

临沧市近64a气候变化特征分析

杨宏庆¹, 高雨^{2*}, 杨忠良¹

¹临沧市气象局气象灾害防御技术中心, 云南 临沧

²云南省气象台系统保障科, 云南 昆明

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

为探究中缅边境复杂山地地形区域气候变化特征, 利用1961~2024年临沧市8个国家气象站的气温、降水资料, 采用Mann-Kendall突变检验和分段回归方法, 分析了临沧市近64a气温和降水变化特征。结果表明: (1) 年平均气温以 $0.22^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高并在2004年发生显著突变, 突变后升温速率进一步加剧。(2) 年平均最高气温以 $0.21^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 速率平稳升温, 秋季最敏感; 年平均最低气温以 $0.32^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高, 突变特征普遍存在且秋冬季贡献突出。(3) 年降水量以 $-27.93\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著减少, 在2015年发生显著突变, 由夏秋季主导, 突变后速率骤增至 $-329.33\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。(4) 年降雨日数以 $-7.66\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著减少, 夏季则显著增加($1.98\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$), 降雨日数的减少主要由春、秋、冬的下降趋势所主导。临沧市近64a整体呈现气温显著升高、降雨量和降雨日数显著减少的气候变化特征。

关键词

临沧市, Mann-Kendall突变检验, 回归方法, 变化特征, 突变

Analysis of Climate Change Characteristics in Lincang City during the Last 64 Years

Hongqing Yang¹, Yu Gao², Zhongliang Yang¹

¹Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Lincang Meteorological Bureau Observatory, Lincang Yunnan

²Systems Support Department, Yunnan Provincial Meteorological Observatory, Kunming Yunnan

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

Abstract

To investigate the characteristics of climate change in the complex mountainous terrain along the

*通讯作者。

文章引用: 杨宏庆, 高雨, 杨忠良. 临沧市近 64a 气候变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1184-1194.
DOI: 10.12677/ccrl.2025.146118

China-Myanmar border, this study utilized temperature and precipitation data (1961~2024) from eight national meteorological stations in Lincang City. The Mann-Kendall test and piecewise regression analysis were employed to analyze the variation characteristics of temperature and precipitation over the recent 64-year period. The results show that: (1) The annual mean temperature increased significantly at a rate of $0.22^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, with a notable abrupt change occurring in 2004, after which the warming rate intensified. (2) The annual mean maximum temperature increased steadily at $0.21^{\circ}\text{C}/\text{decade}^{-1}$, most markedly in autumn, while the annual mean minimum temperature rose at a higher rate of $0.32^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, with widespread abrupt changes predominantly in autumn and winter. (3) Annual precipitation exhibited a significant decreasing trend at $-27.93\text{ mm}/\text{decade}$, with an abrupt change in 2015 largely driven by reductions in summer and autumn, followed by a sharp decline at $-329.33\text{ mm}/\text{decade}$. (4) The annual number of rainy days decreased by $-7.66\text{ days}/\text{decade}$, despite a summer increase of $1.98\text{ days}/\text{decade}$. Seasonal reductions in spring, autumn, and winter primarily contributed to this trend. Overall, Lincang has experienced pronounced warming coupled with significant declines in both precipitation and rainy days over the study period.

Keywords

Lincang City, Mann-Kandall Test, Variation Characteristics, Regression Analysis, Abrupt Chang

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

当前全球气候变化不仅影响人类生存环境,而且也影响世界经济的发展和社会的进步[1]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告指出:近 133a (1880~2012 年)全球平均气温已经升高 0.85°C , 尤其在北半球 1983~2012 年可能是最近 1400a 来气温最高的 30a, 1885~1990 年平均和 2003~2013 年平均相差 0.78°C [2]。第六次评估报告[3]进一步指出:较 1850~1900 年, 2010~2019 年全球平均表面温度变暖 $0.9^{\circ}\text{C}\sim 1.2^{\circ}\text{C}$, 2001~2020 年是 21 世纪初以来中国最暖的时期[4], 气候变化已经对自然和人类系统造成不利影响, 应对气候变化下的复合风险和频发的极端事件已经刻不容缓[5]。任国玉[6]等发现, 在整体增温的背景下, 我国出现了一个以四川盆地为中心的变冷区, 并延伸到了陕西南部、云南和贵州地区, 冬、春季增暖更明显夏季增温最弱。从 20 世纪 80 年代中后期开始全国平均增温速率有加大趋势并有以冷季增暖为主向全年性增暖转变的迹象。针对云南的气候变化多名学者从不同角度进行了单独的研究, 段旭等[7]发现云南 1961 年以来近 50 年气温变化趋势上与北半球和全国一致, 但气候变暖的速率相对缓慢, 降水量年平均变化不大, 雨季和主汛期降水量呈下降趋势。符传博等[8]等分析了云南 1959 年以来近 50 年雨日和降水量的气候变化情况, 发现降水量总体变化不大, 但是年总雨日出现明显的减少趋势。何萍等[9]指出, 楚雄州年平均气温、最高和最低气温在 20 世纪 80 年代有一个明显变化, 在此前气温一直呈下降趋势, 80 年代后呈上升趋势。刘翔卿等[10]分析发现 1991 年之前大理地区气温降低, 而 1991 年之后显著增温, 明显高于同期中国平均气温的增加幅度, 期间年总降水量没有明显增加或减少的趋势。姚愚等[11]进一步分析云南季节变化特征指出, 2011 年以后云南出现四季分明区范围明显增大。解明恩等[12]对昆明和大理气候季节演变分析, 近 60 年来, 四个节令日气温年际变化呈升高趋势, 尤以春分、秋

