

云南省近40年降水、气温变化趋势分析

刘志勇*, 贾 韬*, 代堂刚, 马 杰, 周 亚

云南省水文水资源局昭通分局, 云南 昭通

收稿日期: 2025年6月11日; 录用日期: 2025年7月9日; 发布日期: 2025年8月26日

摘 要

本研究运用泰森多边形法、面积加权法、时间序列法以及Mann-Kendall趋势检验等统计学方法, 对云南省1980年至2021年期间的降水量与气温变化趋势进行了深入的定量分析。研究发现, 在过去42年间, 云南省的降水量总体上呈现出显著的下降趋势, 与此同时, 气温则表现出上升趋势, 其中平均降水量减少了约300 mm, 平均气温上升了近1.0℃。该研究结果对于相关管理部门深入理解云南省气候变化的特征、进行未来气候趋势的预测以及制定相应的气候适应策略具有重要的参考价值。

关键词

降水, 气温, 趋势分析, 云南省

Analysis of Precipitation and Temperature Change Trend in Yunnan Province in Recent 40 Years

Zhiyong Liu*, Tao Jia*, Tangang Dai, Jie Ma, Ya Zhou

Zhaotong Branch of Yunnan Hydrology and Water Resources Bureau, Zhaotong Yunnan

Received: Jun. 11th, 2025; accepted: Jul. 9th, 2025; published: Aug. 26th, 2025

Abstract

This study employs statistical methods including the Thiessen polygon method, area-weighted method, time series analysis, and Mann-Kendall trend test to conduct an in-depth quantitative analysis of precipitation and temperature variation trends in Yunnan Province from 1980 to 2021. The research findings indicate that over the past 42 years, Yunnan Province has exhibited a significant overall declining trend in

作者简介: 刘志勇(1981.7-), 男, 云南彝良人, 工程师, 本科, 主要从事水资源调查、水环境监测与分析评价工作, Email: 286146806@qq.com

*共同第一作者。

文章引用: 刘志勇, 贾韬, 代堂刚, 马杰, 周亚. 云南省近 40 年降水、气温变化趋势分析[J]. 水资源研究, 2025, 14(4): 417-424.

DOI: 10.12677/jwrr.2025.144045

precipitation alongside a rising trend in temperature, with average precipitation decreasing by approximately 300 mm and average temperature increasing by nearly 1.0°C. These research outcomes hold important reference value for relevant administrative departments to gain a deeper understanding of the characteristics of climate change in Yunnan Province, predict future climate trends, and formulate corresponding climate adaptation strategies.

Keywords

Precipitation, Air Temperature, Trend Analysis, Yunnan Province

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. 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

降水量与气温作为气候变化的关键气候指标,其时空分布特征及演变趋势对于指导科学实践活动具有至关重要的作用。气候变化作为全球性的环境议题,已受到广泛关注[1]。云南省作为中国西南地区的核心省份,其气候变迁的趋势与特性对当地的生态系统、农业生产及人类生活均产生深远影响。为深入探究云南省 1980~2021 年间近四十年的降水量与气温变化趋势,本研究采用泰森多边形、面积加权法对全省各地的降水量与气温数据进行空间插值处理,以获得全省范围内的平均降水量与气温数据。运用时间序列分析法对平均降水量与气温数据进行演变趋势分析;同时采用 Mann-Kendall 非参数检验法对降水量与气温的变化趋势进行显著性检验。本研究对云南省近四十年的降水量与气温变化趋势的分析,有助于深化对该地区气候变化特征的理解,为相关部门掌握当地降水量与气温变化规律、预测未来气候走向以及制定应对气候变化的策略提供科学参考。

