

1970~2024年云南马关县气温变化特征分析

段雪影¹, 王 邴^{2*}, 张 璐³

¹马关县气象局, 云南 文山

²文山州气象局, 云南 文山

³彝良县气象局, 云南 昭通

收稿日期: 2025年9月29日; 录用日期: 2025年10月26日; 发布日期: 2025年11月4日

摘 要

基于1970~2024年马关县气温资料, 本文运用线性趋势分析、累积距平、M-K突变检验等方法, 对马关县气温变化特征进行了分析。研究结果显示, 近55年来, 尤其是2010年代以后, 马关县的年平均最高气温、年平均气温、年平均最低气温、极端最高气温均呈现出显著的升高趋势, 这一升温现象主要受年平均最低气温增温和秋季增温的影响。突变检验结果表明, 年平均最高气温、极端最高气温的增温突变较为显著, 分别发生在2002年、2006年。马关县的气温变化不仅具有长期上升趋势, 还存在年代际和季节性的差异, 该研究为马关县的气象预报预警、农业生产、生态环境保护及防灾减灾规划提供了科学依据, 有助于更好地应对气候变化带来的挑战。

关键词

气温, 马关, 线性趋势, M-K突变检验, 变化特征

Analysis of the Characteristics of Temperature Changes in Maguan County, Yunnan from 1970~2024

Xueying Duan¹, Li Wang^{2*}, Lu Zhang³

¹Maguan County Meteorological Bureau, Wenshan Yunnan

²Wenshan Prefecture Meteorological Bureau, Wenshan Yunnan

³Yiliang County Meteorological Bureau, Zhaotong Yunnan

Received: September 29, 2025; accepted: October 26, 2025; published: November 4, 2025

*通讯作者。

文章引用: 段雪影, 王邴, 张璐. 1970-2024 年云南马关县气温变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1164-1174. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146116

Abstract

Based on the temperature data of Maguan County from 1970 to 2024, this study analyzed the temperature change characteristics of Maguan County by using linear trend analysis, cumulative anomaly, and M-K mutation test methods. The results show that over the past 55 years, especially since the 2010s, the annual average maximum temperature, annual average temperature, annual average minimum temperature, extreme maximum temperature of Maguan County have all shown a significant upward trend, and this is mainly influenced by the increase in the annual average minimum temperature and the warming in autumn. The mutation test results indicate that the warming mutations of the annual average maximum temperature, extreme maximum temperature are significant, with mutations occurring in 2002, 2006 respectively. The temperature changes in Maguan County not only show a long-term upward trend but also have interdecadal and seasonal differences. This research provides a scientific basis for meteorological forecasting and warning, agricultural production, ecological environment protection and disaster prevention and mitigation planning in Maguan County, which is helpful for better coping with the challenges brought by climate change.

Keywords

Temperature, Maguan, Linear Trend, M-K Mutation Test, Variation Characteristic

Copyright © 2025 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

在全球气候变暖的大背景下,气温变化已成为各国关注的焦点。据研究,我国近 50 年平均地表温度上升了 1.45°C ,增温速率达到 $0.29^{\circ}\text{C}/10$ 年[1],这一显著上升趋势对生态环境、农业生产、人类健康及社会经济等多个方面均带来了不同程度的影响。气温的升高不仅会导致生物多样性减少、植被覆盖率变化、作物生长周期缩短、病虫害频发,还会影响农业水资源分配、增加能源需求、改变旅游业格局、加大基础设施负担,并可能加剧极端天气事件和疾病传播的风险[2]-[4]。因此,深入研究和理解区域气温变化特征,对于制定有效的应对措施、减轻气候变化带来的负面影响具有重要意义[5]-[10]。

云南省作为我国低纬高原地区,其气候特征具有显著的地域性和复杂性[11]-[13]。马关县位于云南省东南部,属亚热带东部季风气候区,干冷同季、雨热同步,立体气候明显。该县以三七、红果参、砂仁、草果、香蕉、油菜花等农作物为特色产业,农林牧渔业是当地的第一产业。因此,气温变化对马关县的产业发展、居民生活等方面具有至关重要的影响。

为了准确掌握马关县的气温变化规律,为当地气象预报预警、农业生产、生态环境保护及防灾减灾规划提供科学依据,本文基于马关县国家气象观测站 1970~2024 年的气温资料,运用线性趋势分析、累积距平、M-K 突变检验等气象统计分析方法[14],对马关县近 55 年的气温变化特征进行了深入分析。通过本研究,我们期望能够揭示马关县气温变化的趋势、突变特征及季节性差异,为应对气候变化、保障当地经济社会可持续发展提供有力支持。

2. 资料与方法

本研究利用马关国家基本站(经度: 104.3992°E , 纬度: 23.0186°N , 海拔: 1332.9 m) 1970~2024 年的气

温资料, 包括日平均气温、日平均最高气温、日平均最低气温, 运用线性趋势分析方法、累积距平法、M-K 突变检验方法, 探究马关县 55 年气温的年际变化、月际变化以及极端气温变化趋势和突变特征。四季按气象方法划分: 春季(3~5 月)夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12 月至翌年 2 月)。

3. 结果与分析

3.1. 气温年际变化特征

基于马关县国家气象观测站 1970~2024 年的气温数据, 通过线性趋势分析, 我们发现马关县累年平均最高气温、平均气温和平均最低气温分别为 22.3℃、17.4℃和 14.3℃ (图 1)。从变化趋势来看, 年平均最高气温在 20.9℃ (2011 年)至 23.8℃ (2019 年)之间波动, 并以 0.260℃/10a 的速率显著上升; 年平均气温在 16.1℃ (1971 年)至 18.8℃ (2019、2024 年)之间变化, 增温速率为 0.290℃/10a; 年平均最低气温则从 13.0℃ (1971 年)上升至 15.9℃ (2024 年), 增温速率达 0.358℃/10a。各气温上升趋势均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验, 表明近 55 年来马关县气温整体呈显著升高趋势, 且年平均最低气温的增温幅度大于年平均最高气温, 呈现出昼夜增温非对称性。