分增暖显著。以上研究均表明,在气候变暖背景下,不同区域的气候变化特征不完全相同,同时还存在显著气候突变,分析云南不同区域的气候变化,对理解低纬高原气候响应全球变暖有区域价值。

临沧市位于云南省西南部(98°40'~100°32'E; 23°05'~25°03'N),国土面积 23620.89 平方公里,东邻普洱、西接保山、北靠大理,西南与缅甸接壤。境内最高海拔为永德县大雪山 3504 m,最低海拔为南汀河出境处 450 m,境内海拔高差大(3054 m),复杂的下垫面导致地表粗糙,山峦起伏、河谷纵横。作为中缅边境的重要门户和拥有复杂山地地形的地区,临沧市的气候变化研究对于理解区域气候响应、跨境生态影响、对缅气象服务以及适应策略制定具有重要意义。目前针对滇西南中缅毗邻复杂地形区,特别是临沧市的长时期系统气候变化特征研究相对缺乏,本文采用分段回归方法、Mann-Kendall 突变检验,分析了临沧市近 64a 气温和降水变化特征,对加深认识气候变化影响防灾减灾、农业生产布局和生态系统保护具有重要意义。

2. 方法和资料

2.1. 研究数据

选取临沧市 8 个国家气象站(图 1) 1961~2024 年共 64a 逐年、逐月数据,气象要素包括平均气温(℃)、平均最高气温(℃)、平均最低气温(℃)、降水量(mm)、降雨日数(d),利用算术平均法计算各季节数据。季节划分:春季 3~5 月,夏季 6~8 月,秋季 9~11 月,冬季 12 月~次年 2 月。

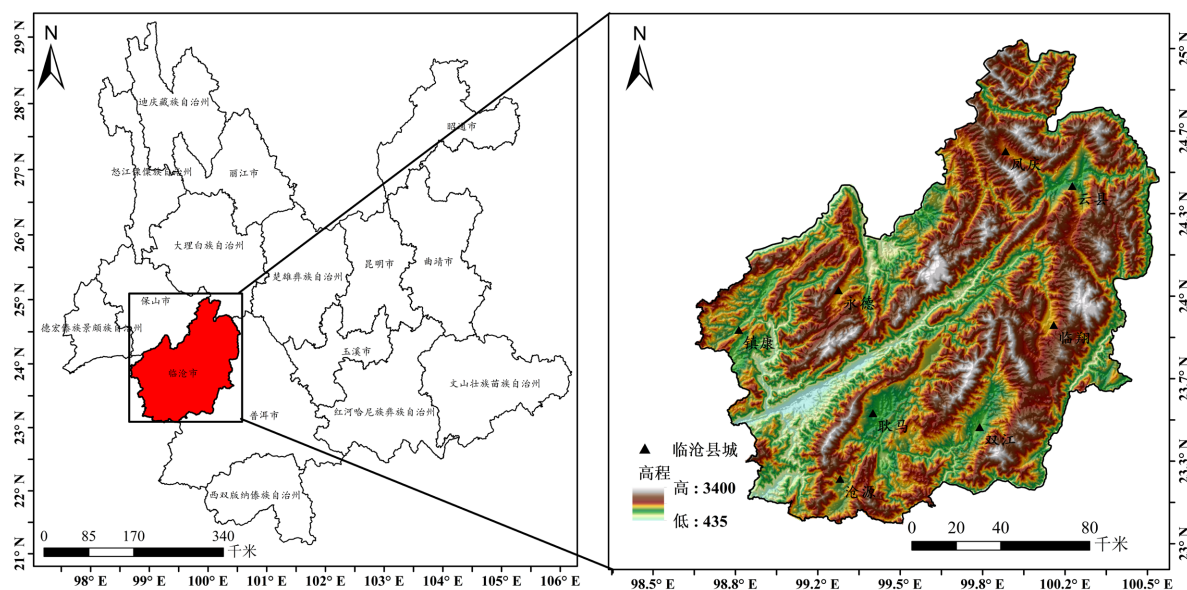


Figure 1. Geographical location of Lincang City and distribution of the eight national meteorological stations

图 1. 临沧市地理位置及 8 个国家气象站分布图

2.2. 研究方法

采用线性回归[13][14]和 Mann-Kendall [15][16]非参数统计检验方法。一元线性回归模型分析气温和降水序列的变化趋势,确定其气候倾向率,并进行显著性检验分析,同时建立以年要素为因变量、四季要素为自变量的回归方程,进一步分析季节变化对年变化的贡献率。Mann-Kendall 非参数统计检验用于检测序列突变,对 n 个样本构造秩序列并绘制 UF_k 、 UB_k 曲线及显著水平线, UF_k 、 UB_k 曲线在置信区间内的交点确定为突变点。

3. 分析结果

3.1. 平均气温变化特征

由表 1 可知, 1961~2024 年临沧市年平均气温呈显著升高趋势, 线性变化率为 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p < 0.01$)。在季节尺度上, 春季($0.20^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $p < 0.01$)、夏季($0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $p < 0.01$)、秋季($0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $p < 0.01$)和冬季($0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $p < 0.01$)均表现为显著升温, 其中冬季升温最为显著。总体来看, 近 64 年来临沧市气温持续升高, 且季节间增暖速率存在差异。

