,通常选用 Morlet 小波系数的实部进行作图和分析:突变点一般以零值标示;若小波系数为正,则说明研究对象在该时间段处于偏多或高发时期;而系数为负时,则通常反映研究对象在该时段为偏少或低发时期。

季风指数方面已有大量研究成果[13][14]。在综合比较各类季风指数之后,本文选取最能代表丽江机场季风特性的夏季风指数[15] (I_{sw})。文中所采用的各季风指数的统计格点为经纬度间隔均为 2.5 度的网格点,在(20°N~40°N, 100°E~140°E)范围内共包含 153 个格点。鉴于季风强度与其作用范围密切相关,我们在将西南风定义为 $u > 0$ 、 $v > 0$ 的基础上,引入强度和面积两个要素,构建如下西南季风特征指数。

西南季风面积(A_{sw})和强度(I_{sw})指数:

$$A_{sw} = n_{sw}/N$$

$$I_{sw} = \sum u_{sw}/n_{sw}$$

其中 850 hPa 定义范围内西南风的网格点数命名为 n_{sw} 。西南风格点的风速为 u_{sw} 。 N 为定义范围内总的网格点数。

5~9 月是西南季风的活动主要月份。本研究采用冬季风指数 I_N [16],该指数以西伯利亚高压区域附近三个格点——(60°N, 100°E)、(60°N, 90°E)和(50°N, 100°E)——的海平面气压距平平均值来刻画。该指数反映了冬季风源区强度的变化:当冬季风较强时,这些位置的气压呈较大的正距平;相反,负距平幅度越大则说明冬季风越趋于微弱。

3. 丽江机场降水特征分析

丽江机场的海拔高度 2242.8 m,离丽江市中心约 23 km,位于丽江坝子与鹤庆坝子之间,南北长 33 km,东西间距 3~7 km,南北走向的山体包围着东西两侧,造成机场东西两侧遮挡明显,而南北纵向净空相对较好。

通过云南省气象局统计,云南暴雨频数由南向北减少,大值中心位于滇南地区,滇中到滇西北是暴雨频数较少的区域。丽江位于青藏高原东南缘,具有得天独厚的地理位置和变化显著的气候特点,强降水东面比西面多,丽江机场单点性降水比较多,近年来强降水总次数明显偏少。丽江机场预报员根据天气资料提前对强降水天气过程进行预报,组织重要天气过程会商,对降水量、降水强度、降水时段的预判得出统一结论,向机场及各航空公司及时发布重要天气过程预警信息。同时,预报员应密切关注天气

形势变化, 及时更新最新的预报结论, 对有重大变化的情况及时对天气预警进行修订并及时通报, 遇到重要天气时及时联系管制员发布流量控制。

根据丽江机场 2007~2022 年的降雨资料统计, 年平均有雨日数为 158 天, 在一年中每个月都有降雨出现。年内降雨量随时间呈波动性变化, 多期平均降雨量为 961.89 mm, 最大出现在 2018 年(1482.7 mm), 最小出现在 2012 年(548.8 mm)。7~9 月较多, 均在 20 天以上, 7 月是丽江机场降水日数最多的月份, 年平均降水日数为 23.4 天, 平均降水日数最少则出现在 12 月, 仅为 1.5 天。8 月是累年中降水量最多的月份, 平均降水量为 250.4 mm, 年平均降水量最少的是 12 月, 为 3.0 mm。月最大降水量为 460.2 mm, 出现在 2018 年 7 月, 日最大降水量是 92.3 mm, 出现在 2017 年 8 月 3 日。

从图 1(a)所示的降水日数变化趋势可以看出, 近 16 年来丽江机场的年降水日数总体呈现近似正态分布形态, 并具有两个明显的“双峰”特征: 2009 年降水日数呈波动上升态势, 2014 年出现减少, 2015 年起又先波动上升后逐步回落。整体来看, 近 16 年丽江机场年降水日数的线性变化表现为缓慢增加, 增幅约为每 10 年增加 2 天。其中, 2007~2022 年这 16 年期间的年代际二阶滑动变化显示出先下降后上升的演变过程。由图 1(b)可观察到, 月尺度上降水日数的变化主要呈现“单峰型”特征, 7 月为降水日数的峰值所在月份, 自 10 月起降水日数明显减少; 丽江机场月降水日数的线性变化趋势则表现为总体上升。

