

黑龙江丰林自然保护区1958~2016年气温变化特征分析

韩丽冬^{1,2*}, 沃晓棠^{2#}

¹东北林业大学生态研究中心, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省森林工程与环境研究所, 黑龙江 哈尔滨

Email: 109485612@qq.com

收稿日期: 2021年4月24日; 录用日期: 2021年5月21日; 发布日期: 2021年5月26日

摘要

基于丰林自然保护区近58年(1958~2016)的平均气温、最低气温和最高气温数据资料,运用时间序列趋势分析方法、Mann-Kendall检验法,分析丰林自然保护区年、季的气温变化特征。结果表明:近60年来丰林自然保护区平均、平均最低、平均最高气温均以冬季增温最明显,其中,平均最低气温冬季增温趋势最显著,每10年平均增温0.87℃,表明丰林自然保护区研究时段内(1958~2016年)的气候增暖贡献最大的是冬季;丰林自然保护区平均气温的年、生长季、春季、冬季均温在20世纪90年代中期为显著升温期,平均最低气温的年、春季、冬季均温“降-升”突变均发生在20世纪80年代初,90年代初进入显著升温期,生长季均温突变发生在本世纪初,平均最高气温的年、生长季、春季均温突变均发生在20世纪80年代初,冬季均温突变期为90年代初,均通过0.01显著性水平检验。综上,丰林自然保护区年及各季一致的增温趋势与东北20世纪50年代末以来的持续升温趋势大背景同步。

关键词

丰林自然保护区, 气候变化, 气温

Variation Characteristics of Temperature in Heilongjiang Fenglin Nature Reserve during 1958~2016

Lidong Han^{1,2*}, Xiaotang Wo^{2#}

¹Ecological Research Centre, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Heilongjiang Forestry Engineering and Environment Institute, Harbin Heilongjiang

*第一作者。

#通讯作者。

Email: 109485612@qq.com

Received: Apr. 24th, 2021; accepted: May 21st, 2021; published: May 26th, 2021

Abstract

Based on the mean temperature, the minimum temperature and the maximum temperature of Fenglin Nature Reserve in recent 58 years (1958~2016), the time series trend analysis method and Mann-Kendall method were used to analyze the annual and seasonal temperature variation characteristics of Fenglin Nature Reserve. The results showed that the mean temperature, the minimum mean temperature and the maximum temperature of Fenglin Nature Reserve over the past 60 years have significantly increased in winter, and the minimum temperature in winter showed the most significant trend, with the mean temperature increasing 0.87°C every 10 years, indicating that winter contributed the most to the climate warming during the research period (1958~2016) in Fenglin Nature Reserve; the annual, growing season, spring and winter mean temperature of the average temperature have increased since the middle of 1990s; The abrupt transition of annual, spring and winter mean temperature “down-rise” occurred in the beginning of 1980s, and entered a significant warming period in the beginning of 1990s. The abrupt transition of growing season mean temperature occurred in the early 2000s. The annual, growing season, and spring mean temperature mutation of the highest temperature all occurred in the beginning of 1980s, while the winter mean temperature mutated in the beginning of 1990s, all of which passed the 0.01 significance level test. To sum up, the consistent annual and quarterly warming trend of Fenglin Nature Reserve is the consistent and synchronous with the continuous warming trend of northeast China since end of 1950s.