图 2 和图 3 展示了年平均气温的趋势在 2004 年出现显著突变。突变前(1961~2004 年)升温速率为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 突变后(2005~2024 年)升至 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 变化幅度约 0.20°C , 两段差异在 0.1 水平下显著, 说明进入 21 世纪以来区域增暖明显加快。四季气温均存在潜在突变点: 春季(2008 年)、夏季(2007 年)、秋季(2008 年)和冬季(2004 年), 但除夏季外(图 4 和图 5), 其余季节的斜率差未通过显著性检验, 说明这些季节主要体现为平稳升温, 而突变特征并不突出。夏季在 2007 年突变前后的升温速率分别为 $0.14^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 幅度约 0.23°C , 趋势差异显著($p < 0.1$), 表明夏季对区域气候变暖响应较为敏感。

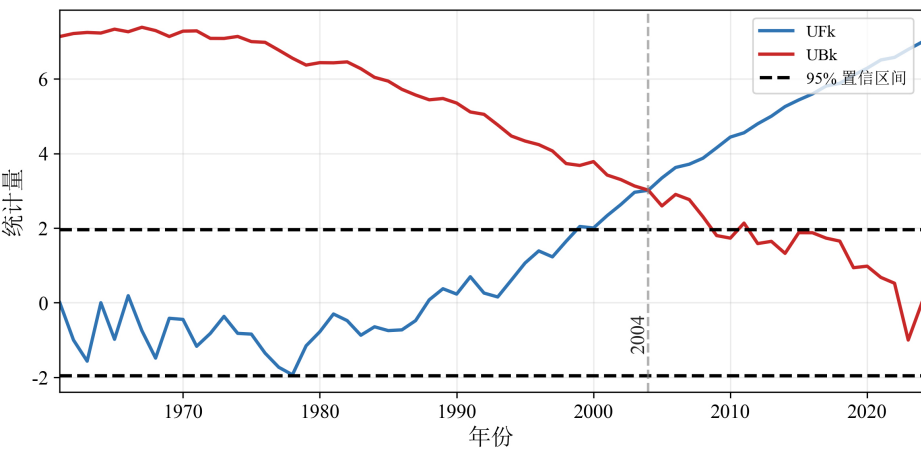


Figure 2. Mann-Kendall test for abrupt change in the annual mean temperature in Lincang City during 1961~2024

图 2. 1961~2024 年临沧市年平均气温的 MK 突变检验

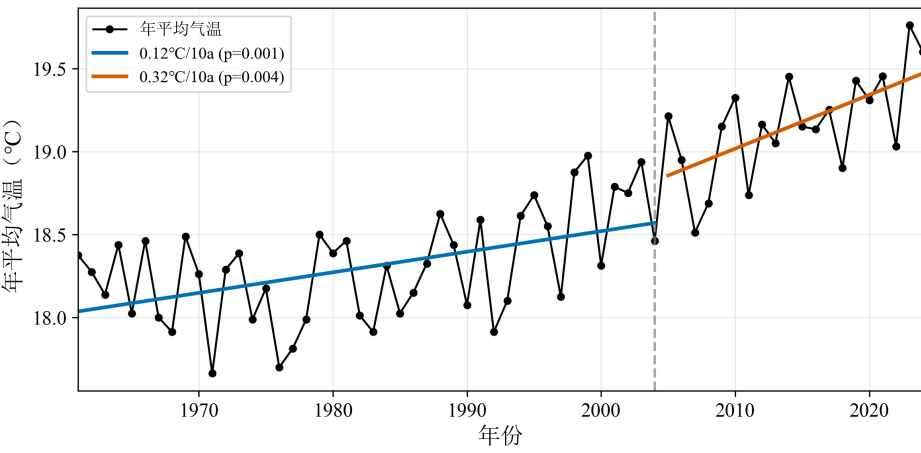


Figure 3. Piecewise linear regression of the annual mean temperature in Lincang City during 1961~2024

图 3. 1961~2024 年临沧市年平均气温的分段线性回归

进一步以年平均气温为因变量、四季平均气温为自变量，分别建立 2004 年断点前后的回归方程。2004 年以前，模型拟合较好($R^2 \approx 1, p < 0.01$)，四季回归系数分别为春 0.248、夏 0.260、秋 0.290、冬 0.177，对应贡献率分别为 25.4%、26.7%、29.8%、18.1%，显示秋、夏、春三季是平均气温升高的主导因子。2004 年以后，回归系数分别为春 0.220、夏 0.293、秋 0.310、冬 0.137，对应贡献率为 22.9%、30.5%、32.3%、14.3%，其中秋季与夏季的主导作用进一步增强，而春季与冬季相对贡献下降。

综上，临沧市年平均气温自 1961 年以来持续升高，并在 2004 年前后表现出明显的加速增暖特征。秋季和夏季是驱动年平均气温升高的关键季节，且其贡献度在 2004 年后进一步提升，体现了其在区域增暖过程中的主导作用。