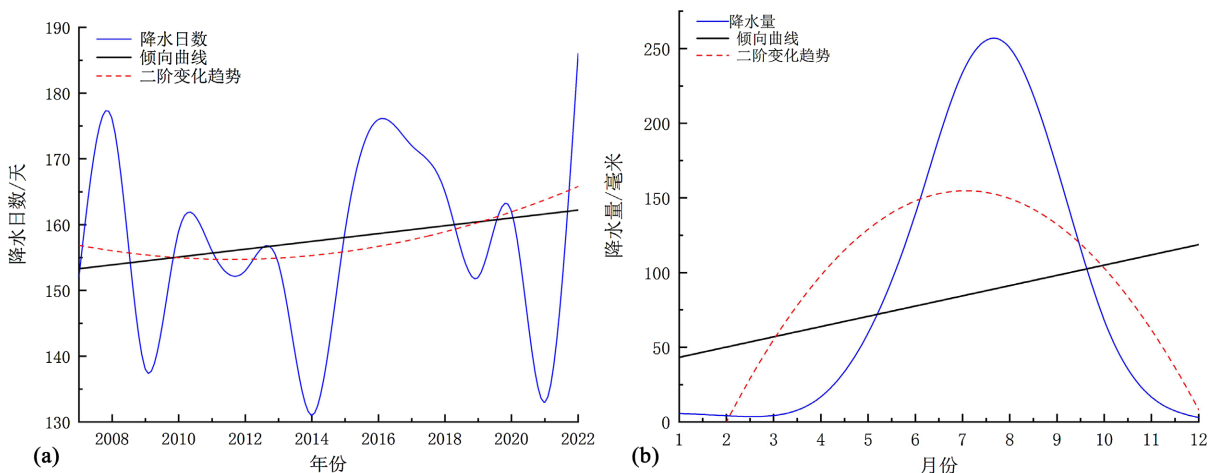


Figure 1. Trend curve of the number of precipitation days at Lijiang Airport (2007~2022) (a); Monthly variation trend curve of precipitation amount (b)

图 1. 丽江机场 2007~2022 年降水日数趋势曲线(a), 降水量月变化趋势曲线(b)

降水的时间分布特点及在不同时空尺度上的准周期变化均可以从降水日数的小波系数的实部来识别。一般情况下, 小波系数实部值大于零代表了相应年降水日数较多年平均偏多。根据 Morlet 小波功率谱(图 2(a))分析可知, 在研究时段内共 16 年间, 降水日数存在年代际尺度上的近 10 月左右的准周期变化特征。该序列包含有 10~12 个月的周期振荡信号, 并且以 10 个月尺度最稳定, 在全部的 16 年内均出现。

降水日数偏多主要集中在 11 个月周期振荡阶段, 而 2014 年和 2021 年则表现为降水偏少的突变年份。小波方差图(图 2(b))可以揭示降水日数时间序列在不同月尺度上的波动强度分布。由图可见, 10 个月对应的小波方差峰值最大, 说明在约 10 个月的尺度上, 周期性振荡最为显著, 该周期可视为丽江机场降水变化的第一主周期。

根据丽江机场降水日数年尺度 Mann-Kendall (M-K)检验结果可以看出, UB 统计量与 UF 统计量曲线的交汇位置(即突变点)大致出现在 2016 年和 2019 年附近。2016 年厄尔尼诺是自 1951 年以来最强、持续时间最长的超强厄尔尼诺事件, 对全球和中国气候产生了显著影响。它引起了全球大气环流的扰

动,导致全球降水分布出现明显的异常。此外,这次厄尔尼诺还引起了全球气温的上升,加强了全球变暖的趋势。2019 年也被正式确认为一次厄尔尼诺年。这是一次中等以上强度、持续时间较长的厄尔尼诺事件。