Keywords

Fenglin Nature Reserve, Climatechange, Temperature

Copyright © 2021 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

20 世纪以来, 随着人类活动的加剧, 全球气候变化问题日益突出。气温作为最基础的气候要素之一, 在气候变化研究中有着重要地位[1], 逐步受到各国学者的关注, 并取得了一些研究成果[2] [3] [4] [5]。IPCC 第五次研究报告指出, 近百年来全球气温上升已高达 0.85~0.89°C, 呈现显著的升高趋势[6]。相关研究表明, 虽然全球气温总体上呈明显的上升趋势, 但增温幅度在不同区域存在显著的空间差异[7] [8] [9]。孙娴等[10]研究发现, 我国的气温变化具有明显的区域差异性, 不同区域气温上升幅度和突变点存在差异, 且突变后的年平均气温增加程度要大于突变前。丁明军等[11]等研究发现, 1971~2012 年青藏高原及其周边地区年、春夏秋冬四季、最热月和最冷月均温总体上均呈现显著增加趋势, 增温幅度呈现出中、东部和东北部高, 东南部低的空间格局。REN 等[12]研究发现, 在过去的 100 a, 中国的年均地表气温变化率从 $0.03^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 增加到 $0.12^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$, 这种变暖在中国北方更为明显, 在冬季和春季更为显著。针对中国气温变化现状, 史雯雨等[13]研究发现近 60 a 来, 我国气温呈现明显的上升趋势, 全国平

均气温变化递增率为 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 且有明显的区域性差异和季节性差异。丰林自然保护区是黑龙江省第一个自然保护区, 是中国东北可持续发展和生态文明建设重点区域之一, 对气候变化和人为干扰响应强烈。为了解丰林自然保护区多年来气温变化的趋势和特征, 本研究拟采用线性倾向率、滑动平均和 Mann-Kendall (M-K) 趋势检验法, 通过揭示丰林自然保护区平均气温、最低气温、最高气温的趋势及突变特征, 进一步准确地认识和理解丰林自然保护区的气温变化趋势, 这对于有效应对气候变化、实现该区域可持续发展具有重要意义。

2. 研究区概况

始建于 1958 年的丰林国家级自然保护区, 位于黑龙江省伊春市小兴安岭中麓地段, 是黑龙江省第一个自然保护区。丰林自然保护区 1997 年被联合国教科文组织纳入世界生物圈保护区网络, 是黑龙江省加入世界生物圈网络最早的保护区。丰林国家级自然保护区的主要保护对象是红松(*Pinuskoraiensis*)为主的北温带阔叶混交林生态系统和珍稀野生动植物, 属森林生态系统类型自然保护区, 是我国北方红松林生态系统保存最完整, 面积最大的天然集中分布区。保护区总面积 18165.4 hm^2 , 其中核心区总面积 4165 hm^2 , 缓冲区总面积 3812 hm^2 , 试验区总面积 10188.4 hm^2 , 原始森林覆盖面积占森林面积的 92% 以上, 保护区保存的天然红松林平均蓄积量是黑龙江森工国有林区天然红松林平均蓄积量的 1.97 倍, 且以很小的林地面积保存着黑龙江森工国有林区 1/5 的天然红松蓄积量。

3. 材料来源与方法

3.1. 材料来源

本文选取距离黑龙江省丰林自然保护区核心区辐射的 3 个气象站点: 五营、伊春、逊克。选用国家气象科学数据共享服务网平台提供的各站点 1958~2016 年的逐日平均气温、最低气温、最高气温数据作为基本资料。国家气象中心对各气象站的气温数据已进行了质量控制。因此, 各站点资料具有比较好的连续性和气温序列的完整性。

丰林自然保护区是中国东北重要的森林生态保护区。多数研究显示, 生长季及春季、冬季气温等气候变化指标是森林植被生长的限制因子[14]。因此, 本文旨在探讨近 59 年(1958~2016)来丰林自然保护区平均气温、最低气温、最高气温的年、生长季、春季、冬季均温的趋势变化及突变特征。文中 Ta1-12、Ta5-9、Ta3-4、Ta12-2 分别表示平均气温的年、生长季、春季、冬季均温; Ts1-12、Ts5-9、Ts3-4、Ts12-2 分别表示最低气温的年、生长季、春季、冬季均温; Th1-12、Th5-9、Th3-4、Th12-2 分别表示最高气温的年、生长季、春季、冬季均温。

3.2. 分析方法

1) 应用线性趋势函数拟合气温的趋势特征, 一元线性直线回归方程来描述两个变量在散点图上的线性关系, 用回归系数表示线性函数的倾向率, 也就是要素的线性趋势, 并对时间与要素变量之间的相关系数进行显著性检验[15]。