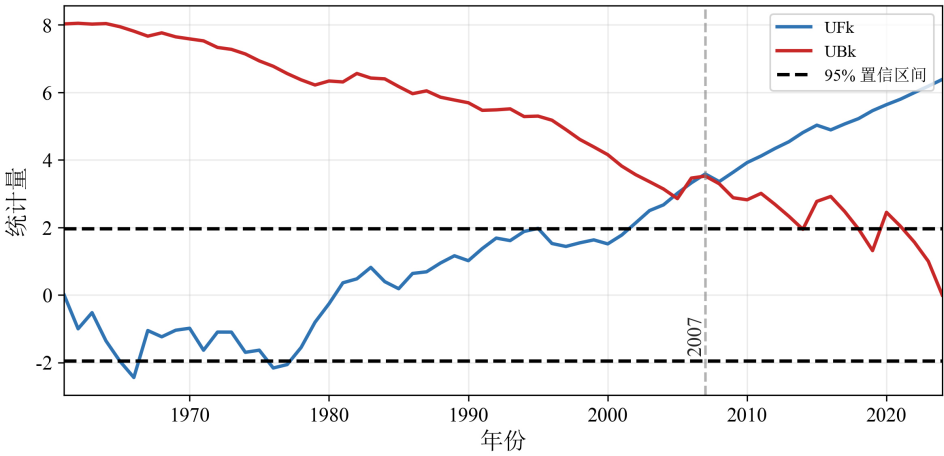


Figure 4. Mann-Kendall test for abrupt change in the summer mean temperature in Lincang City during 1961~2024

图 4. 1961~2024 年临沧市夏季平均气温的 MK 突变检验

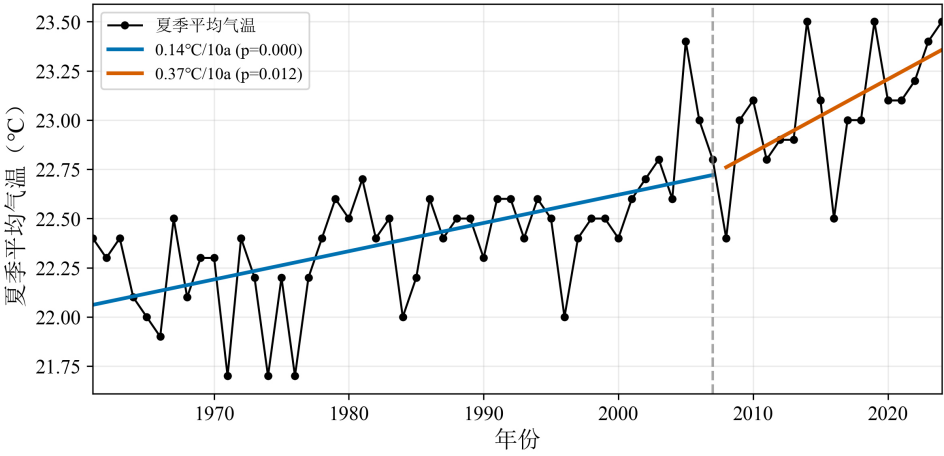


Figure 5. Piecewise linear regression of the summer mean temperature in Lincang City during 1961~2024

图 5. 1961~2024 年临沧市夏季平均气温的分段线性回归

3.2. 最高、最低气温变化特征

由表 1 可知，1961~2024 年临沧市年平均最高气温整体呈显著升高趋势，线性变化率为 $0.21^\circ\text{C}/10\text{a}$ ($p < 0.01$)。在季节尺度上，春季($0.13^\circ\text{C}/10\text{a}$)、夏季($0.23^\circ\text{C}/10\text{a}$)、秋季($0.27^\circ\text{C}/10\text{a}$)和冬季($0.21^\circ\text{C}/10\text{a}$)均表现

为升温趋势，其中夏季与秋季的升温幅度相对更大。

分段特征显示，年最高气温在 2008 年出现潜在突变点，但突变前后的升温速率差异并未通过显著性检验，因此整体表现为持续平稳升温。四季中仅秋季最高气温的趋势在 2009 年表现出显著突变(图 6、图 7)，突变前升温速率为 $0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，突变后迅速升高至 $0.54^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，升温幅度达 0.41°C ，趋势显著加快；而春季(2010 年)、夏季(2008 年)和冬季(1998 年)的候选突变点均未达显著水平，说明这几个季节的升温主要表现为稳定持续增加。

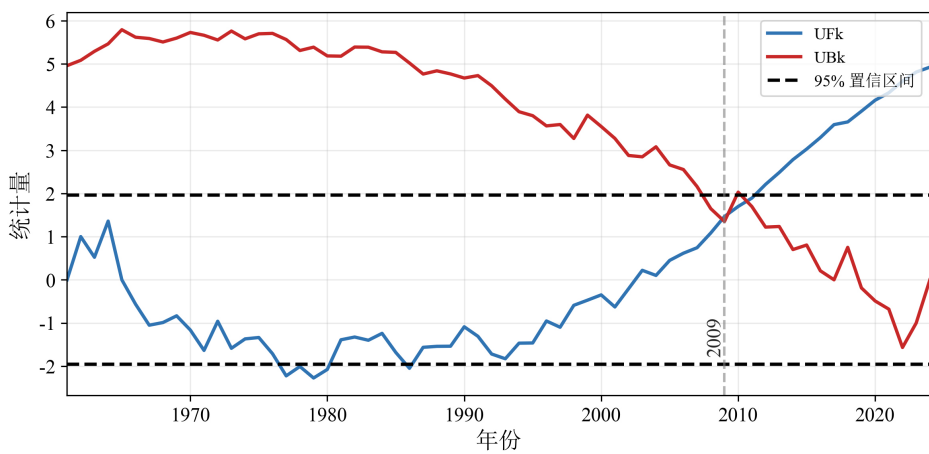


Figure 6. Mann-Kendall test for abrupt change in the autumn maximum temperature in Lincang City during 1961~2024
图 6. 1961~2024 年临沧市秋季最高气温的 MK 突变检验