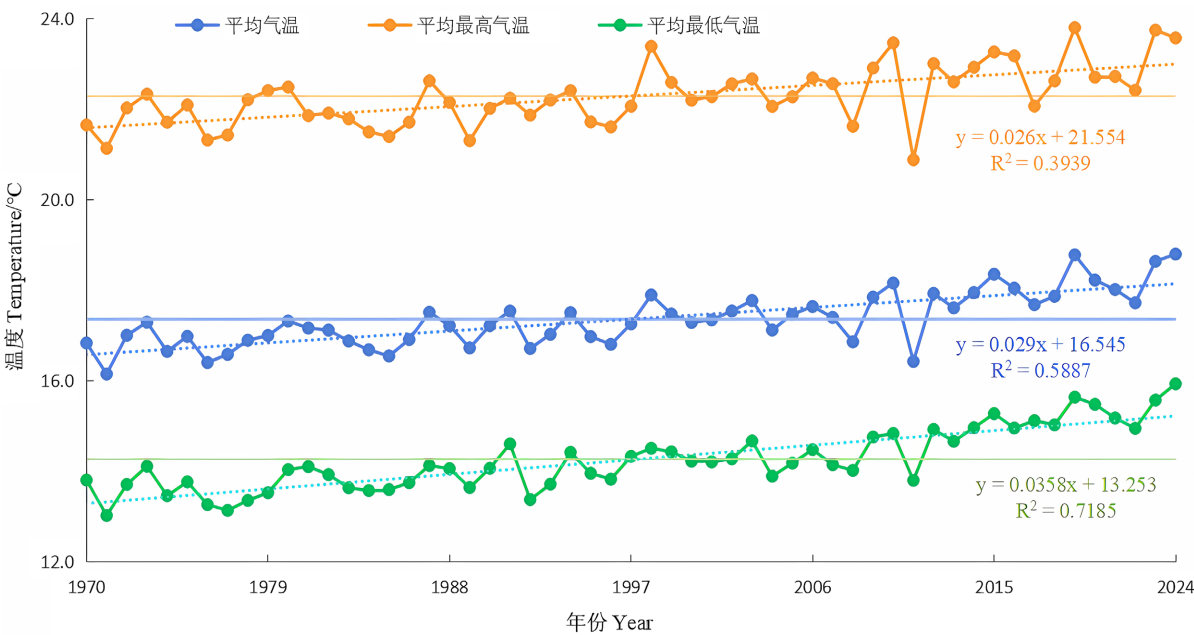


Figure 1. Annual temperature changes at Maguan County (1970~2024)

图 1. 1970~2024 年马关县气温年际变化

利用 M-K 突变检验法, 我们进一步分析了气温序列的突变特征(图 2)。结果显示, 年平均最高气温的 UF 变量曲线在 2003~2024 年超过了置信区间, 表明近 22 年来其增温趋势非常显著, UF 曲线和 UB 曲线在 2002 年在置信区间内出现交点, 表明在 2002 年发生了显著突变。相比之下, 年平均气温和年平均最低气温的增温趋势同样显著, 但突变则不显著, 尽管它们的 UF 变量曲线也分别在 2000~2024 年和 1998~2024 年超过了置信区间, 但交点均位于置信区间外。

累积距平曲线直观地反映了气温的年际变化趋势(图 3)。马关县年平均最高气温、年平均气温和年平均最低气温的距平累积年际变化整体呈上升趋势, 分别在 1998 年、1998 年和 1997 年成为正负距平的界点。特别是在 2011 年以后, 气温上升趋势更为明显, 表明十余年来马关县气温增温趋势加剧。