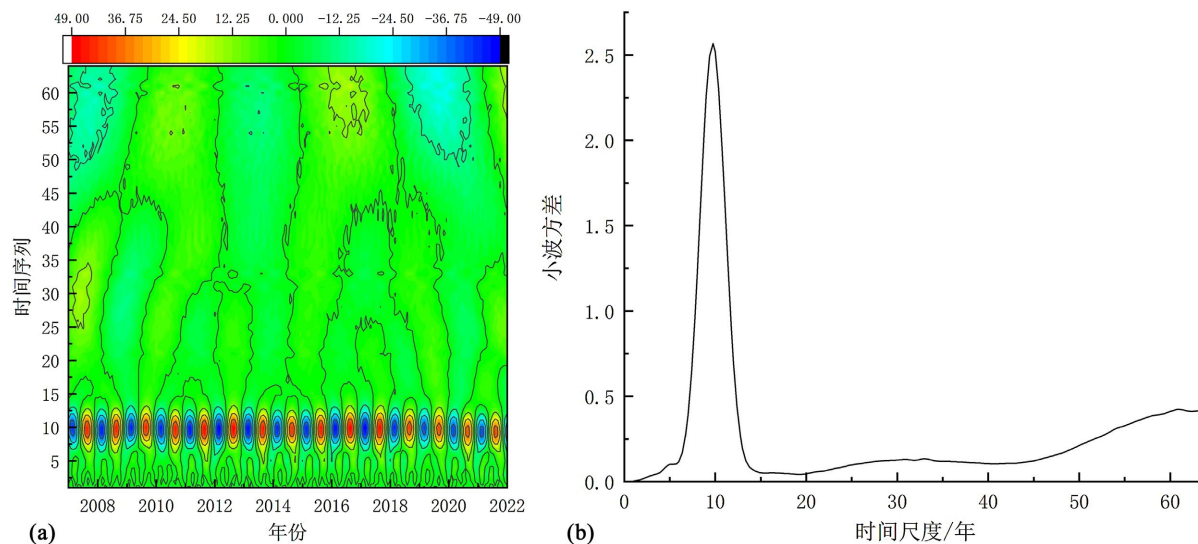


Figure 2. Time-frequency structure of the real part of the wavelet coefficient for the number of precipitation days at Lijiang Airport (a) Wavelet variance (b)

图 2. 丽江机场降水日数小波系数实部时频结构(a)小波方差(b)

统计 2007~2022 年丽江机场返航备降架次可知,强降水会导致返航备降架次增多,短时弱降水对航班正常影响不大,而连续性的弱降水会导致低云低能见度天气,从而造成航班返航备降。应对强降水天气,丽江机场观测员严密监视强降水情况,及时准确报告信息;预报员掌握好天气形势,了解机场强降水变化特征,综合运用经验预报和数值预报等方法,在强降水到来之前及时发布机场警报,以保障好航班正常高效运行。

根据丽江机场降水日数月尺度 M-K 检验图的分析,降水日数随时间变化的 UB 与 UF 统计量的交叉点(突变点)约发生在每年的 3 月前后。

分析丽江机场天气特点可把雨季细分为以下三个时期:

(1) 干季向雨季转换的过渡月(5 月)

5 月是由干季向雨季过渡的关键月份。此时高空的南支西风急流向北移动,来自孟加拉湾海域东南部的热带低压与副高西侧的暖湿气流影响着大气环流。若西南季风爆发偏早、孟加拉湾低压活动频繁、南支槽也较为活跃,则降水增多、雨季开启时间提前;如果上述条件出现得较晚或不显著,雨季到来的时间就会推迟。

(2) 汛期(6 月~9 月)

每年在 5 月下旬至 6 月上旬之间,青藏高原开始建立,高原南侧的南支西风急流逐渐消失,西南季风随之爆发,此时中国大陆的主要降水带明显北移。到 6 月中旬至 7 月上旬,西太平洋副热带高压的脊线位于 20°N~25°N 一带,完成第一次向北跳跃;7 月中旬副高再度北抬,脊线推进到约 30°N 附近。在丽江机场产生雨季降水的主要有以下几种天气类型:孟加拉湾低值型、东移低槽型、副高西伸型、两高对峙型、两高合并型和台风西行型,以前三者为主要天气类型;而冷锋或西风带中低槽后方的冷平流及低压、低涡、切变线为其提供了雨季降水的动力条件。一般当低压系统与南下冷空气及由海面而来的暖湿