2) 应用滑动平均法确定时间序列的平滑值, 经过滑动平均后, 序列中短于滑动长度的周期大大削弱, 更利于显示气温时间序列的变化趋势[16]。

3) 运用 Mann-Kendall 检测法进行气候序列的突变特征分析, Mann-Kendall 检验是一种非参数统计检验方法(以下简称 M-K 检验)。其优点是不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 更适用于类型变量和顺序变量, 计算也比较简单[17]。

4. 结果与分析

4.1. 气温变化趋势分析

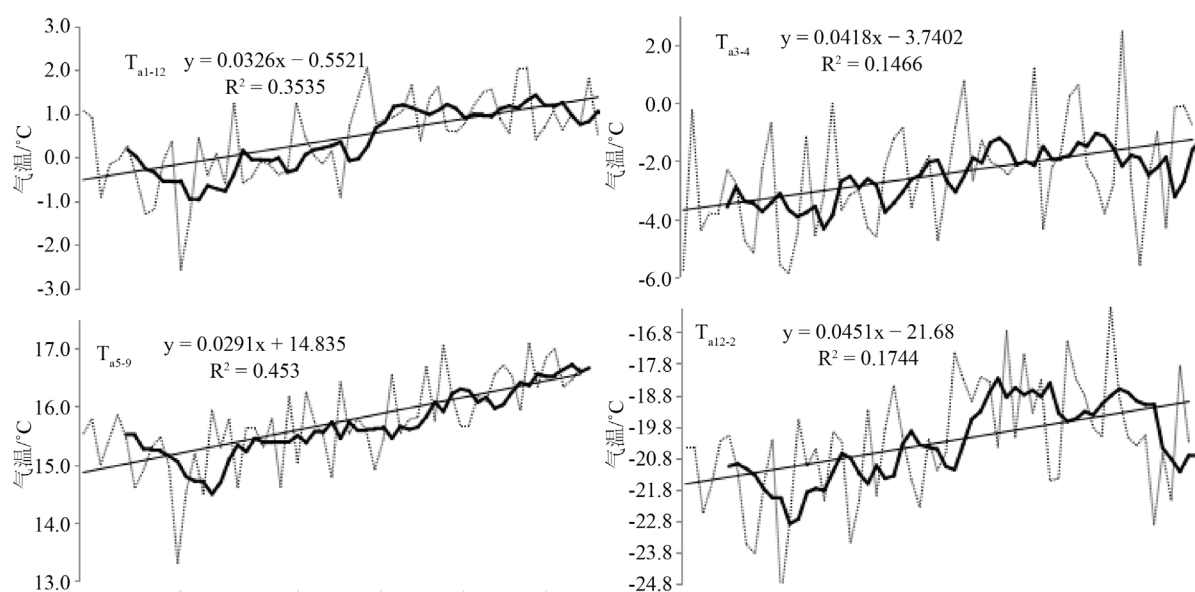
近 60 年来丰林自然保护区平均、最低、最高气温的年、季均温线性趋势上升明显(见图 1), 平均气温的年、生长季、春、冬季气候倾向率分别为: $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.42^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 最高气温的年、生长季、春、冬季气候倾向率分别为: $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.01^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; 最低气温的年、生长季、春、冬季气候倾向率分别为: $0.70^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.40^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.87^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

