

赤峰市冬季气温变化分析

任宾宾^{1*}, 于江颖², 郭静仪¹

¹呼伦贝尔学院旅游地理与历史文化学院, 内蒙古 呼伦贝尔

²朝阳市第二高级中学, 辽宁 朝阳

收稿日期: 2025年4月10日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年5月31日

摘要

在全球气候变化背景下, 区域气候响应特征备受关注, 尤其是中高纬度地区冬季气候变化特征。文章以赤峰市为研究区, 着重对冬季气温和年均温时空变化特征进行对比分析, 结果发现, 1961~2021年年均温呈现极显著上升趋势, 冬季气温上升趋势不显著, 说明该区域冬季增温贡献不显著; 低海拔冬季气温响应特征明显, 增温趋势显著。1993年年均温气温发生显著的突变, 冬季增温突变年份为1979年, 与年均温相比, 冬季增温突变敏感。年均温和冬季气温均表现为年际周期变化明显的特征。年均温和冬季气温空间变化均表现为由东南向西北递减的特征, 主要与纬度和海拔因素有关。

关键词

赤峰市, 冬季, 气温, 时空变化

Analysis of Winter Temperature Variations in Chifeng City

Binbin Ren^{1*}, Jiangying Yu², Jingyi Guo¹

¹School of Tourism, Geography, History and Culture, Hulunbuir University, Hulunbuir Inner Mongolia

²Chaoyang No. 2 Senior High School, Chaoyang Liaoning

Received: Apr. 10th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: May 31st, 2025

Abstract

Under global climate change, understanding the characteristics of regional climate responses has emerged as a focal point of scientific inquiry, particularly regarding the climatic changes during winter in mid-high latitude regions. This study takes Chifeng City as its research domain, conducting an in-depth comparative analysis of the spatiotemporal variation patterns of winter temperatures

*通讯作者。

文章引用: 任宾宾, 于江颖, 郭静仪. 赤峰市冬季气温变化分析[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(5): 838-847.
DOI: 10.12677/ag.2025.155080

and annual mean temperatures. The findings reveal that from 1961 to 2021, the annual mean temperature has demonstrated an extremely significant upward trend. In contrast, the increase in winter temperatures has not reached statistical significance, suggesting that winter warming has made a relatively minor contribution to the overall temperature rise in this area. Notably, winter temperatures at lower altitudes exhibit a more pronounced response, with a significant warming trend. A significant abrupt change in the annual mean temperature was detected in 1993, while the year of abrupt change for winter warming was identified as 1979. Demonstrating higher sensitivity to abrupt warming in winter compared to annual means. Both annual and winter temperatures exhibited clear interannual cyclical variations. Spatially, temperatures decreased from southeast to northwest for both annual and winter means, primarily associated with latitude and elevation factor.