空气在丽江上空相遇时, 就会形成一次中雨至大雨的天气过程。

(3) 雨季向干季转换的过渡月(10 月)

每年 10 月开始雨季逐渐向干季开始转换, 西南季风开始逐渐南撤消失, 而西风带则开始南移, 在此期间若西南季风回撤早、南支西风急流建立早, 则雨季结束早, 晴日较多, 空气相对湿度较低, 低云、降水量以及雷暴天气出现的日数均较少, 反之亦然。雨季一般在 10 月中下旬基本结束, 高空盛行强而稳定的西风气流, 在这种湿季向干季过渡的过程中需注意冷锋回流的作用。

4. 丽江机场气温特征分析

丽江机场的年平均气温是 14.3℃。年内各月平均气温以 6 月最高, 为 20.0℃; 以 1 月最低, 为 7.1℃。多年平均日较差 13.0℃, 其中 2 月月平均日较差最大, 为 16.6℃; 7 月月平均日较差最小, 为 7.9℃。多年平均日最高气温 21.2℃, 其中 6 月月平均日最高气温最高, 为 25.6℃; 1 月月平均日最高气温最低, 日平均最低气温累年平均为 8.2℃, 月平均最低温度最高值出现在 7 月份(15.8℃), 月平均最低温度最小值出现在 1 月份(-0.8℃)。

丽江机场 2007~2020 年间平均气温的年际变化分布中, 年平均气温变化较小, 年平均气温最高的年份为 2019 年, 该年平均气温为 14.9℃; 2008 年是年平均气温最低的年份, 该年平均气温为 13.4℃。通过对丽江机场 2007~2022 年平均最高温度趋势曲线图 3(a)的观察可以发现, 平均最高温度整体呈先升高后降低的变化特征, 其中 6 月份值最大, 1 月份值最小, 其线性变化走势为总体升高; 同时, 从最低温度趋势曲线图 3(b)可以看出, 平均最低温度的变化规律与平均最高温度相同, 二者的峰值均出现在 6 月, 谷值均出现在 1 月。

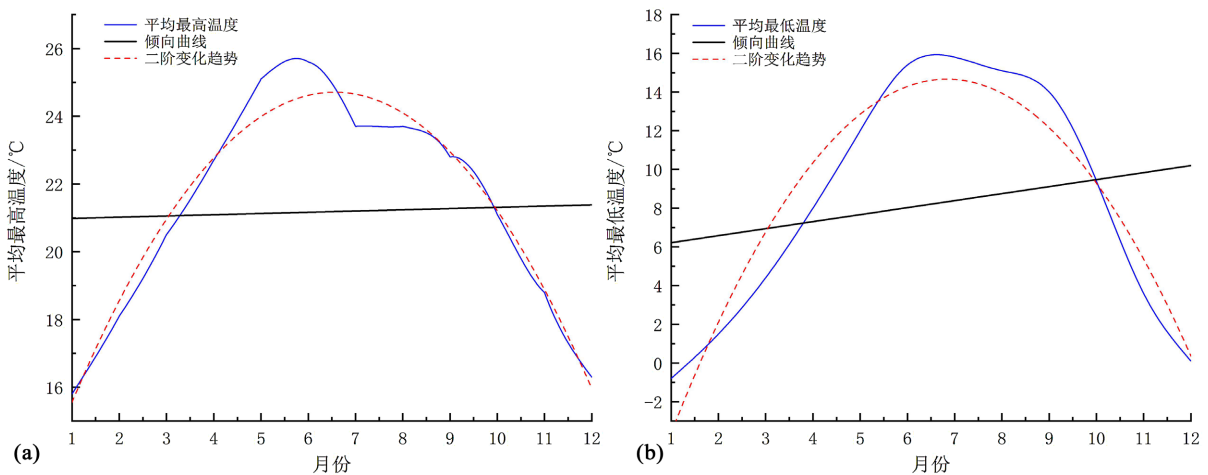


Figure 3. Average maximum temperature trend curve (a) and average minimum temperature trend curve (b) for Lijiang Airport, 2007~2022