2. 项目概况

2.1. 研究概况

云南位于中国西南边陲,省内地势呈现西北高、东南低的总体形态,自北向南呈阶梯状逐级下降。省境大部属于亚热带和热带季风气候区,滇西北属高原山地气候。云南东南部离北部湾约 440 km,西南部距孟加拉湾约 600 km,在东南和西南两大海洋暖湿气流的影响下,省境内降水充沛,水资源相对丰富。云南省四季变化不明显,气候特征主要表现为干季和湿季交替,干季(11~4 月)因受来自印度、巴基斯坦北部的干暖气流控制,天气晴朗,干燥、风速大、蒸发量大,降水量十分稀少,仅有年降水量的 5%~20%;湿季(5~10 月)受东南、西南暖湿气流影响,并处于暖湿气流向北输送的通道上,湿度大,多降水,集中了全年降水量的 80%~95%,尤其是 7、8、9 三个月更为集中。年平均气温为 10°C~12°C,最热七月月均气温为 19°C~22°C,最冷一月月均气温为 6°C~8°C。

2.2. 数据来源与处理

本文收集具有 30 年以上长系列资料的气象站 191 个,资料来源于李学辉等(2023)编写云南省“十四五”水文科研项目报告《变化环境下云南省水面蒸发变化趋势及归因研究》[2]时收集,在报告编制进程中已对各站降水、气温数据进行审查、分析,对年值、个别月份或天数缺测的资料,移用自然地理条件和气候条件基本一致的邻近站同期值或本站同期多年平均值进行插补。经长短系列降水、气温代表性分析,1980~2021 年的降水、气温资料基本能满足地区分布规律研究的要求。经整理审查,选取 1980~2021 年云南省 97 个气象站降水、气温数