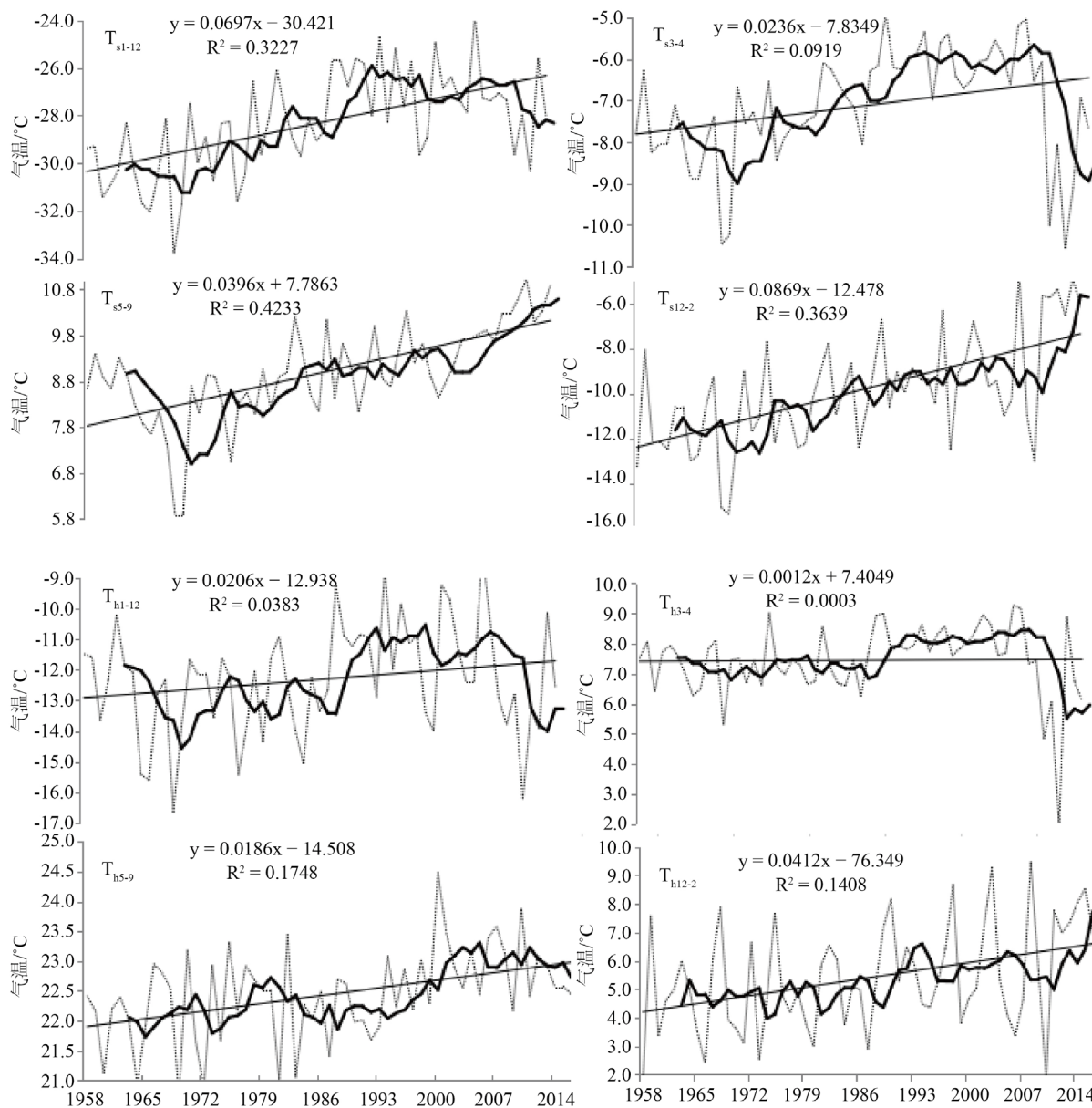
1958~2016 年丰林气温线性趋势分析显示, 平均、最低、最高气温均以冬季增温最明显; 平均气温的生长季增温趋势最弱, 最低、最高气温的春季增温最弱。其中, 平均气温冬季上升速率约是生长季的 1.55 倍; 最低、最高气温冬季上升速率分别是春季的 41 倍与 3.6 倍。综上, 最低气温冬季增温趋势最显著, 每 10 年平均增温 0.87°C , 表明丰林自然保护区研究时段内(1958~2016 年)的气候增暖贡献最大的是冬季。