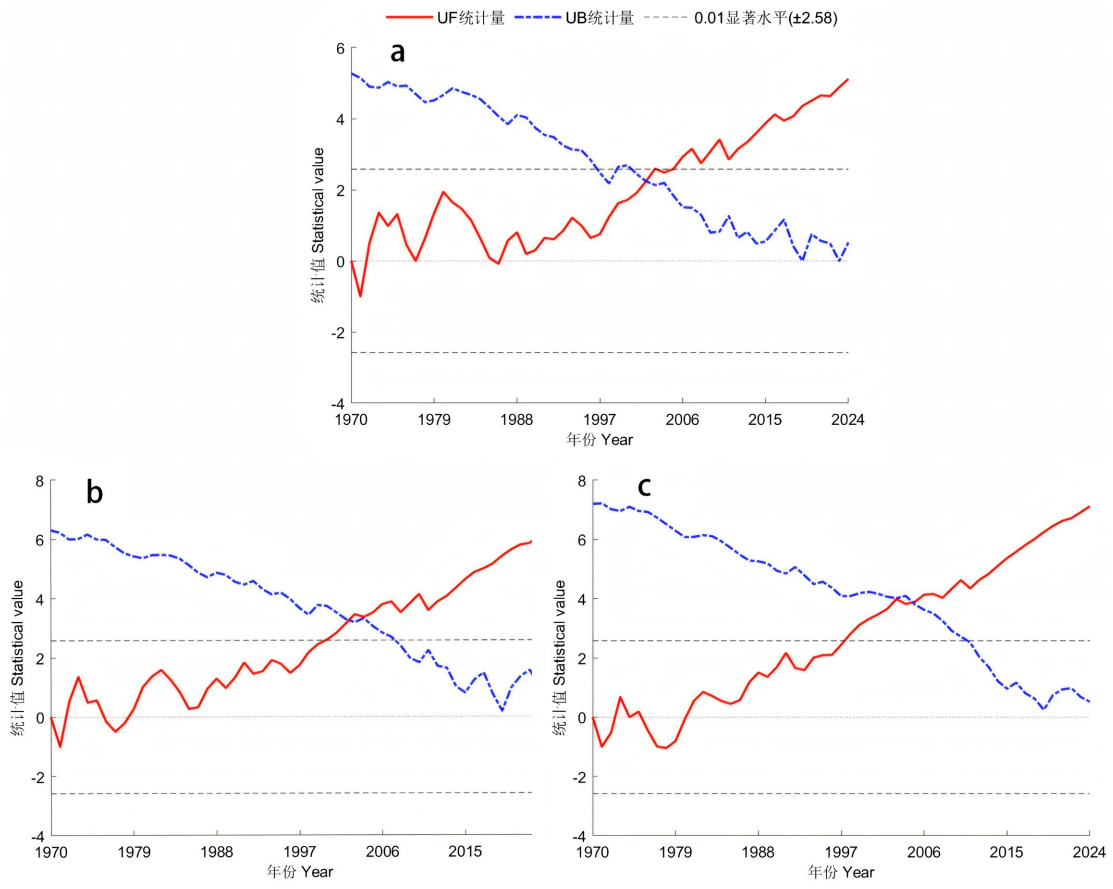


Figure 2. M-K mutation test of temperature in Maguan County (1970-2024). (a) Mean maximum temperature; (b) Annual average temperature; (c) Mean minimum temperature

图 2. 1970~2024 年马关县气温年际变化。(a) 平均最高气温; (b) 年平均气温; (c) 平均最低气温

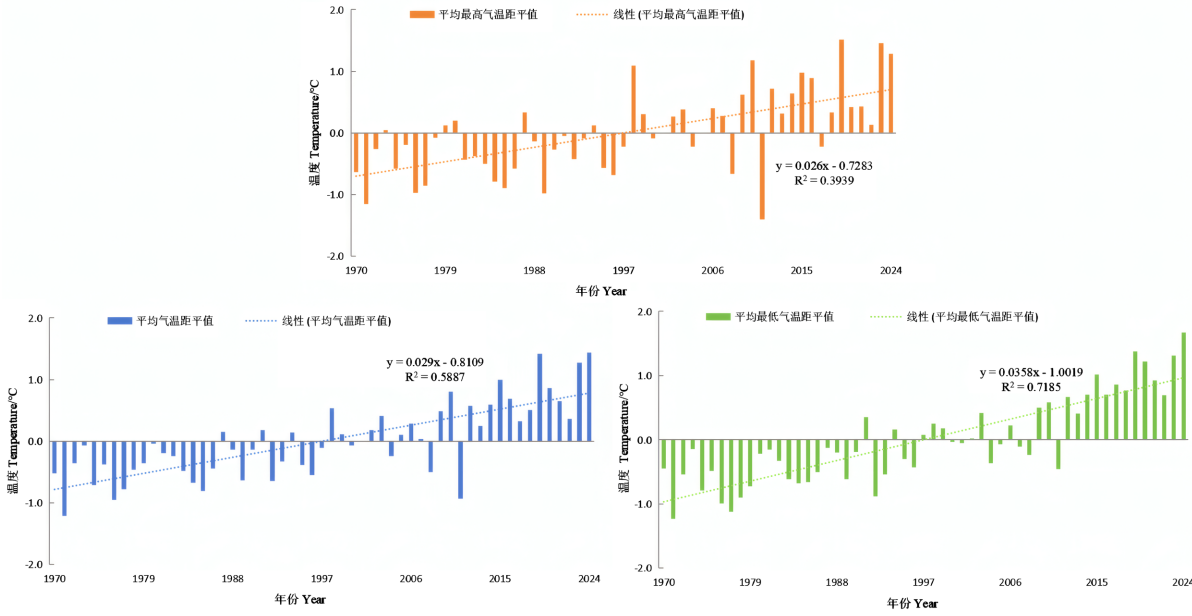


Figure 3. Variation of annual temperature anomalies (Tmax/Tmean/Tmin) in Maguan County (1970-2024)

图 3. 1970~2024 年马关县年平均最高气温、年平均气温、年平均最低气温距平值变化

3.2. 气温年代际变化特征

从年代际变化来看(表 1~3),20 世纪 70 年代至 21 世纪 20 年代,马关县气温呈现出持续上升的趋势。具体而言,年平均最高气温从 20 世纪 70 年代的 21.8℃上升至 21 世纪 20 年代的 23.0℃,年平均气温从 16.8℃上升至 18.3℃,年平均最低气温则从 13.5℃上升至 15.4℃。各年代际气温的增温速率虽有所不同,但整体均呈上升趋势,且在 21 世纪 10 年代后增速变快。

Table 1. Average maximum temperature by Decade in Maguan County (1970~2024) (°C)

表 1. 1970~2024 年马关县各年代际平均最高气温(℃)