图 3. 丽江机场 2007~2022 年平均最高温度趋势曲线(a), 最低温度趋势曲线(b)

分析图 4 二阶变化趋势可知, 丽江机场极端最高温度和丽江机场极端最低温度均成正态分布。而倾向曲线可知丽江机场极端最高温度呈下降趋势, 极端最低温度呈逐渐上升趋势, 两者刚好相反。从整体趋势上看, 丽江机场的极端冷指数在不断升高, 而极端暖指数则在逐步降低, 而全国范围内极端冷指数在不断降低, 极端暖指数在升高, 丽江机场与全国范围内极端气温指数的变化方向正好相反。

通过对丽江机场年平均气温的年尺度 M-K 检验可知, 年平均气温 UB 统计量与 UF 统计量交叉处(突变点)大致出现在 2008 年、2015 年、2019 年及 2020 年前后; 对年平均气温的日尺度 M-K 检验结果显示,

在时间序列上年平均气温 UB 统计量与 UF 统计量交叉处(突变点)大致出现于早上 9 点前后。2015 年、2019 年及 2020 年都是厄尔尼诺年,厄尔尼诺会引起了全球气温的上升,加强全球变暖,可见突变点跟厄尔尼诺事件有着一定的联系。

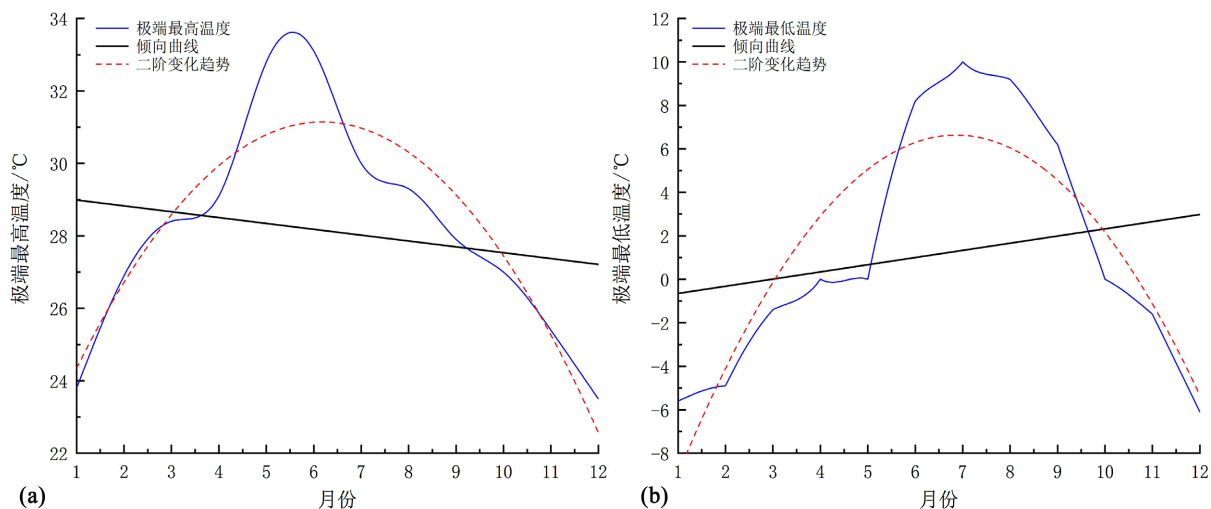


Figure 4. Trend curves of extreme maximum temperature (a) and extreme minimum temperature (b) at Lijiang Airport, 2007~2022

图 4. 丽江机场 2007~2022 年极端最高温度趋势曲线(a), 极端最低温度趋势曲线(b)