5 a 滑动平均结果显示, 丰林平均气温的年、生长季、春季、冬季均温 20 世纪 60 年代均呈现小幅下降趋势, 至 70 年代初期达最低值, 其后至研究时段末期, 生长季均温为波动上升状态, 而年均温、春季、冬季均温的波动上升至 21 世纪初达最高值, 之后经历 6~8 年的波动下降期, 研究时段末期有小幅反弹上升; 最低气温的年、生长季、春季、冬季均温在 20 世纪 60 年代与平均气温相似, 均呈小幅下降趋势, 其后, 生长季均温与冬季均温进入小幅的波动上升期, 而年均温与春季均温呈“升-降-升-降”的变化趋势, 且波动程度较大; 与平均气温、最低气温不同, 最高气温的年、生长季、春季、冬季均温年代际变化格局各不相同。其中, 年均温的波动幅度较大, 20 世纪 60 年代和 21 世纪初下降趋势显著, 其它时段则波动上升。春季均温只在 21 世纪初下降显著, 其它时段波动平稳, 生长季均温为“升-降-升-降”波动趋势, 冬季均温则始终保持波动上升状态。

4.2. 气温突变特征分析

丰林自然保护区平均气温的均温序列的 M K 检测图显示(图 2), 年、生长季、春季、冬季均温在 20 世纪 60 年代有下降趋势但不明显, 自 70 年代初期之后呈现升高趋势, 此 M K 检测结果同上述 5 a 滑动





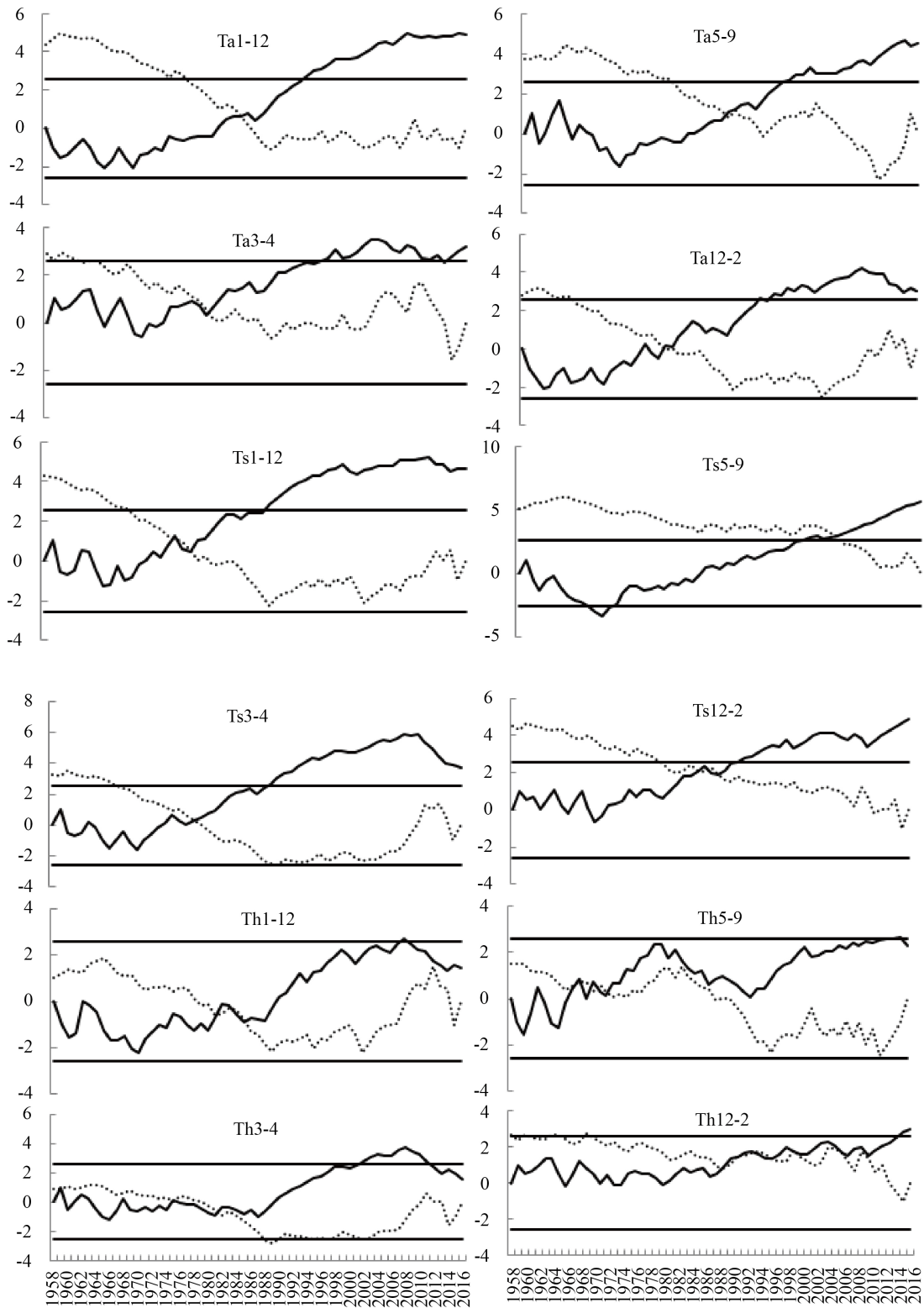
Note: The straight lines in the figure represent linear trend lines, the thin dashes represent measured values and the thick dashes represent 5-year sliding averages; 注：图中直线为代表线性趋势线，细折线代表实测值，粗折线代表5年滑动平均。