年代	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年均最高温	年较差
1970~1979	14.5	17.0	21.1	24.1	25.6	26.0	26.1	26.2	24.8	22.2	18.0	16.2	21.8	11.7
1980~1989	14.6	17.0	20.8	24.1	25.6	26.1	26.3	26.4	24.8	22.2	19.1	15.2	21.9	11.7
1990~1999	15.6	16.7	21.5	24.5	25.5	26.1	25.8	26.6	25.2	22.2	19.7	16.7	22.2	11.1
2000~2009	15.1	17.6	21.4	24.7	25.5	26.3	26.6	26.6	25.6	22.6	19.9	16.5	22.4	11.5
2010~2019	15.0	18.4	21.8	25.4	27.0	27.1	26.8	27.1	25.6	22.6	20.2	16.2	22.8	12.1
2020~2024	15.7	17.7	22.6	25.1	27.0	27.5	27.7	27.5	26.3	22.6	21.1	15.3	23.0	12.4

Table 2. Decadal mean temperature in Maguan County (1970~2024) (°C)

表 2. 1970~2024 年马关县各年代际平均气温(℃)

年代	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年均温	年较差
1970~1979	14.5	17.0	21.1	24.1	25.6	26.0	26.1	26.2	24.8	22.2	18.0	16.2	21.8	11.7
1980~1989	14.6	17.0	20.8	24.1	25.6	26.1	26.3	26.4	24.8	22.2	19.1	15.2	21.9	11.7
1990~1999	15.6	16.7	21.5	24.5	25.5	26.1	25.8	26.6	25.2	22.2	19.7	16.7	22.2	11.1
2000~2009	15.1	17.6	21.4	24.7	25.5	26.3	26.6	26.6	25.6	22.6	19.9	16.5	22.4	11.5
2010~2019	15.0	18.4	21.8	25.4	27.0	27.1	26.8	27.1	25.6	22.6	20.2	16.2	22.8	12.1
2020~2024	15.7	17.7	22.6	25.1	27.0	27.5	27.7	27.5	26.3	22.6	21.1	15.3	23.0	12.4

Table 3. Decadal mean minimum temperature in Maguan County (1970~2024) (°C)

表 3. 1970~2024 年马关县各年代际平均最低气温(℃)

年代	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年均最低温	年较差
1970~1979	14.5	17.0	21.1	24.1	25.6	26.0	26.1	26.2	24.8	22.2	18.0	16.2	21.8	11.7
1980~1989	14.6	17.0	20.8	24.1	25.6	26.1	26.3	26.4	24.8	22.2	19.1	15.2	21.9	11.7
1990~1999	15.6	16.7	21.5	24.5	25.5	26.1	25.8	26.6	25.2	22.2	19.7	16.7	22.2	11.1
2000~2009	15.1	17.6	21.4	24.7	25.5	26.3	26.6	26.6	25.6	22.6	19.9	16.5	22.4	11.5
2010~2019	15.0	18.4	21.8	25.4	27.0	27.1	26.8	27.1	25.6	22.6	20.2	16.2	22.8	12.1
2020~2024	15.7	17.7	22.6	25.1	27.0	27.5	27.7	27.5	26.3	22.6	21.1	15.3	23.0	12.4

年代际气温的年较差呈现出一定的阶段性变化特征(表 1~3)。平均最高气温、平均气温、平均最低气温在 20 世纪 70~80 年代年较差较高, 90 年代明显下降, 而 21 世纪 00~10 年代年较差又逐步增大。然而, 到 21 世纪 20 年代, 年平均最高气温的年较差保持增大, 而年平均气温和年平均最低气温的年较差则有所下降, 显示出年代际气温年较差的变幅差异较大, 具有不稳定性 and 周期性震荡的特征。

由图 4 可看出, 马关县年代际平均最高气温、平均气温、平均最低气温距平累积年际变化整体呈上升趋势, 升率分别为 0.2543℃/10a、0.2942℃/10a、0.3686℃/10a, 均在 20 世纪 90 年代成为正负距平的界点, 21 世纪 00 年代前, 年平均最高气温、年平均气温、年平均最低气温均处于较低水平且在平均水平以下, 2000 年后均逐步上升, 10 年代开始均增势突显, 2020~2024 年均增至最大值(23.0℃、18.3℃、15.4℃), 表明马关县在这 5 年内相比其他时期气温较高。年平均最高气温、年平均气温、年平均最低气温的最大值与最小值之差分别为 1.2℃、1.5℃、1.9℃, 表明气温差异较大, 周期性变化明显, 并呈上升趋势。