通过对 Morlet 小波功率谱(图 5(a))的分析可以看出, 16 年期的年平均气温在年代际尺度上呈现出明显的近 10 个月准周期振荡特征, 为较为稳定的约 10 个月周期变化, 而且这一周期在整个 16 年间始终存在。小波方差图(图 5(b))则反映了气温时间序列在不同月份尺度上的波动强度分布情况, 由图可知, 年平均气温的小波方差在约 10 个月的时间尺度上出现最大峰值, 表明其周期振荡性在约 10 个月附近最为显著, 这一尺度是丽江机场降水变化的第一主周期。

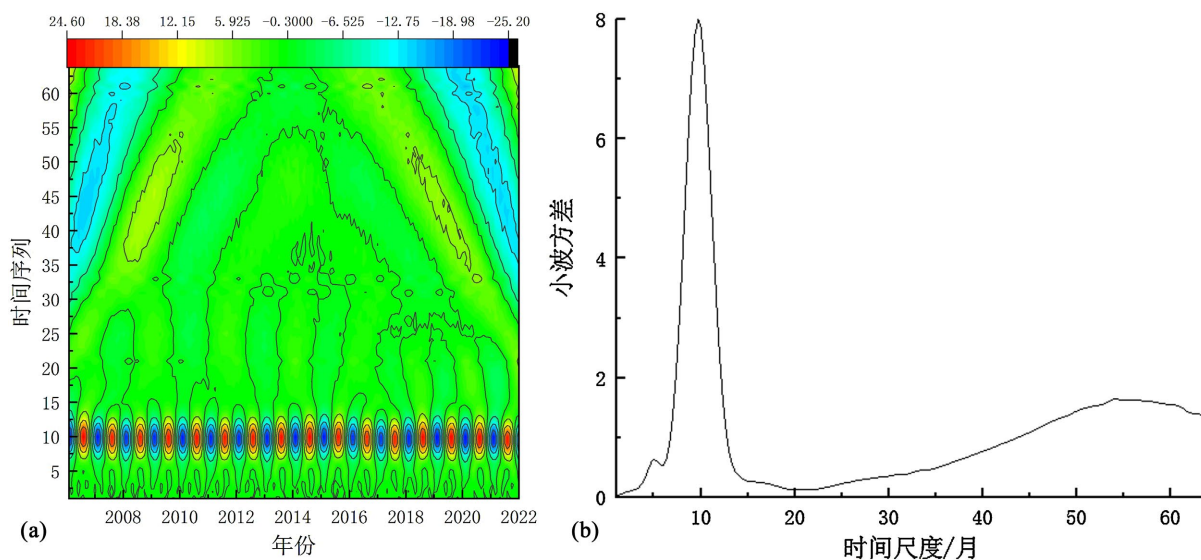


Figure 5. Time-frequency structure of the real part of the annual average temperature wavelet coefficients at Lijiang Airport (a) Wavelet variance (b)

图 5. 丽江机场年平均气温小波系数实部时频结构(a)小波方差(b)

5. 季风与丽江机场气温、降水的相关性分析

在季风气候区,夏季从海洋吹向陆地的主导性风向即为夏季风;简而言之夏季风就是从海洋吹向陆地的风,水汽含量充足,形成丰富的降水。6月份起,夏季风逐渐深入长江流域,该地区进入“梅雨”季。到了7~8月,夏季风推进到中国北部,此时副热带高压控制长江流域,出现“伏旱”现象。9月份,夏季风开始南撤,主要降水带移至四川盆地、云贵高原以及两广南部。10月以后,夏季风基本离开中国大陆。云南丽江机场在夏季受热带海洋气团影响,处于日照偏少、降雨偏多、空气湿度大的阶段,白天盛行的主要风向为西南风。

在冬季,海面温度高于附近陆地温度,海洋上形成低压区,陆地上则形成寒冷的高压区,气流便在大范围内由大陆吹向海洋,这种情形就形成冬季风。一般每年11月至次年2月为冬季风盛行时期。冬季西伯利亚和蒙古一带的干冷空气对丽江机场的气候变化有着重要影响。