Figure 1. Temperature evolution trend in Fenglin Nature Reserve from 1958 to 2016

图 1. 1958~2016 年丰林自然保护区气温演变趋势

趋势分析结果相一致。平均气温的年、生长季、春季、冬季均温正曲线 $UF(k)$ 和反曲线 $UB(k)$ 在置信区间内有且仅有一个交点，此交点出现的 20 世纪 80 年代时段为突变期。年、生长季、春季、冬季均温的正曲线 $UF(k)$ 分别在 1994、1997、1996、1994 年与 0.05 显著水平线相交，表明其后升高显著，20 世纪 90 年代中期为显著升温期。

M K 检测图显示，丰林自然保护区最低气温的年、生长季、春季、冬季均温趋势变化特征同平均气温，20 世纪 70 年代初期之后呈升高趋势。最低气温的年、生长季、春季、冬季均温突变特征各不相同，其中，年、春季、冬季均温 $UF(k)$ 和 $UB(k)$ 在置信区间内分别有 2、1、3 个交点，生长季均温 $UF(k)$ 和 $UB(k)$



Note: Black solid curves represent $UF(k)$, black dashed curves represent $UB(k)$, and straight lines represent confidence intervals;
 注: 图中黑实曲线代表 $UF(k)$, 黑虚曲线代表 $UB(k)$, 直线代表置信区间。

Figure 2. 1958~2016 characteristics of abrupt temperature changes in fenglin nature reserve
图 2. 1958~2016 年丰林自然保护区气温突变特征

的交点在置信区间外。表明, 春季均温的“降-升”突变发生在 20 世纪 80 年代初, 其 UF(k) 在 1990 年与 0.05 显著水平线相交, 可见, 90 年代初春季均温进入显著升温期。经滑动 t 检验确定年与冬季均温突变期发生在 20 世纪 80 年代初, 生长季均温突变期为本世纪初, 均通过 0.01 显著性水平检验。

丰林自然保护区最高气温与平均气温、最低气温变化特征不同, 其年、生长季、春季、冬季均温升高趋势不显著, UF(k) 均未超过 0.05 显著性水平(只春季均温在本世纪初短期超过 0.05 显著性水平, 其后转入下降趋势)。最高气温的年、生长季、春季、冬季均温 UF(k) 和 UB(k) 在置信区间内均有多个交点, 经滑动 t 检验确定年、生长季、春季均温突变期均发生在 20 世纪 80 年代初, 冬季均温突变期为 90 年代初, 均通过 0.01 显著性水平检验。