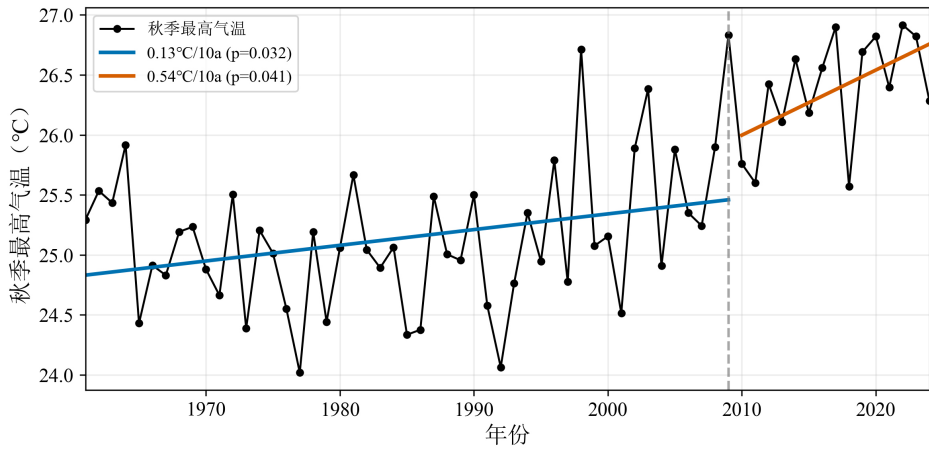


Figure 7. Mann-Kendall test for abrupt change in the autumn maximum temperature in Lincang City during 1961~2024
图 7. 1961~2024 年临沧市秋季最高气温的分段线性回归

考虑到年平均最高气温突变不显著，本文进一步利用整段序列进行回归分析。回归方程为：年最高气温 = $0.348 \times \text{春季} + 0.224 \times \text{夏季} + 0.336 \times \text{秋季} + 0.057 \times \text{冬季}$ ，回归系数接近 1， $p < 0.01$ 。四季气温对年最高气温的贡献率分别为春季 36.0%、夏季 23.2%、秋季 34.8%、冬季 5.9%。春季与秋季共同解释超过 70% 的年最高气温变化，表明其是驱动区域年最高气温变化的关键季节。

1961~2024 年临沧市年最低气温呈显著升高趋势，线性变化率为 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($p < 0.001$)。在季节尺度上，春季($0.37^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)、夏季($0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)、秋季($0.26^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)和冬季($0.44^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)均表现为显著升温，其中冬

季升温速率最大, 春季次之, 说明冷季变暖对整体增温的影响更为突出。

分段特征显示(图 8、图 9), 年最低气温的趋势在 2004 年发生显著突变, 突变前(1961~2004 年)升温速率为 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 突变后(2005~2024 年)升至 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 增幅约 0.20°C , 趋势差异在 0.05 水平下显著。各季节中, 夏季(2000 年)、秋季(2001 年)和冬季(1999 年)均出现显著突变, 其中秋季突变后升温速率增至 $0.58^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 冬季更是由 $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 跃升至 $0.65^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 表明秋冬加速变暖最为突出; 春季虽在 1996 年附近出现突变点, 但分段差异未达显著性水平。

进一步的分段回归结果表明: 在 2004 年以前, 年最低气温与四季最低气温关系为: $y = 0.317x_{\text{春}} + 0.238x_{\text{夏}} + 0.261x_{\text{秋}} + 0.118x_{\text{冬}}$, 四季贡献率依次为春季 33.9%、秋季 28.0%、夏季 25.5%、冬季 12.6%。2004 年以后, 回归方程变为: $y = 0.196x_{\text{春}} + 0.252x_{\text{夏}} + 0.324x_{\text{秋}} + 0.194x_{\text{冬}}$, 此时秋季(33.5%)和夏季(26.1%)贡献度最高, 春季(20.3%)和冬季(20.1%)次之。

总体而言, 临沧市最低气温的突变特征比最高气温更为显著, 且秋冬季在突变后升温速率显著增加, 驱动了整体年最低气温的快速升高; 同时四季贡献结构也发生调整, 由突变前春季主导逐渐转向突变后秋季与夏季主导, 反映出区域变暖过程中冷季升温与暖季增幅并存的特征。

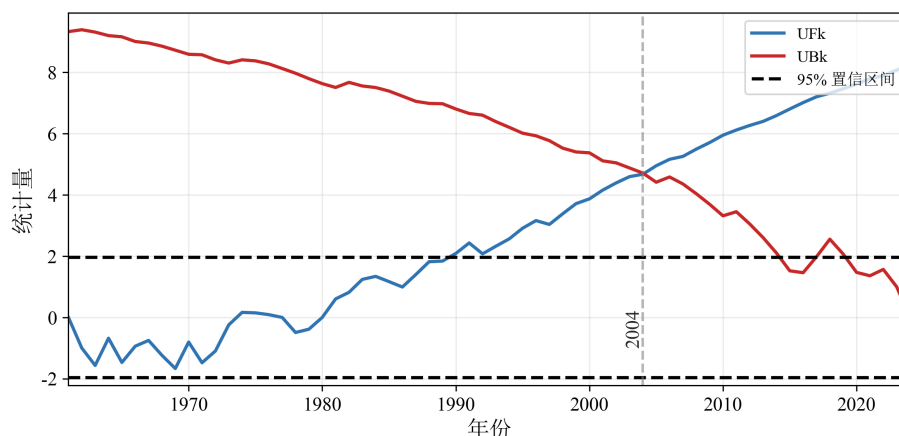


Figure 8. Mann-Kendall test for abrupt change in the annual minimum temperature in Lincang City during 1961~2024