据作为代表。运用泰森多边形和面积加权法计算各州市、各方位的平均降水量及蒸发量,分析云南省 42 年降水、气温在年际和空间上的变化情况。代表站位置如图 1。

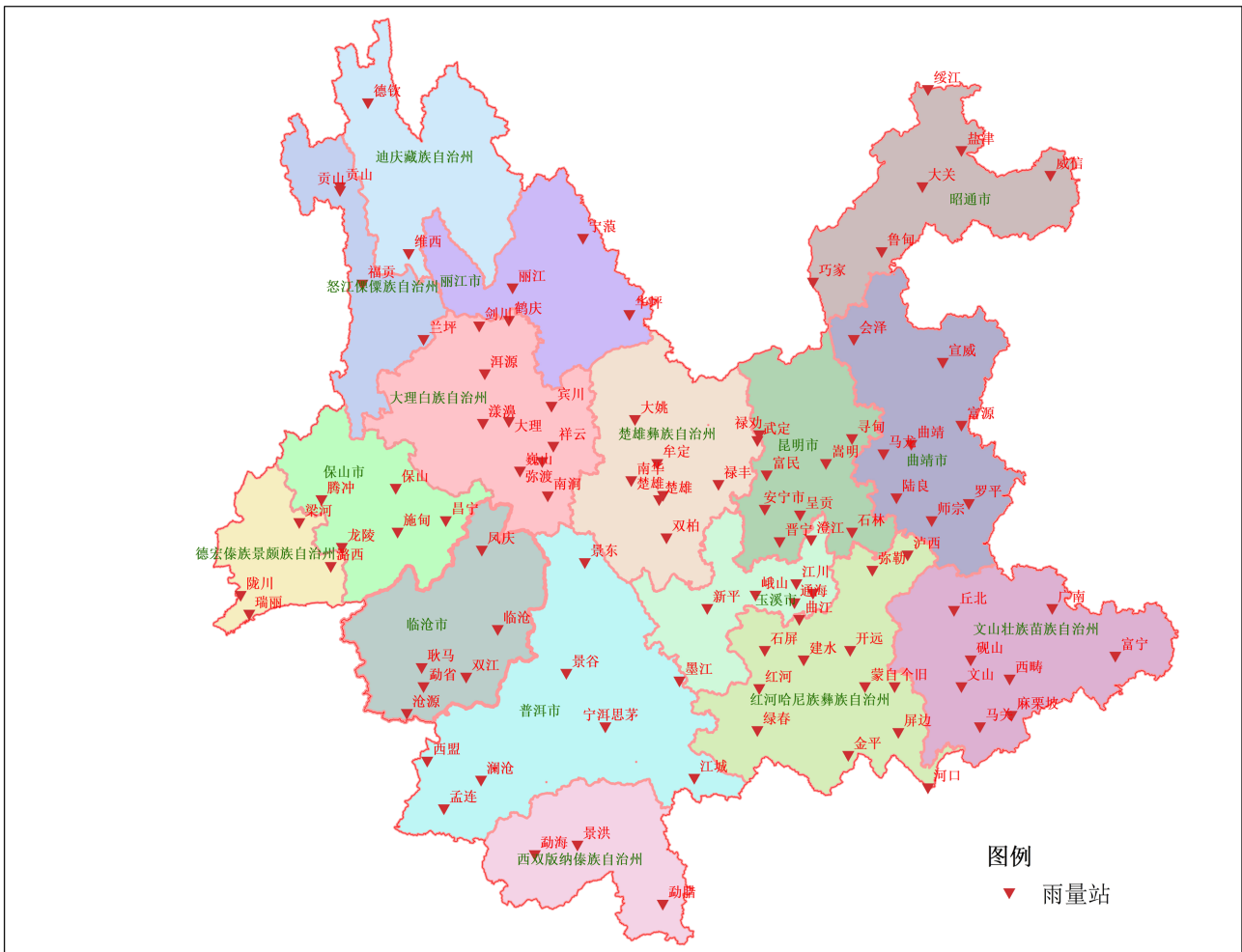


图 1. 云南省代表站分布示意图

3. 研究方法

本文运用时间序列法对降水量及蒸发量的年际变化开展趋势分析;运用 Mann-Kendall 法开展降水量及蒸发量在年际变化上的突变检验及趋势变化分析。

Mann-Kendall 法是一种非参数检测序列变化趋势和突变的方法,是世界气象组织推荐使用的一种常见方法。该方法广泛运用在水文气象要素时间序列的趋势检验中,趋势检验效果较好,其优点是不需要样本遵从特定的分布,也不受少数异常值的干扰,本文采用 Mann-Kendall 法对云南省降水、气温变化进行突变和变化趋势分析。

对于时间序列 $x_i (i = 1, n)$, 构造一秩序列 S_k 。 S_k 表示第 i 个样本中 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累计数, 表达式为:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j = 1, i; k = 1, n)$$

在时间序列独立随机的假定下, S_k 的均值和方差分别为 $E(S_k) = k(k-1)/4$ 、 $Var(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$, 则统计量 UF_k 公式定义为 23:

$$UF_k = \frac{|S_k - E(S_k)|}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad k=1,2,\cdots,n$$

UF_k 为标准正态分布，给定显著性水平 α ，若 $|UF_k| > U_\alpha$ ，则表明时间序列存在明显的趋势变化， UF_k 大于 0，表示序列呈上升趋势，小于 0 表示是下降趋势。将 UF_k 在时间坐标轴上绘制成一条曲线，然后将时间序列逆序排列成 $x_n, x_{n-1}, \cdots, x_1$ ，按上述方法制作逆序系列的统计量 UB_k 曲线。对生成的 U_k 系列进行检验，给定显著性水平 $\alpha=0.05$ ，在置信区间 $|U| \leq 1.96$ 的范围内，如果两条曲线出现交叉点，则该点对应的时间为序列发生突变的时间点[3] [4]。

4. 结果分析

4.1. 降水变化趋势分析

4.1.1. 各州市降水、气温变化

1) 降水变化

经分析，云南省降水量从 1980 年到 2021 年 42 年间降水减少量在 130.0~706.7 mm 之间，各州市平均每年减少降水量在 3.1~16.8 mm 之间。其中怒江减少量最大，2021 年较 1980 年减少降水量为 706.7 mm，平均每年减少 16.8 mm；昭通、文山、丽江、昆明减少量在 200 mm 以下，曲靖、红河、大理、楚雄、玉溪减少量在 200~300mm；西双版纳、普洱、临沧减少量 300~400 mm；迪庆减少量为 430.0 mm，保山减少量为 522.0 mm，德宏减少量为 683.3 mm (见表 1)。