5.1. 夏季风 I_{sw} 与丽江机场气温、降水的相关性分析

结合夏季风的特点对丽江机场气温月平均值、降水量月平均值与夏季风指数进行相关性统计分析,得到的相关系数值通过了95%的置信度检验,分析结果见表1。根据表1可知,7月丽江机场区域气温与夏季风的相关性较好。降水量与夏季风的相关系数大于0.5,表明相关性较好,7月计算出来的相关系数是正值,这正好说明丽江机场的降水量越多时夏季风越强。7月 I_{sw} 与气温的相关系数是负值,说明这个月季风与气温是反相关关系,即夏季风越强,气温越低;由前面的分析可知7月为降水日数最多的月份,随着夏季风增强,使得云和降水增多,削弱了到达地面的太阳辐射,导致白天气温偏低。8月气温、降水量与 I_{sw} 呈显著的正相关关系。9月气温与 I_{sw} 存在负相关,且气温的相关系数较大,而降水的相关系数则较小,说明此月季风对温度的影响比较明显,跟降水的关系不太好。计算夏季平均指数可知,气温月平均值、降水量月平均值与夏季平均指数呈正相关性。分析可知,这种相关性的变化并不会因为时间间隔的拉长而逐渐减弱,而是呈现出强弱起伏的特征,其中8月的相关性和夏季平均指数的趋势一样,均是正相关,综合来看它更能体现夏季的整体状况,即气温随着夏季风的增强而升高,同时降水量也越多。非线性变化的相关系数,说明 I_{sw} 对丽江机场气温有着不连续性的影响,有时候是正相关而有时则为负相关。而 I_{sw} 对降水量的影响,除6月外,相关系数基本都为正值,可见 I_{sw} 对丽江机场降水量有着十分重要的影响,丽江机场夏季降水量的多少与季风密不可分。夏季风指数与降水量的变化趋势一致,这是分析夏季风指数及降水量的年际变化曲线发现的,气温与降水量变化趋势在相对强的夏季风时期几乎完全相同,这说明季风气候是与降水量及气温变化有联系的。

Table 1. Correlation coefficients between the summer monsoon and the temperature and precipitation at Lijiang Airport

表 1. 夏季风与丽江机场气温、降水的相关系数

	6月	7月	8月	9月	夏季
气温	0.252	-0.528	0.682	-0.528	0.305
降水	-0.341	0.625	0.513	0.137	0.459

5.2. 冬季风 I_N 与丽江机场气温、降水的相关性分析

通过对丽江机场气温月平均值及降水量分别与冬季风之间关系进行统计分析,其相关系数在95%置信水平上通过了检验。每年11月至次年2月期间冬季风会对丽江机场气候变化产生十分重要的影响,在计算完成冬季风与丽江机场气温、降水的相关系数后形成了表2。由表2可知,1月 I_N 与丽江机场气温相关系数为0.41,2月约为0.43,它们呈显著的正相关关系,11月 I_N 与丽江机场气温相关系数为-0.56,12

月约为-0.66,可见冬季风对气温的高低影响是反向的。气温与冬季平均指数是不太明显的负相关关系,但总体可看出气温月平均值随着冬季风的增强而降低。分析表中的数据可知,11月季12月冬季风与气温的相关性要比1月及2月的相关性好,也更能代表冬季风与气温的关系。在2月份 I_N 与其降水量成正相关,其他月份相关系数都为负值,在11~12月份 I_N 与丽江机场降水为明显负相关性;随着冬季风的增强,丽江机场降水量会越来越少。冬季均值指数对降水量的影响是反向的。综上所述,冬季风影响着丽江机场气温及降水量,此外,相对于温度来说,季风指数与降水负相关性更好,可见冬季季风越强,降水越少。

Table 2. Correlation coefficients between the winter monsoon and the temperature and precipitation at Lijiang Airport
表 2. 冬季风与丽江机场气温、降水的相关系数

	1 月	2 月	11 月	12 月	冬季
气温	0.415	0.426	-0.563	-0.657	-0.263
降水	-0.268	0.182	-0.425	-0.368	-0.325