图 8. 1961~2024 年临沧市年最低气温的 MK 突变检验

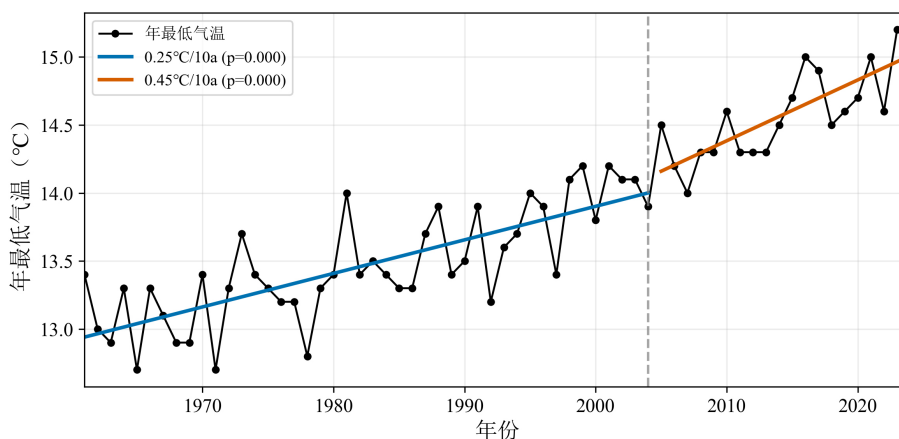


Figure 9. Piecewise linear regression of the annual minimum temperature in Lincang City during 1961~2024

图 9. 1961~2024 年临沧市年最低气温的分段线性回归

Table 1. Abrupt change points and rates of change before and after the change for the mean temperature, mean maximum temperature, and mean minimum temperature in Lincang City during 1961~2024

表 1. 1961~2024 年临沧市平均气温、平均最高气温、平均最低气温的突变点及突变前后变化速率

气候要素		整段序列趋势 (°C/10a)	突变点	突变前变化速率 (°C/10a)	突变后变化速率 (°C/10a)	变化幅度
平均气温	年	0.22***	2004*	0.12***	0.32***	0.20
	春季	0.20***	2008	0.11*	0.08	0.03
	夏季	0.19***	2007*	0.14***	0.37**	0.23
	秋季	0.24***	2008	0.15***	0.51**	0.36
	冬季	0.29***	2004	0.20***	0.38**	0.18
平均最高气温	年	0.21***	2008	0.08**	0.12	0.80
	春季	0.13***	2010	0.02	0.35	0.33
	夏季	0.23***	2008	0.11**	0.35**	0.24
	秋季	0.27***	2009*	0.13**	0.54**	0.41
	冬季	0.21***	1998	0.07	0.08	0.01
平均最低气温	年	0.32***	2004**	0.25***	0.45***	0.20
	春季	0.37***	1996	0.27***	0.34***	0.07
	夏季	0.23***	2000**	0.16***	0.31***	0.15
	秋季	0.26***	2001**	0.22**	0.58***	0.36
	冬季	0.44***	1999**	0.33***	0.65***	0.32

注：*、**和***分别表示差异有统计学意义($p < 0.1$ 、 0.05 和 0.01)。

3.3. 降水量变化特征

从整段序列看(表 2)，1961~2024 年临沧市年降水量显著减少，线性趋势为 $-27.93 \text{ mm}/10\text{a}$ ($p < 0.01$)。季节尺度上，夏季($-16.74 \text{ mm}/10\text{a}$, $p < 0.01$)与秋季($-12.80 \text{ mm}/10\text{a}$, $p < 0.01$)呈显著减少；春季($2.71 \text{ mm}/10\text{a}$)和冬季($1.01 \text{ mm}/10\text{a}$)整体变化不显著。

分段特征表明(图 10)，年降水量在 2015 年附近出现显著突变(0.1 水平)。突变前(1961~2015 年)年降水以 $-20.10 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速率缓慢下降，突变后(2016~2024 年)降幅骤增至 $-329.33 \text{ mm}/10\text{a}$ ，两段差异显著，变化幅度达 -309.23 mm (图 11)。季节降水亦检测到潜在突变点：春季(1972 年)、夏季(1997 年)、秋季(2011 年)与冬季(2015 年)，但这些季节性突变点的趋势差异未通过显著性检验，说明四季降水量仍以整体变化为主。

基于年降水量的突变特征，进一步对 2015 年前后进行回归分析。1961~2015 年，模型拟合较好($R^2 = 0.99$, $p < 0.01$)，四季回归系数分别为春 0.961、夏 0.971、秋 1.133、冬 0.686；对应相对贡献率为 25.6%、25.9%、30.2%和 18.3%，显示年降水主要受春、夏、秋控制。2016~2024 年，回归系数变化为春 0.656、夏 1.087、秋 1.099、冬 0.479；相对贡献率分别为 19.8%、32.7%、33.1%和 14.4%。可见突变后夏季与秋季的主导作用进一步增强，而春、冬贡献下降，表明近年降水的快速减少主要由暖季(夏、秋)降水减少驱动。