表 1. 各州市降水量及气温变化统计表

序号	州市	降水减少量(mm)	每年减少(mm)	气温升高量(℃)	平均每年升高(℃)
1	昭通	148.3	3.5	1.2	0.03
2	曲靖	202.5	4.8	0.9	0.02
3	文山	189.1	4.5	0.8	0.02
4	红河	299.2	7.1	0.9	0.02
5	西双版纳	373.3	8.9	0.8	0.02
6	普洱	375.0	8.9	0.9	0.02
7	临沧	320.0	7.6	1.0	0.02
8	德宏	683.3	16.3	0.7	0.02
9	保山	522.0	12.4	1.0	0.02
10	大理	212.5	5.1	1.2	0.03
11	怒江	706.7	16.8	1.1	0.03
12	迪庆	430.0	10.2	1.1	0.03
13	丽江	130.0	3.1	1.2	0.03
14	楚雄	247.9	5.9	1.2	0.03
15	昆明	166.9	4.0	1.0	0.02
16	玉溪	215.8	5.1	1.0	0.02

从年际变化来看，云南省的降水量在 1980 年至 2021 年期间呈现出波动下降的趋势。特别是近年来，降水量减少的趋势更为明显。这种减少不仅影响了当地的水资源供应，还可能对农业生产和生态环境产生深远影响。进一步分析季节性降水变化，发现云南省的降水量减少主要集中在夏季和秋季。这两个季节的降水量减少可能导致水资源短缺问题更加严重，尤其是在农业灌溉和居民生活用水方面。而春季和冬季的降水量变化相对较小，但仍然呈现出下降的趋势。

2) 气温变化

气温从 1980 年到 2021 年 42 年间各州市气温变化在 0.7℃~1.2℃之间，气温升高最多的是昭通、大理、丽江、楚雄升高 1.2℃，气温升高最少的是德宏升高了 0.7℃，其他州市在 0.8℃~1.1℃；各州市平均每年升高气温 0.02℃~0.03℃。

在云南省的各个州市中，大部分地区的气温都呈现出上升的趋势。其中，一些高海拔地区的上升速度更快，这可能与全球气候变化有关。同时，低海拔地区的气温上升速度相对较慢，但仍然呈现出上升的趋势。

云南省的气温在过去的 42 年间发生了显著的变化。整体上呈现波动上升的趋势。特别是近年来，气温上升的速度有所加快。这种上升可能对当地的气候变化产生深远影响，从而加剧一些自然灾害的发生。

4.1.2. 降水、气温空间变化

把云南省按方位分区进行划分，得出不同方位分区的降水量、气温的空间变化(见表 2)。从表 2 统计看，各方位降水量 1980~2021 年减少量在 130.0~430.0 mm 之间，较大的为云南西北部减少量为 430 mm，平均每年减少 10.2 mm；北部减少量最少为 130 mm，平均每年减少 3.1 mm；其次是东北部减少量为 148 mm，平均每年减少 3.5 mm；各方位平均每年减少量为 3.1~10.2 mm。从图 2 看，云南省 1980~2021 年降水量各方位均呈减少趋势，但不同地区的减少程度有所差异。其中，云南省西部的降水量减少趋势较为显著，可能与全球气候变化和人类活动等因素有关[5]。

表 2. 各方位分区降水量减少及气温升高统计表

序号	地理位置	涉及州市	降水减少量(mm)	平均每年减少量(mm)	气温升高量(℃)	平均每年升高(℃)
1	东北	昭通	148.3	3.5	1.1	0.03
2	东部	曲靖	202.5	4.8	0.9	0.02
3	东南	文山	185.0	4.4	1.0	0.02
4	南部	红河、西双版纳	314.0	7.4	0.9	0.02
5	西南	普洱、临沧	375.0	8.9	0.9	0.02
6	西部	德宏、保山、大理、怒江	404.0	9.6	0.9	0.02
7	西北	迪庆	430.0	10.2	1.0	0.03
8	北部	丽江	130.0	3.1	1.2	0.03
9	中部	楚雄、昆明、玉溪	207.9	4.9	1.1	0.02
		平均	294.7	7.0	1.0	0.02