Keywords

Chifeng City, Winter, Temperature, Spatio-Temporal Variations

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

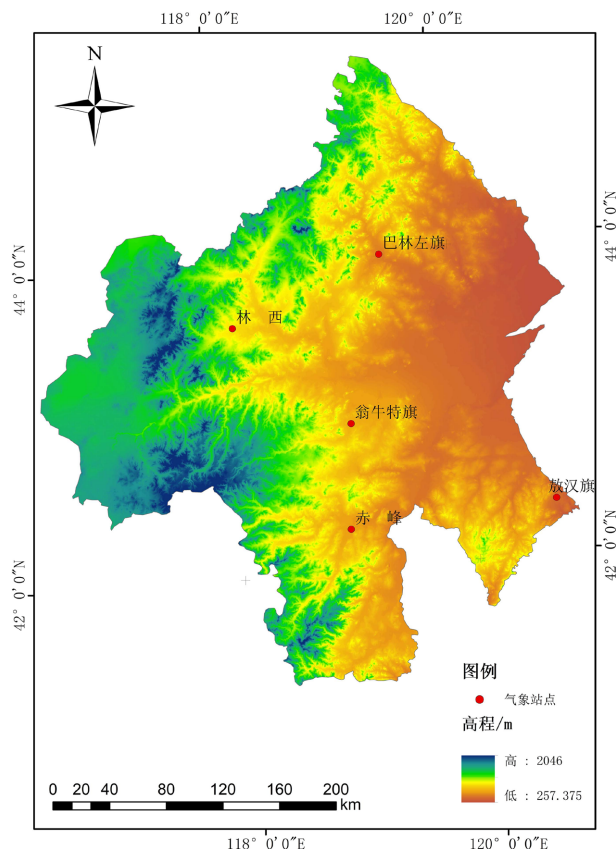
在气候变化相关研究中，傅立叶首先提出了气候逐步转暖的观点，被看作是大气温室效应的来源而广为引用[1]。IPCC(政府间气候变化专门委员会)研究结果显示，近百年以来，地球气候正在发生一种显著的变化，其主要特征是变暖，尤其是冬季气温变暖更加明显[1][2]。许多学者研究了暖冬的成因，以及冬季气温变暖对人类经济与社会发展的影响。以近年的实际气温变化为基础，我国钱维宏等人研究发现，过去的45个冬季风期间，之所以冬季气温持续升高形成暖冬，是因为寒潮和极端寒潮事件的减少(降温频次的减少)在一定程度上导致了冬季最低气温平均值的升高[3]。根据目前的气温趋势，王澄海等人研究认为未来20年，中国将继续保持增暖趋势[4]。在对中国现在已有的468个站点以时间尺度进行划分的基础上，梁苏洁等学者运用气候跃变检验分析的方式进行研究，发现中国冬季气温变化特征，除了已知的整体变暖趋势，同时叠加有年代际波动变化，划分为三个时期，分别是冷期、暖期和停滞期[5]。马锋敏等学者在此基础上，以南、北方为分界，分析了不同年代及时间尺度背景下，我国冬季气温季节内变化产生的新特征，以1986年为节点，1986年之前南方地区季节内变率大；1986年之后北方地区季节内变率大[6]。目前，针对冬季气温变化的研究，主要是由调查区域冬季气温变化，推测区域冬季气温变化规律后，预测未来的状况，及时对可能发生的状况进行预防。

赤峰市是内蒙古重要的粮食主产区之一，是我国暖温带向寒温带的过渡地区、欧亚草原区和东亚阔叶林区的接触过渡地带，是农牧交错带等多条地理界限的过渡区[7]，气温的变化密切影响着赤峰农牧业的状况。了解区内的气温变化趋势及其对农业和生态环境等方面产生的影响，对合理利用气候资源，有针对性地安排农牧业生产，改善生态环境有重要意义。且随着科学技术的进步和人民日益增长的美好生活需求而言，社会各界部门和公众对冬季气候预测精细化服务水平也在逐步提升，科学认识气候异常的特征和演变规律，准确预测冬季气候异常程度对提高防灾减灾服务能力有着重要的应用价值。

2. 研究区概况

赤峰市地处内蒙古自治区东南部，E116°21'~120°58'、N41°17'~45°24'(图1)，面积90,021 km²，位于蒙冀辽三省区交汇处，东南与朝阳接壤，西南与承德毗邻，东部与通辽相连，西北与锡林郭勒盟交界。

位于大兴安岭南段和燕山北麓山地，西拉木伦河南北与老哈河流域广大地区，呈三面环山、西高东低、多山多丘陵的地貌特征[8]。气候以温带季风性气候为主，冬季寒冷，夏季炎热，降水季节变化十分明显。多年平均气温为 7℃~7.5℃，大部分地区年均降水量为 350~450 mm。



(文中地图的底图均源于国家标准地图，审图号：蒙S(2020)025 号)。

Figure 1. Location map of the study area
图 1. 研究区位置示意图

3. 数据及方法

3.1. 数据来源

本论文研究数据来自中国气象数据网，选用赤峰市 5 个气象站(巴林左旗、林西县、赤峰、翁牛特旗、敖汉旗)(图 1)，数据为 1961 年至 2021 年月均温，按照季节划分标准，12 月至次年 2 月为冬季，依据气候统计分析方法[9]，对赤峰市冬季平均气温进行分析。