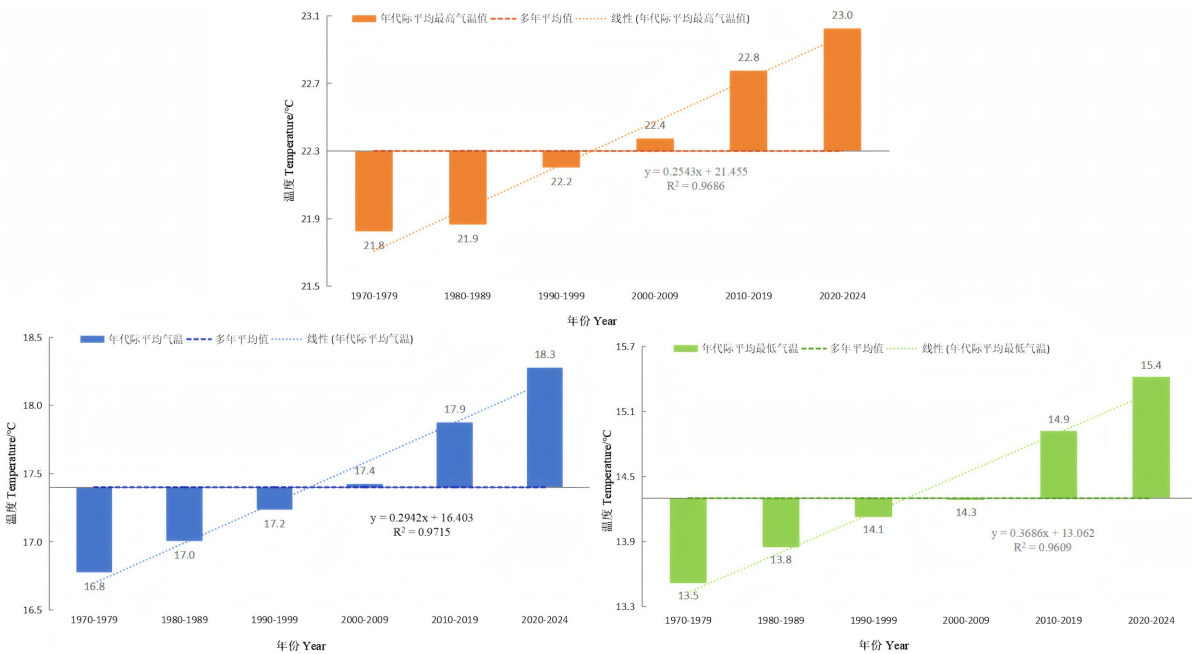


Figure 4. Decadal variation of temperature anomalies (Tmax/Tmean/Tmin) in Maguan County (1970~2024)
图 4. 1970~2024 年马关县年代际年平均气温、平均最高气温、平均最低气温距平值变化

3.3. 气温季变化特征

四季的气温变化分析显示(图 5), 马关县春季、夏季、秋季和冬季的平均最高气温、平均气温和平均最低气温均呈升高趋势, 但增温速率存在差异。春季平均最低气温的增温速率最高, 达 0.345℃/10a, 其次是平均最高气温和平均气温; 夏季同样是平均最低气温增温速率最高, 为 0.303℃/10a; 秋季平均最低气温的增温速率更是高达 0.428℃/10a, 为四季中之最高; 冬季则是平均最低气温和平均气温的增温速率较高, 而平均最高气温的增温趋势不显著, 仅其未通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。

由图 6 可知, 马关县四季的气温距平变化整体呈上升趋势, 其中春季和夏季气温在 1998 年成为正负距平的界点, 秋季和冬季气温则为 1997 年。春季气温在 2000 年代以后正距平明显增加, 特别是 2010 年代以后, 增加趋势更为明显; 夏季气温 2000 年代中期以后以正距平为主, 气温呈明显升高趋势; 秋季平均最高气温在 1998 年以后正距平增加显著, 但在 2010 年代中期以后, 秋季平均气温、平均最低气温正距平上升趋势比平均最高气温显著; 冬季平均最高气温较其他气温正负距平波动较大, 其增温趋势不显著。

综合来看,马关县春季、夏季和秋季整体气温在 2010 年代后增温趋势显著,平均最低气温在四季中的增温趋势最为显著,且秋季的增温贡献最大。无论是平均最高气温、平均气温还是平均最低气温,秋季的增温速率均高于其他季节,表明马关县的增温主要由平均最低气温的增温和秋季的增温所驱动。

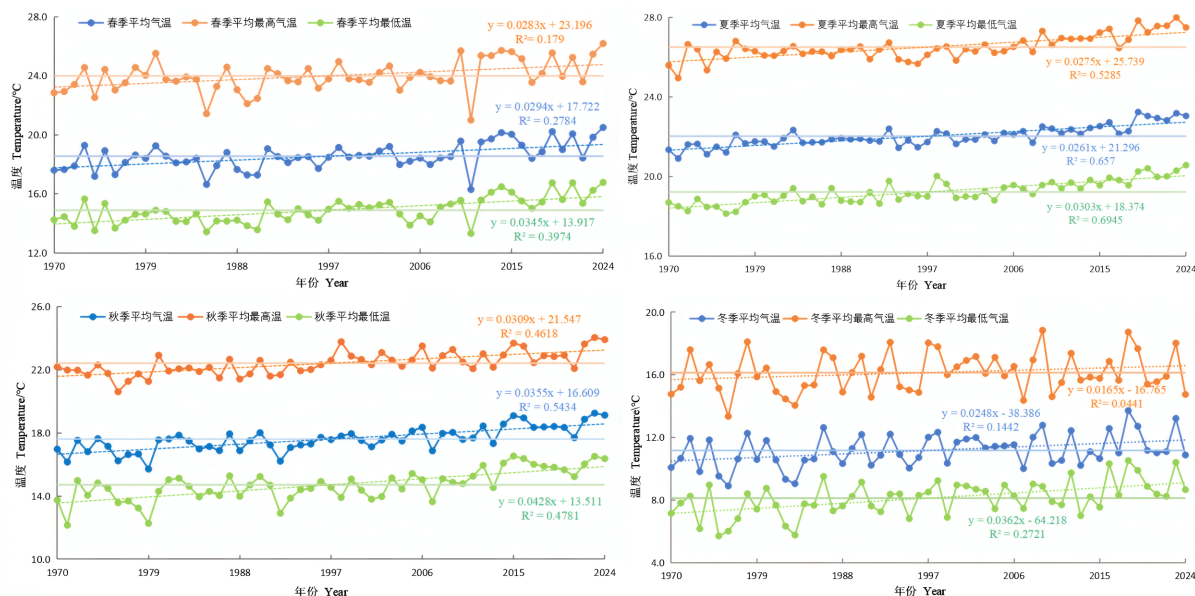


Figure 5. Seasonal variation of mean temperatures (Tmax/Tmean/Tmin) in Maguan County (1970~2024)