云南省气温整体呈上升趋势(见图 3)，升高量为 0.9℃~1.2℃，其中北部 42 年间升高了 1.2℃，其他方位升高量为 0.9℃~1.1℃，各方位平均每年升高 0.02℃~0.03℃。2021 年较 1980 年降水量减少了近 300 mm，气温升高了近 1.0℃，气温每升高 0.1℃，降水量减少 30 mm。这一变化趋势表明，云南省的气候正在逐渐变暖。从空间变化来看，云南省的降水量和气温变化呈现出一定的地域性特征，西部的降水量减少趋势较为显著，而北部的气温上升速度较快，这种差异可能与不同地区的地理环境、气候条件和人类活动等因素有关，需要进一步的研究。

究和分析来揭示其背后的原因。

云南省的降水量和气温在过去 42 年间都呈现出一定的变化趋势。降水量整体呈现减少的趋势, 平均每年减少 7.0 mm, 其中西北部减少最为明显, 平均每年减少 10.2 mm。而气温则整体呈现上升的趋势, 平均升高了 1.0℃, 其中北部气温上升最为明显, 升高了 1.2℃。这些变化趋势表明, 云南省的气候正在经历一定的转型, 可能会对当地的生态环境和农业生产产生一定的影响。

4.2. 降水、气温突变分析

利用 Mann-Kendall 趋势突变检验, 对 97 个代表站降水量及气温开展趋势变异诊断。

4.2.1. 降水趋势变异诊断

经分析, 97 个代表站降水量均呈下降趋势, 变化趋势不显著的有 16 个, 占 16.5%, 变化趋势显著的有 37 个, 占 38.1%, 变化趋势极显著的 44 个, 占 45.4%。

97 个代表站中突变检验变化不显著的有 5 个, 占突变检验总数 5.15%, 突变年份在 1987~1992 年之间; 显著变化的有 49 个, 占分析总数的 50.5%, 突变年份 1987~1992 年的有 38 个, 其他突变年份的有 11 个; 极显著变化的站有 43 个, 突变年份 1987~1992 年的有 34 个, 其他突变年份的有 9 个。从 97 个代表站突变检验趋势图(略)看, 1982~1992 年全省不同区域的降水量逐渐发生了突变, 也就是说云南省的降水量在过去 42 年间整体呈