总体而言,临沧市近 64 年来降水量显著减少;2015 年后降幅明显加速,表现为夏秋主导、春冬次要的季节贡献特征。

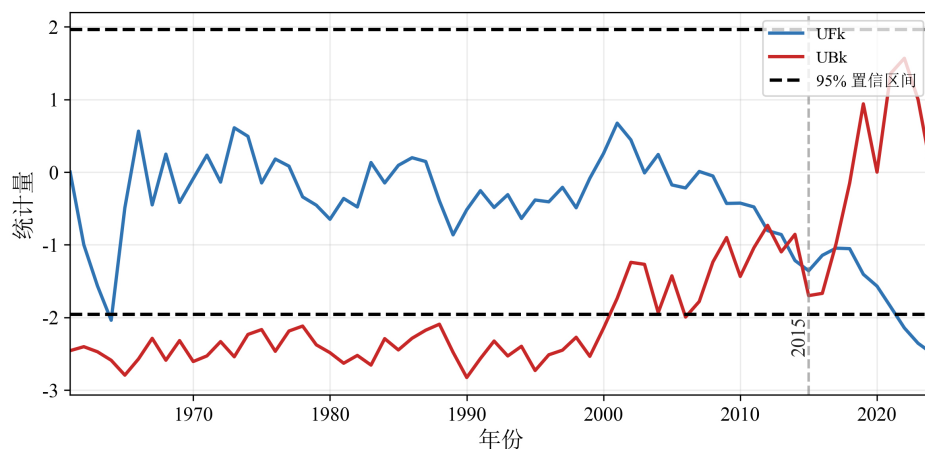


Figure 10. Mann-Kendall test for abrupt change in the annual precipitation in Lincang City during 1961~2024

图 10. 1961~2024 年临沧市年降水量的 MK 突变检验

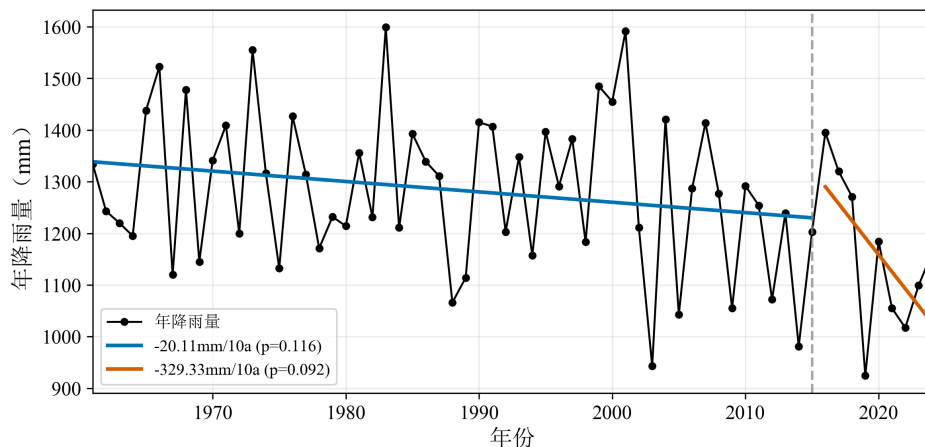


Figure 11. Piecewise linear regression of the annual precipitation in Lincang City during 1961~2024

图 11. 1961~2024 年临沧市年降水量的分段线性回归

3.4. 降雨日数变化特征

1961~2024 年临沧市年降水日数呈显著减少趋势,线性变化率为 $-7.66 \text{ d}/10\text{a}$ ($p < 0.01$)。在季节尺度上,春季($-1.07 \text{ d}/10\text{a}$, $p < 0.05$)、秋季($-2.87 \text{ d}/10\text{a}$, $p < 0.01$)和冬季($-1.67 \text{ d}/10\text{a}$, $p < 0.01$)均呈显著减少,夏季则显著增加,为 $1.98 \text{ d}/10\text{a}$ ($p < 0.01$)。总体说明年降水日数的长期减少主要由春、秋、冬季的持续下降所主导。

由于年降水日数的突变点未通过显著性检验,采用整段回归进一步分析其与四季降水日数的关系。结果表明($R^2 \approx 1$, $p < 0.01$),春、夏、秋三季的回归系数分别为 1.056、0.995 和 1.101,对应的相对贡献率分别为 28.2%、26.6%和 29.4%;冬季系数仅为 0.592,贡献率 15.8%。由此可见,年降水日数的变化主要由春、夏、秋三季共同主导,冬季的影响相对较弱。

Table 2. Trend changes in precipitation and rainy days in Lincang City during 1961~2024
表 2. 1961~2024 年临沧市降水量、降雨日数的趋势变化

气候要素		整段序列趋势 (mm/10a)	突变点	突变前趋势 (mm/10a)	突变后趋势 (mm/10a)	变化幅度
降水量	年	-27.93***	2015*	-20.1	-329.33	-309.23
	春季	2.71	1972	-38.21	-4.13	34.08
	夏季	-16.74***	1997	-19.83	-26.72	-6.89
	秋季	-12.80**	2011	-3.12	-23.54	-20.42
	冬季	1.01	2015	-0.59	-26.16	-25.57
降雨日数	年	-7.66***	1994	-6.79***	-8.04***	-1.25
	春季	-1.07***	2005	-0.22	-2.78	-2.56
	夏季	1.98***	2001	-1.43***	-2.47***	-1.04
	秋季	-2.87***	1994	-1.92**	-2.52**	-0.60
	冬季	-1.67***	1983	-4.14	-0.97	3.17