依据地形特点及气象站点位置，对赤峰市不同海拔气候变化趋势进行分析，比较不同海拔气候变化特征。

3.2. 研究方法

3.2.1. 线性回归

用一元线性回归方程来描述 x_i 和 y_i 之间的关系：

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \Delta_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$

式中 x_i 和 y_i 分别是自变量 x 和因变量 y 的第 i 观测值, a_0 和 a_1 是回归系数, n 是观测点的个数, Δ_i 为对应于 y 的第 i 观测值 y_i 的随机误差[9]。

3.2.2. Mann-Kendall 突变检验

Mann-Kendall 突变检验常用于长序列样本变化趋势及突变点的检验, 是一种非参数检验的方法(不受异常值干扰), 被世界气象组织推荐用于现代气候数据统计与预测[9]-[11]。假设 $x_t (t=1,2,\dots,n)$ 为一时间序列, 先确定整个序列的对偶数的个数 P , 其计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^k r_i (k=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

$$r_i = \begin{cases} 1(x_i < x_j) \\ 0(x_i \geq x_j) \end{cases} (j=1,2,\dots,i) \quad (3)$$

再根据对偶数的个数 P 计算统计量 U :

$$U = \left(\frac{4P}{n(n-1)} - 1 \right) / \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}} \quad (4)$$

用 Mann-Kendall 突变检验方法对赤峰市多年平均气温进行检验。若 $UF_k > 0$, 则表明序列呈上升趋势, $UF_k < 0$ 则表明呈下降趋势, 当它们超过临界直线时, 表明上升或下降趋势显著。如果临界范围内 UF 和 UB 两条曲线出现交点, 交点对应的时刻即为突变开始时刻。其次采用滑动 T 检验进一步确定突变年份。

3.2.3. 周期分析

气象领域的数据分析广泛应用到小波分析[9] [12]-[14], 它可以剖析出隐藏在不同的时间尺度上的周期性变化。小波函数具有震荡性的特点使其能够在短时间内快速衰减为零, 定义如下:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (5)$$

$\Psi(t)$ 基于时间域平移和尺度域伸缩形成一族函数系:

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (6)$$

式中: $\Psi_{a,b}(t)$ 为基小波函数, $b \in R, a \in R, a \neq 0$; a 为尺度因子, 反映小波的周期长度; b 为时间因子, 反映在时间上的平移。

小波函数选取是小波分析的关键, 本研究采用 Morle 函数:

$$\Psi(t) = e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (7)$$

式中: c 为常数; i 为虚数。

对于选定的小波函数, 时间序列 $f(t)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\Psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (8)$$

式中: $\bar{\Psi}(t)$ 为 $\Psi(t)$ 的复共轭函数; $w_f(a,b)$ 为小波变换系数。

小波系数的平方值在时间域上积分即为小波方差:

$$Var(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(ab)|^2 db \quad (9)$$

根据小波系数绘制等值线图,分析时间尺度上气温变化特征,并预测未来趋势[13]。本文主要借助 R 语言代码实现。

3.2.4. kriging 空间插值分析

根据各气象台多年平均气温,结合赤峰市行政区划图及台站地理信息,进行空间插值分析全市平均气温分布特征。

4. 冬季气温变化基本特征

4.1. 时间变化

4.1.1. 线性趋势

赤峰市 1961~2021 年 61 年间平均温度为 6.28℃,线性回归分析结果显示(图 2),赤峰市年均温和冬季气温均呈显著上升趋势。年均温倾向率为 0.26℃/10a。5 个台站 1961~2020 年年均气温中最低值为 1969 年的 4.2℃,最高值为 2007 年 7.8℃。赤峰市冬季气温倾向率为 0.165℃/10a,低于中国东北冬季平均气温增幅[15],冬季平均温度为-9.89℃,冬季均温最低值为-13.04℃(2012 年),最高值为-6.7℃(2007 年)。年均气温较冬季平均气温的上升趋势更为明显,60 年平均气温年增幅为 1.5℃,冬季平均气温 60 年年增幅为 0.85℃。何文鑫等人认为赤峰市多年平均气温呈现波动上升趋势,冬季气温变化甚微[7]。