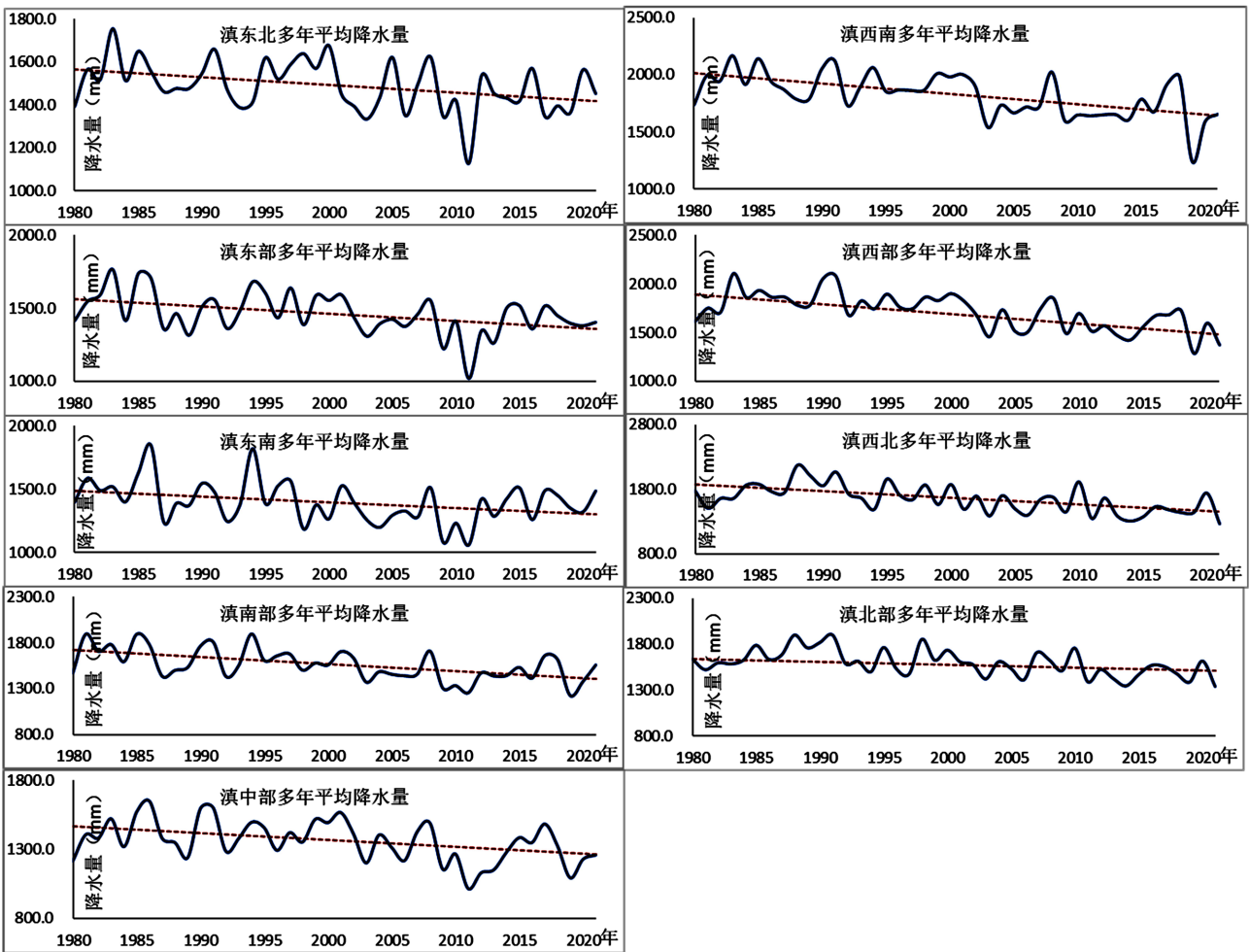


图 2. 云南省各方位 1980~2021 降水量年变化趋势图

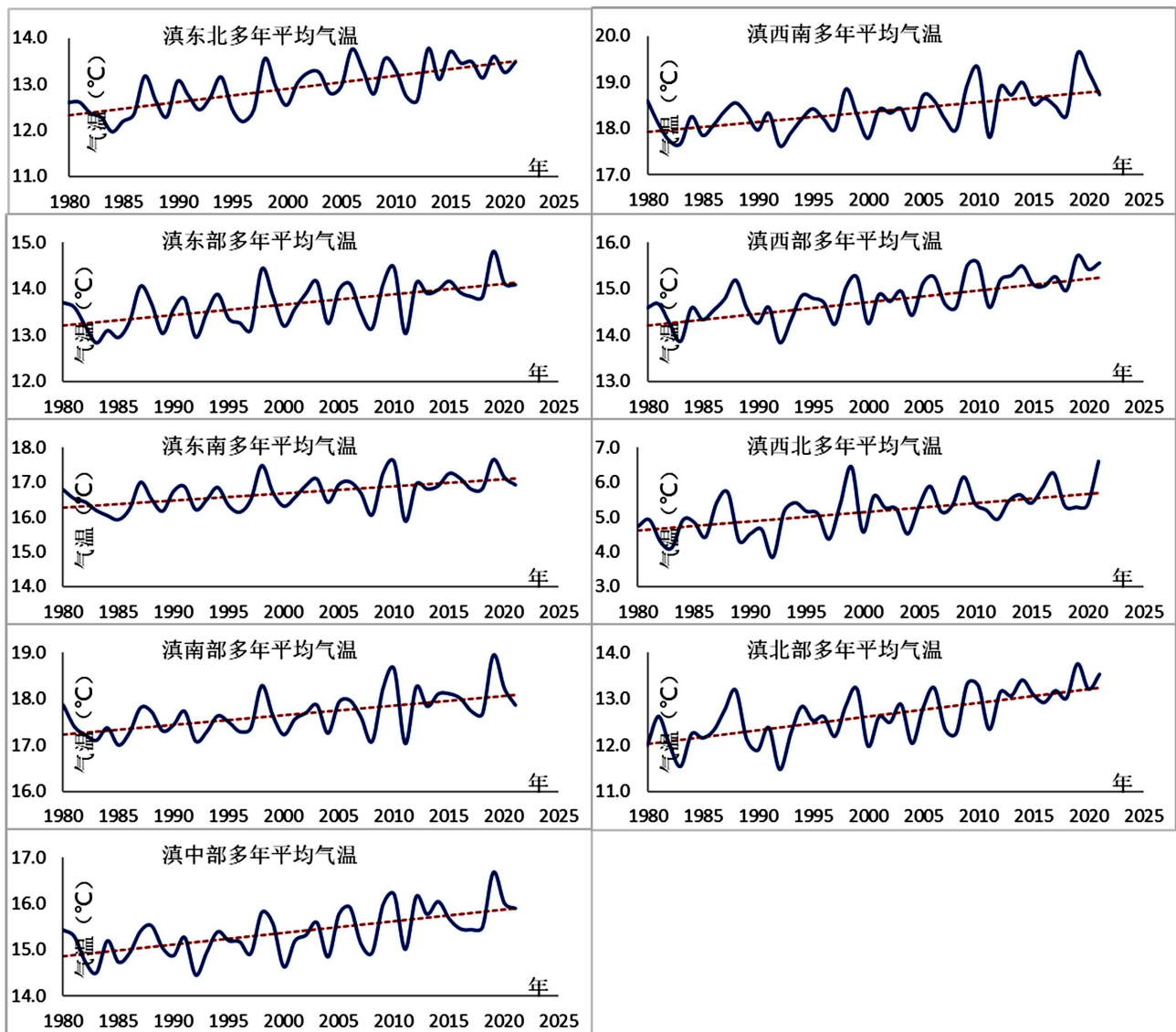


图 3. 云南省各方位 1980~2021 气温年变化趋势图

现减少的趋势，通过对突变年份的分析，发现全省的降水量在 20 世纪 80 年代初期到 90 年代初期发生了明显的从上升到下降的转折变化。

4.2.2. 气温趋势变异诊断

对 97 个代表站的气温数据进行趋势变异诊断分析，结果显示，气温均呈上升趋势，其中变化趋势不显著的有 12 个，占 12.4%，变化趋势显著的有 41 个，占 42.3%，变化趋势极显著的有 44 个，占 45.3%。

在突变检验中，97 个代表站中变化不显著的有 7 个，占突变检验总数的 7.2%，突变年份主要在 1982~1985 年之间；显著变化的有 45 个，占分析总数的 46.4%，其中突变年份在 1982~1985 年的有 32 个，其他突变年份的有 13 个；极显著变化的有 45 个，其中突变年份在 1982~1985 年的有 33 个，其他突变年份的有 12 个。

通过分析可知，过去 42 年中气温整体呈现上升的趋势，在 2000~2005 年间发生了明显的从下降到上升的转折变化，这些变化可能对云南省的生态环境、农业生产和社会经济发展产生一定的影响，因此需要进一步的研究和分析来揭示其背后的原因，并采取相应的措施来应对气候变化带来的挑战。

4.3. 变化趋势归因分析

云南省降水量和气温的变化趋势受到多种因素的影响。首先,全球气候变化是影响云南省气候的重要因素之一。随着全球气候变暖,云南省的气温也在逐渐上升。其次,地形地貌、植被覆盖等自然因素也会对云南省的气候产生影响。例如,云南省地势高低起伏,山脉众多,地形复杂,这些地形因素会影响气流的运动和分布,从而影响降水量和气温的变化。此外,人类活动也是影响云南省气候的重要因素之一。随着城市化进程的加速和人口的不断增长,人类活动对气候的影响也越来越显著[6]。