图 5. 1970~2024 年马关县平均最高气温、平均气温、平均最低气温季变化



Figure 6. Seasonal anomalies of mean temperatures (Tmax/Tmean/Tmin) in Maguan County (1970~2024)

图 6. 1970~2024 年马关县平均最高气温、平均气温、平均最低气温距平值季变化

3.4. 气温月变化特征

马关县近 55 年的月气温变化呈现出明显的“n”型特征(图 7)。月平均最高气温在 1 月最低(15.0℃), 7 月最高(26.6℃); 月平均气温在 1 月最低(10.3℃), 6 月最高(22.2℃); 月平均最低气温同样在 1 月最低(7.5℃), 7 月和 8 月最高(19.4℃)。这种月变化特征反映了马关县气候的季节性差异和年内气温的波动规律。

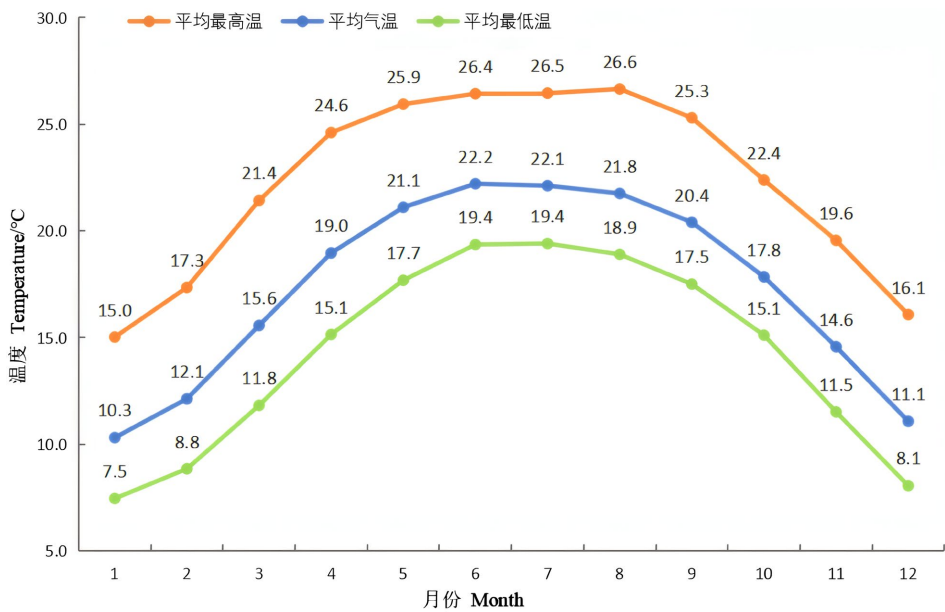


Figure 7. Climatological monthly temperature variation in Maguan County (1970~2024)
图 7. 1970~2024 年马关县气温月变化

3.5. 极端气温年变化特征

极端气温的年际变化分析显示(图 8), 从年际变化来看, 极端最高气温在 1985 年的 29.8℃至 2023 年的 33.4℃之间波动, 整体波动幅度较小; 极端最低气温则在-4.0℃ (1975 年)至 4.7℃ (1997 年)之间变化, 波动幅度较大。特别是在 1970~1977 年和 1997~2000 年两个时期, 极端最低气温的波动幅度尤为显著。然而, 自 2000 年代中期以后, 极端最低气温的波动幅度明显收窄。

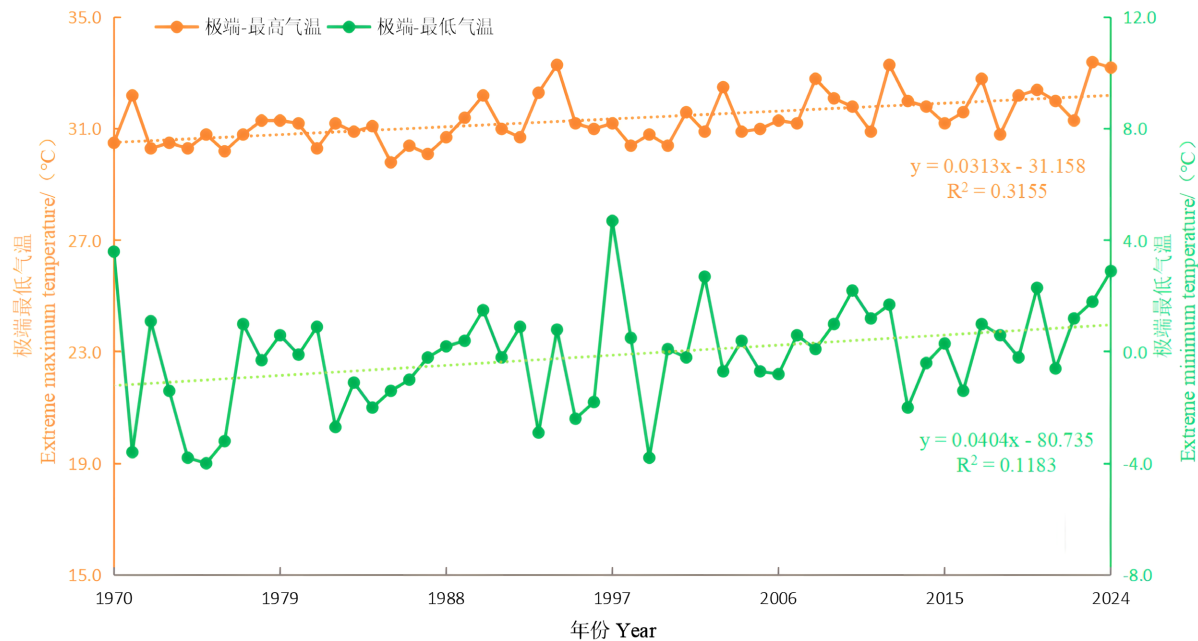


Figure 8. Annual variation of extreme temperatures in Maguan County (1970~2024)
图 8. 1970~2024 年马关县极端气温年变化