6. 结论

(1) 近 16 年来丽江机场的年降水日数总体呈现近似正态分布形态。丽江机场月降水日数的线性变化趋势则表现为总体上升趋势。丽江机场降水日数呈波动分布的上升趋势,年际变化不明显。丽江机场的降水在 7~9 月最为集中出现,其变化中以约 10 个月的周期振荡最为显著,是该地区降水变化的首要主周期。

(2) 平均最低温度的变化规律与平均最高温度相同,二者的峰值均出现在 6 月,谷值均出现在 1 月。极端低温整体呈现升高的趋势,极端高温呈现降低的趋势;在 10 个月的时间尺度下,丽江机场年平均温度与降雨量具有相同的周期性变化。

(3) 7 月及 9 月 I_{sw} 与气温的相关系数是负值,6 月及 8 月 I_{sw} 与气温的相关系数是正值,非线性变化趋势的数值,说明丽江机场气温与夏季风的关系是不连续性的,有时候是正相关而有时则为负相关。分析夏季平均指数可得,气温月平均值与夏季平均指数关系是正向的。夏季风与降水量呈正相关关系,即降水量随着夏季风增强而增多。而夏季风对丽江机场气温有着不连续性的影响,存在间歇性或波动性的影响方式。

(4) 冬季风强度与丽江机场气温、降水量相关性比较显著。 I_N 与气温、降水量是明显的负相关关系,即气温及降水量随着冬季风增强而减少。

参考文献

- [1] 郭大梅,章丽娜,王秀明,等. 2016 年初冬陕西一次高架雷暴天气过程分析[J]. 气象, 2018, 44(11): 1404-1413.
- [2] 褚荣浩,李萌,姚叶青,等. 华山黄山地区雷暴变化特征及其规律分析[J]. 气象与环境科学, 2022, 45(3): 11-21.
- [3] 马晓玲,李德帅,胡淑娟. 青海地区雷暴、冰雹空间分布及时间变化特征的精细化分析[J]. 气象, 2020, 46(3): 301-312.
- [4] 唐红忠,白慧,舒兴武,等. 近 51 年贵州南部冬季气温气候特征及其变化规律[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2012, 34(S2): 374-380.
- [5] 万云霞,朱保林,张万诚,等. 云南秋季降水的变化特征及其成因分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1): 62-71.
- [6] 杨萍,肖子牛,石文静. 基于小时降水资料研究北京地区降水的精细化特征[J]. 大气科学, 2017, 41(3): 475-489.
- [7] 刘扬,刘屹岷. 我国西南地区秋季降水年际变化的空间差异及其成因[J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1215-1226.
- [8] 余波,陈海山,孙悦. 东亚中纬度夏季陆面增暖与土壤湿度异常的联系[J]. 大气科学学报, 2020, 43(1): 201-211.
- [9] 代冰冰,刘遼,高云峰,等. 云南雨季开始期的特征以及与南海季风和印度季风开始期的可能关系[J]. 云南地理

- 环境研究, 2013, 25(5): 84-89.
- [10] 崔桂凤, 荀学义, 银山, 等. 鄂尔多斯市春季大风、沙尘暴变化特征与高原季风的关系[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2010, 39(2): 191-197.
 - [11] 刘宁微, 李晓岚, 任万辉, 等. 东亚夏季风对中国东部臭氧输送过程的影响[J]. 大气科学学报, 2021, 44(2): 261-269.
 - [12] 郑彬, 黄燕燕, 谷德军, 等. 华南黑碳气溶胶浓度与南海夏季风关系的年代际突变[J]. 大气科学学报, 2021, 44(4): 507-517.
 - [13] 祝从文, 何金海, 吴国雄. 东亚季风指数及其与大尺度热力环流年际变化关系[J]. 气象学报, 2000(4): 391-402.
 - [14] 张自银, 龚道溢, 胡淼, 等. 多种东亚冬季风指数及其与中国东部气候关系的比较[J]. 地理研究, 2012, 31(6): 987-1003.
 - [15] 乔云亭, 陈烈庭, 张庆云. 东亚季风指数的定义及其与中国气候的关系[J]. 大气科学, 2002(1): 69-82.
 - [16] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系[J]. 应用气象学报, 1994(2): 218-225.