5. 结论与展望

经以上分析发现:

1) 1980 年至 2021 年期间,云南省降水量平均减少约 294.7 mm, 年均降水量减少 7.0 mm。怒江地区降水量减少最为显著达 706.7 mm, 平均每年减少 16.8 mm; 昭通、文山、丽江、昆明减少量在 200 mm 以下, 曲靖、红河、大理、楚雄、玉溪减少量在 200~300 mm; 西双版纳、普洱、临沧减少量 300~400 mm; 迪庆减少量为 430.0 mm, 保山减少量为 522.0 mm, 德宏减少量为 683.3 mm。

2) 云南省 42 年间平均气温上升 1.0℃, 各州市气温变化范围为 0.7℃~1.2℃, 气温升高最多的是昭通、大理、丽江、楚雄 2021 年较 1980 年升高 1.2℃, 气温升高最少的是德宏升高了 0.7℃, 其他州市在 0.8℃~1.1℃; 各州市平均每年升高气温 0.02℃~0.03℃。

3) 1980 年至 2021 年云南省 42 年间降水量减少量在 130.0~430.0 mm 之间, 较大的为西北部减少量为 430 mm, 平均每年减少 10.2 mm; 北部减少量最少为 130 mm, 平均每年减少 3.1 mm; 其次是东北部减少量为 148 mm, 平均每年减少 3.5 mm; 各方位平均每年减少量为 3.1~10.2 mm。

4) 本研究采用 Mann-Kendall 法对云南省 1980 年至 2021 年的降水量、气温变化趋势及突变进行了分析。云南省降水量在近 40 年内呈现下降趋势, 而气温则呈上升趋势。降水量在 1982~1992 年 12 年间经历了从逐渐增加到逐渐减小的转折变化; 气温在 1982~1985 年 4 年间经历了从逐渐减小到逐渐增加的转折变化。

通过研究分析云南省对 1980 年至 2021 年的降水、气温变化趋势, 云南省降水量总体呈现减少趋势, 而气温则呈上升趋势。这些趋势与全球气候变化的趋势一致[7][8], 表明云南省的气候也在发生变化。为了应对气候变化带来的挑战, 需要根据区域和人群的特点及需求, 制定更为精准和有效的应对及适应策略, 采取积极措施以减缓气候变化的影响, 例如推广耐候作物品种、改善水资源管理、加强生态保护和恢复等。同时, 也需要加强全省各地的气候变化的监测和研究, 以更好地了解 and 掌握本地的气候变化的趋势和可能影响, 为应对未来气候变化带来的挑战提供科学有力支撑。

参考文献

- [1] 杨士力, 王化儒, 尹双星. 近 60 年福建地区降水及时空演变特征研究[J]. 水文水资源, 2023(9): 47-52.
- [2] 李学辉, 谷桂华, 代堂刚, 等. 变化环境下云南省水面蒸发变化趋势及归因研究[R]. 昆明: 云南省水文水资源局, 2023.
- [3] 刘强, 张俊华, 李红燕. 基于 Mann-Kendall 方法的近 50 年来云南省气候变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(29): 185-191.
- [4] 赵嘉阳, 郭福涛, 梁慧玲, 等. 福建长汀红壤区 1965-2013 年气温和降水量的变化趋势[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(1): 77-83.
- [5] 胡婷, 孙颖. IPCC 第 6 次报告解读: 人类活动对气候系统的影响[J]. 气候变化研究进展 2021, 17(6): 644-651.
- [6] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 中国近百年来的温度变化[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2003, 33(4): 379-387.
- [7] 刘春蓁, 巢清尘, 王守荣, 等. 水文气象学领域的水文循环研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(1): 1-10.
- [8] 张明军, 王圣杰, 李忠勤, 等. 近 50 年来中国干旱区降水的时空变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3-16.