5. 结论

近 60 年来丰林自然保护区平均、最低、最高气温均以冬季增温最明显, 其中, 最低气温冬季增温趋势最显著, 每 10 年平均增温 0.87°C; 平均气温的生长季均温增温趋势最弱, 最低、最高气温的春季增温最弱。表明丰林自然保护区研究时段内(1958~2016 年)的气候增暖贡献最大的是冬季。5 a 滑动平均结果显示, 丰林平均气温与最低气温的年、生长季、春季、冬季均温 20 世纪 60 年代均呈小幅下降趋势, 与平均气温、最低气温不同, 最高气温的年、生长季、春季、冬季均温年代际变化格局各不相同。其中, 年均温的波动幅度较大, 春季均温只在 21 世纪初下降显著, 其它时段波动平稳, 生长季均温为“升-降-升-降”波动趋势, 冬季均温则始终保持波动上升状态。

丰林自然保护区平均气温的年、生长季、春季、冬季均温的正曲线 UF(k) 分别在 1994、1997、1996、1994 年与 0.05 显著水平线相交, 表明其后升高显著, 20 世纪 90 年代中期为显著升温期; 最低气温的年、春季、冬季均温“降-升”突变均发生在 20 世纪 80 年代初, 90 年代初进入显著升温期。生长季均温突变期为本世纪初; 最高气温的年、生长季、春季均温突变期均发生在 20 世纪 80 年代初, 冬季均温突变期为 90 年代初, 均通过 0.01 显著性水平检验。综上, 丰林自然保护区年及各季一致的增温趋势与东北 20 世纪 50 年代末以来的持续升温趋势大背景同步。

基金项目

黑龙江省森林工业总局科技计划(sgzjQ2015006); 黑龙江省财政自拟课题(2015-02SCZ)。

参考文献

- [1] 刘晓琼, 孙曦亮, 刘彦随, 等. 基于 REOF-EEMD 的西南地区气候变化区域分异特征[J]. 地理研究, 2020, 39(5): 1215-1232.
- [2] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.
- [3] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 1-6.
- [4] Wang, Q., Zhang, M., Wang, S., et al. (2014) Changes in Temperature Extremes in the Yangtze River Basin, 1962-2011. *Journal of Geographical Sciences*, **24**, 59-75. <https://doi.org/10.1007/s11442-014-1073-7>
- [5] 吴成启, 唐登勇. 近 50 年来全球变暖背景下青藏高原气温变化特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6): 262-266, 272.
- [6] Shi, J., Cui, L., Wang, J., et al. (2018) Changes in the Temperature and Precipitation Extremes in China during 1961-2015. *Quaternary International*, **527**, 64-78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.08.008>
- [7] Pepin, N.C. and Seidel, D.J. (2005) A Global Comparison of Surface and Free-Air Temperatures at High Elevations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **110**, D03104. <https://doi.org/10.1029/2004JD005047>
- [8] Burrows, M.T., Schoeman, D.S., Buckley, L.B., et al. (2011) The Pace of Shifting Climate in Marine and Terrestrial Ecosystems. *Science*, **334**, 652-655. <https://doi.org/10.1126/science.1210288>
- [9] Ji, F., Wu, Z., Huang, J., et al. (2014) Evolution of Land Surface Air Temperature Trend. *Nature Climate Change*, **4**,

462-466. <https://doi.org/10.1038/nclimate2223>

- [10] 孙娴, 林振山. 经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1132-1141.
- [11] 丁明军, 李兰晖, 张锺铨, 等. 1971-2012 年青藏高原及周边地区气温变化特征及其海拔敏感性分析[J]. 资源科学, 2014, 36(7): 1509-1518.
- [12] Ren, G.Y., Ding, Y.H., Zhao, Z.C., *et al.* (2012) Recent Progress in Studies of Climate Change in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, **29**, 958-977. <https://doi.org/10.1007/s00376-012-1200-2>
- [13] 史雯雨, 杨胜勇, 李增永, 等. 近 57 年金沙江流域气温变化特征及未来趋势预估[J]. 水土保持研究, 2021, 28(1): 211-217.
- [14] 白天军, 刘苑秋, 温林, 等. 生庐山日本柳杉早材与晚材年轮宽度对气候变化的响应[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(9): 61-69.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [16] 孙凤华, 杨素英. 东北气候变化与极端气象事件[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [17] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.