由图 8 可知, 马关县近 55 年的极端最高气温和极端最低气温均呈上升趋势。极端最高气温以 $0.313^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率上升, 上升趋势通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。极端最低气温的增温速率为 $0.404^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 但序列线性波动幅度较大, 原始线性拟合效果不佳。经去趋势波动分析(DFA)处理后显示, 极端最低气温长期变化主要是由线性的上升趋势所主导, 而短期的波动则是相对无规律的, 因此极端最低气温增温趋势未达统计显著性水平。

结合 M-K 突变检验结果可发现, 在极端最高气温突变检验中(图 9(a)), UF 变量曲线在 2013~2024 年超过置信区间, 说明近 12 年来年极端最高气温增温趋势非常显著, 极端最高气温的 UF 和 UB 曲线在 2006 年出现交点, 且交点在置信区间内, 说明在交点对应时间发生突变现象。在极端最低气温突变检验中(图 9(b)), UF 变量曲线从 1987 年开始大于 0, 但在 1970~2024 年未超过置信区间, 说明极端最低气温有上升趋势, 但升温趋势不显著, UF 和 UB 曲线在置信区间内有多个交点, 通过多组滑动 t 检验, 发现极端最低气温未发生突变现象。

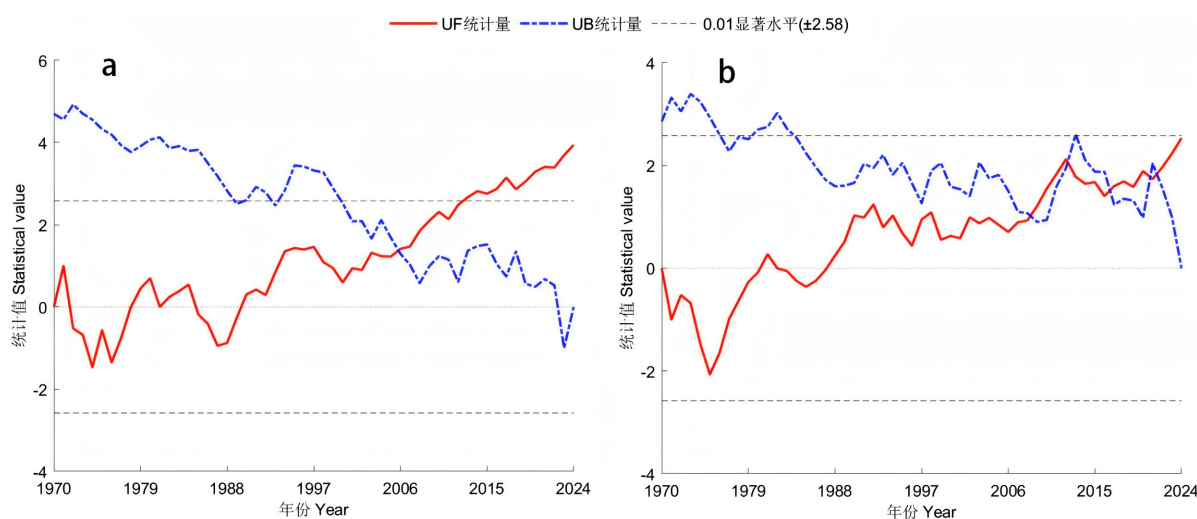


Figure 9. M-K mutation test of extreme temperature in Maguan County (1970~2024). (a) Extreme maximum temperatures; (b) Extreme minimum temperatures

图 9. 1970~2024 年马关县极端气温 M-K 突变检验。(a) 极端最高气温; (b) 极端最低气温

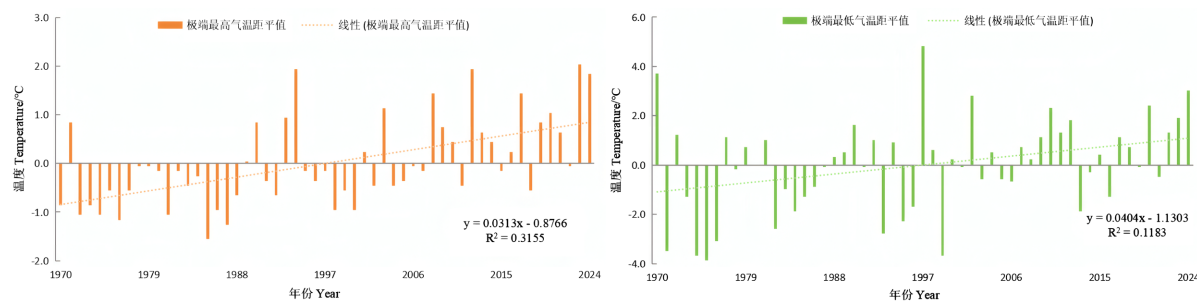


Figure 10. Annual variation of extreme temperatures in Maguan County (1970~2024)

图 10. 1970~2024 年马关县极端气温年变化

极端气温距平年变化的分析显示(图 10), 极端最高气温、极端最低气温距平年变化整体均呈上升趋势。极端最高气温在 2000 年成为正负距平的界点, 在 1970 年代至 2000 年代, 负距平占优势, 表明该时期极端最高气温偏低, 2000 年代以后正距平明显增加, 且增加趋势显著, 表明极端最高气温在 21 世纪以