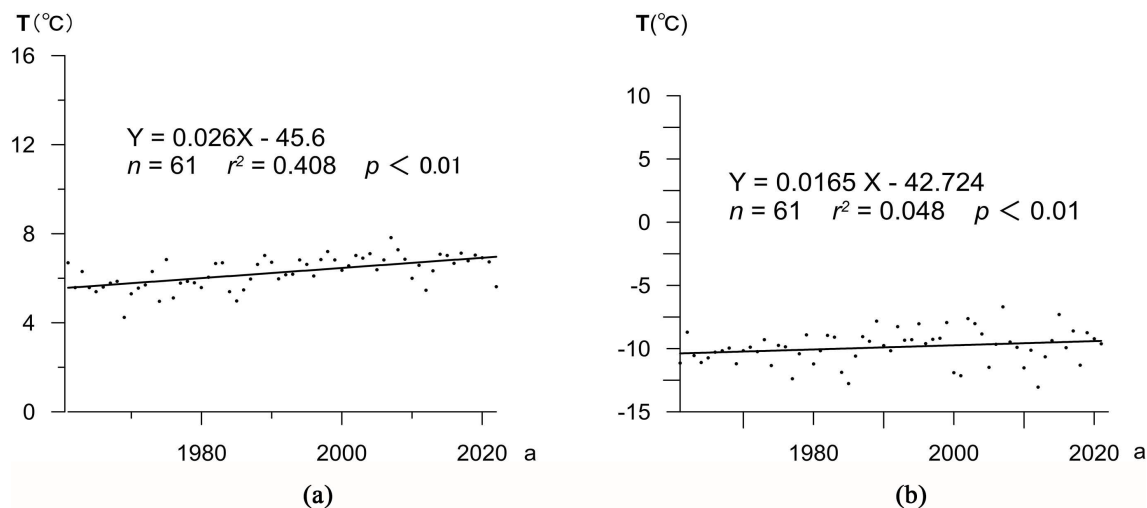


Figure 2. Linear trends of annual and winter temperatures in Chifeng City during 1961~2021. (a) annual temperature; (b) winter temperature

图 2. 1961~2021 年赤峰市年均温和冬季气温线性趋势图。(a) 年均气温; (b) 冬季气温

不同海拔年均温与冬季气温相比(图 3),增温趋势显著,年均温增温趋势呈极显著水平($p < 0.001$),中、低海拔冬季气温增温趋势较为显著,均达到了 95%的置信水平。中、高海拔,冬季气温倾向率均小于年均温倾向率,说明中、高海拔冬季增温贡献较小,其他季节的增温趋势可能更加明显;低海拔冬季气温倾向率大于年均温倾向率,说明低海拔增温幅度大于年均温增加幅度,低海拔冬季增温趋势明显大于中、高海拔地区。