4. 结论

本研究基于 1961~2024 年临沧市 8 个国家气象站逐年气温与降水资料，采用 Mann-Kendall 突变检验与分段回归方法，分析了临沧市近 64a 的气温和降水变化特征，得到以下结论：

年平均气温总体升高并在 2004 年发生显著突变。1961~2024 年间年平均气温以 $0.22^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高。在季节尺度上，春、夏、秋、冬四季均显著升温，其中冬季升温最快($0.29^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)。突变前年平均升温速率为 $0.12^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，突变后升至 $0.32^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。2004 年以前秋、夏、春是升温的主要贡献因子(贡献率 29.8%、26.7%、25.4%)，2004 年以后秋季和夏季主导作用进一步增强(贡献率 32.3%、30.5%)。

年平均最高气温持续升高但突变不显著，秋季最敏感。1961~2024 年平均最高气温以 $0.21^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高，四季均呈上升趋势，其中夏季和秋季升温幅度更大。年序列突变不显著，整体表现为平稳升温。仅秋季最高气温在 2009 年发生显著突变，升温速率由 $0.13^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 增至 $0.54^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。回归结果显示，春季和秋季是年最高气温的主要贡献因子(贡献率分别为 36.0%和 34.8%)，共同解释超过 70% 的变化。

年平均最低气温升温显著，突变特征普遍存在且秋冬贡献突出。1961~2024 年年平均最低气温以 $0.32^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著升高，四季均显著升温，其中冬季升温最快($0.44^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)。年最低气温在 2004 年发生显著突变，突变前升温速率为 $0.25^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，突变后增至 $0.45^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。季节尺度上，夏季(2000 年)、秋季(2001 年)和冬季(1999 年)均出现显著突变。回归结果表明，2004 年以前年最低气温受春季贡献最大(33.9%)，而突变后秋季(33.5%)与夏季(26.1%)成为主导，显示冷季与暖季共同驱动的加速增暖特征。

年降水量显著减少，2015 年后降幅骤增，由夏秋主导。1961~2024 年年降水量以 $-27.93\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著减少($p<0.01$)，其中夏季和秋季降幅最大。年降水量在 2015 年发生显著突变，突变前下降速率为 $-20.10\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，突变后骤增至 $-329.33\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。四季虽存在潜在突变点，但未达显著性水平。回归分析表明，2015 年前春、夏、秋三季贡献率接近(25%~30%)，2015 年后夏季与秋季主导作用增强(贡献率 32.7%、33.1%)，显示区域降水骤减主要由暖季降水减少驱动。

年降雨日数显著减少，受春、秋、冬共同驱动。1961~2024 年年降雨日数以 $-7.66\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显

著减少。季节上, 春季($-1.07 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$)、秋季($-2.87 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$)和冬季($-1.67 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$)显著下降, 夏季则显著增加($1.98 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$)。回归分析结果显示, 春、夏、秋三季贡献率分别为 28.2%、26.6%、29.4%, 冬季贡献度最低(15.8%), 表明降雨日数的减少主要由春、秋、冬的下降趋势所主导。

基金项目

临沧市气象局青年创新团队(2024CX04)支持。

参考文献

- [1] 卢玢宇, 裴占江, 史风梅, 等. 黑龙江省近 30 年气候变化特征分析[J]. 黑龙江农业科学, 2019(5): 19-26.
- [2] IPCC (2013) Summary for Policy Makers of the Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge University Press.
- [3] 高启慧, 秦圆圆, 梁媚聪, 等. IPCC 第六次评估报告综合报告解读及对我国的建议[J]. 环境保护, 2023, 51(Z2): 82-84.
- [4] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书[M]. 北京: 科学出版社, 2021: 11-12.
- [5] 王蕾, 张百超, 石英, 等. IPCC 第六次评估报告关于气候变化影响和风险主要结论的解读[J]. 气候变化研究进展, 2022, 18(4): 389-394.
- [6] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-955.
- [7] 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.
- [8] 符传博, 吴润, 丹利. 近 50 年云南省雨日及降水量的气候变化[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 1027-1033.
- [9] 何萍, 李宏波, 黄惠. 1960-2009 年云南高原楚雄市气候年代际变化特征及城市气候分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(1): 65-72.
- [10] 刘翔卿, 王雷, 刘阳, 等. 1951-2010 年云贵高原大理和丽江气温、降水的气候特征分析[J]. 气候与环境研究, 2018, 23(5): 513-523.
- [11] 姚愚, 李蕊, 郑建萌, 等. 1961-2017 年云南季节变化特征分析[J]. 气象科学, 2020, 40(6): 849-858.
- [12] 解明恩, 姚愚, 段玮, 等. 低纬高原气候季节变化特征研究——以云南昆明大理为例[J]. 热带气象学报, 2023, 39(2): 171-182.
- [13] 方鹏, 曾妮, 苟杨, 等. 1984-2023 年贵州省 0cm 地温的时空变化特征分析[J]. 山地气象学报, 2025, 49(1): 52-57.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [15] 张应华. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. 干旱区地理, 2015, 38(4): 10-23.
- [16] 马莲, 卢素锦, 司剑华, 等. 黄河源区 1961-2017 降水序列趋势及突变识别[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(6): 842-851.