后上升趋势显著。极端最低气温在 1997 年成为正负距平的界点，在 1970 年代至 1990 年代中期，负距平占优势，表明极端最低气温偏低，1990 年代中期以后正距平明显增加，且在 21 世纪以后增加趋势显著，表明极端最低气温在 21 世纪以后上升趋势显著。

3.6. 极端气温月变化特征

月极端气温的分析显示(图 11)，马关县近 55 年的极端最高气温在 12 月最低(25.0℃)，5 月最高(33.4℃)，且最高值出现在 2023 年 5 月 6 日；极端最低气温则在 12 月最低(-4.0℃)，7 月最高(13.5℃)，且最低值出现在 1975 年 12 月 23 日。这种月变化特征反映了马关县极端气温的季节性差异和年内极端气温的波动规律。

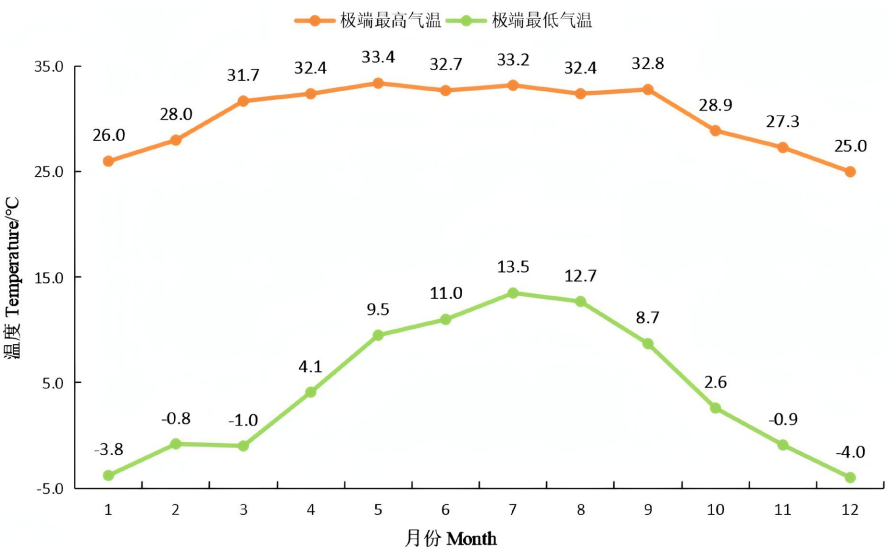


Figure 11. Monthly variation of extreme temperatures in Maguan County (1970~2024)
图 11. 1970~2024 年马关县极端气温月变化

4. 结论

- (1) 年际变化：1970~2024 年，马关县年平均气温、年平均最高气温及年平均最低气温均显著上升，增温速率分别为 0.290℃/10a、0.260℃/10a 和 0.358℃/10a。2011 年后增温趋势尤为显著，且最低气温增温更为突出。年平均最高气温在 2002 年发生显著突变。
- (2) 年代际变化：自 20 世纪 70 年代至 21 世纪 20 年代，气温持续上升，21 世纪 10 年代后增速加快，各项气温指标均在 21 世纪 20 年代达到最大值。年代际气温年较差变幅较大，具有不稳定性 and 周期性震荡的特征。
- (3) 季变化：四季气温均呈上升趋势，秋季增温最为显著，尤其是秋季的平均最低气温，其增温速率高达 0.428℃/10a。2010 年代后，除冬季增温趋势不显著外，其他季节上升加速。
- (4) 极端气温：近 55 年来极端最高气温最大值为 33.4℃ (2023 年 5 月 6 日)，极端最低气温最小值为 -4.0℃ (1975 年 12 月 23 日)。极端最高气温以 0.313℃/10a 的速率上升，而极端最低气温变化波动大，升温趋势不显著，但各极端气温均在 21 世纪后上升趋势明显。极端最高气温在 2006 年发生显著突变，极端最低气温未发生突变。

基金项目

文山州气象局 2025 年科研项目(WSZL202513)。

参考文献

- [1] 乔丽, 吴林荣, 张高健. 中国近 50a 地表温度时空变化特征分析[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 323-326.
- [2] 王会军, 孙建奇, 陈活泼, 等. 全球变暖加速和气候极端化——2024 年中国气候研究重大进展速评[J]. 大气科学学报, 2025(1): 1-7.
- [3] 孙华, 何茂萍, 胡明成. 全球变化背景下气候变暖对中国农业生产的影响[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(7): 51-57.
- [4] 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 全球变暖与中国变暖[J]. 气候变化研究进展, 2024, 20(6): 808-812.
- [5] 曾剑, 徐晴晗, 张宇, 等. 中国西南地区百年气温的时空演变特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(4): 412-421.
- [6] 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): 39-44+63.
- [7] 王夫雪, 刘吉平. 1961-2010 年东北地区气温年较差的时空变化特征分析[J]. 长春师范大学学报, 2016(8): 74-80.
- [8] 裴玥. 昭通市近 50 年气温变化特征分析[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(3): 125-127.
- [9] 许淑仙. 云南省河口县近 60 年气温变化特征分析[J]. 农业灾害研究, 2020(3): 110-112.
- [10] 罗增明, 吴利华, 李林, 等. 1956-2018 年云南省临沧市气温变化特征[J]. 农业灾害研究, 2022(2): 94-97.
- [11] 陈恩波, 广键梅, 张开源. 1961-2010 年云南省气候变化特征分析[J]. 农学学报, 2017, 7(5): 60-68+95.
- [12] 段旭, 陶云. 云南近 50 年来的气候变化[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 243-250.
- [13] 陈胜. 云南省 60 年气候变化特征分析[J]. 科技与创新, 2020(1): 67-69+73.
- [14] 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.