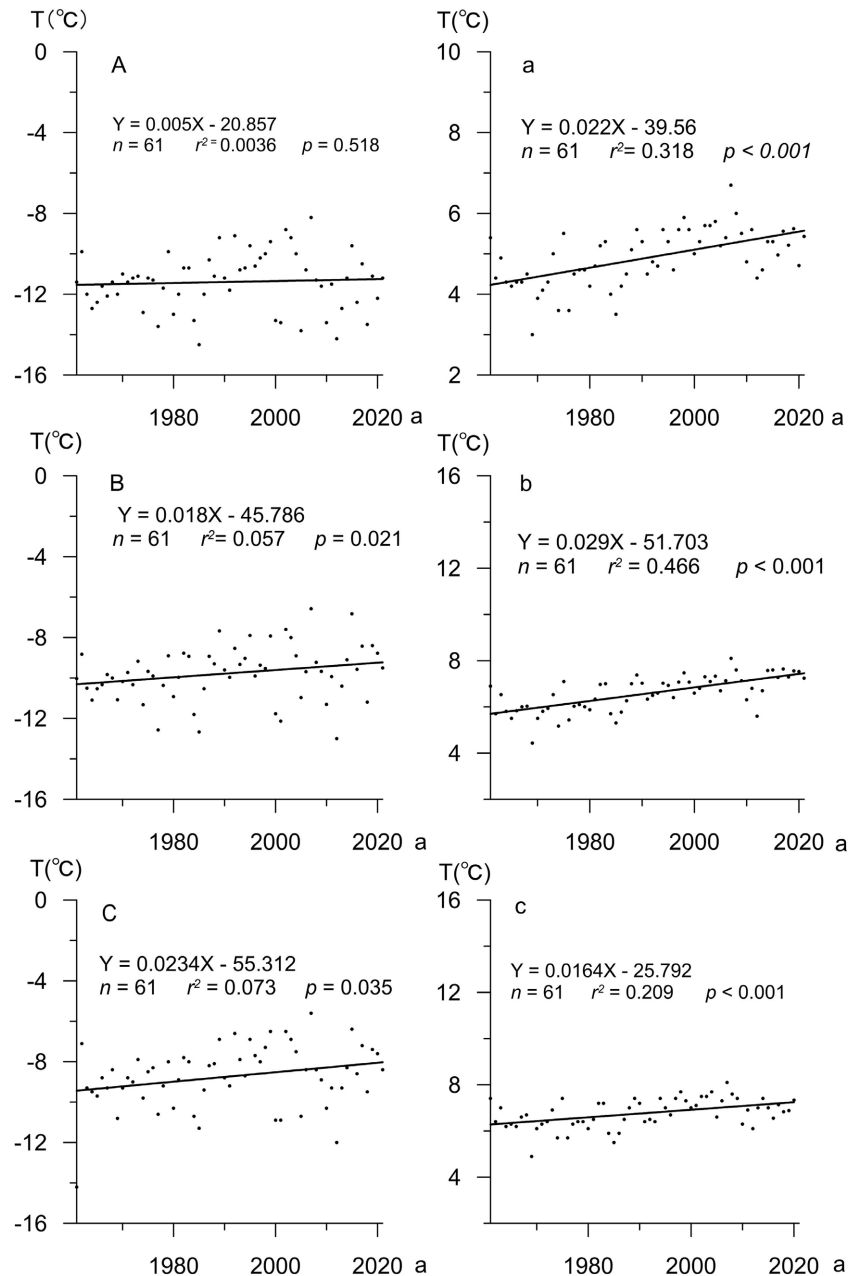


Figure 3. Elevation-dependent linear trends of annual and winter temperatures in Chifeng City during 1961~2021. (A, B, C: winter temperature trends at high, medium, and low elevations; a, b, c: annual mean temperature trends at high, medium, and low elevations respectively)

图 3. 1961~2021 年赤峰市不同海拔冬季气温及年均温线性趋势图。(A、B、C 代表高、中、低不同海拔冬季气温变化趋势，a、b、c 代表高、中、低不同海拔年均温变化趋势)

4.1.2. 突变特征

对赤峰市 1961~2021 多年平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验，由检验结果(图 4)可知，图 4(a)年均气温上，1961~1981 年和 1985~1987 年两个阶段，UF 曲线小于 0，说明气温呈现下降趋势。1987 年至今，UF 曲线大于 0，说明气温从 1987 年至今呈现上升趋势。1994 年开始超过 95%显著性水平，说明 1994 年

至今赤峰市年均温显著变暖, UF 和 UB 曲线在显著性临界线内存在 1993 年交点, 确定 1993 年为突变年份。图 4(b)冬季平均气温上, 在 1961~1963 年和 1964~1967 年两个阶段上 UF 曲线小于 0, 气温呈现下降趋势。1967 年至今, UF 曲线大于 0, 气温从 1967 年至今呈现上升趋势。1995~2013 年超过 95% 显著性水平, 在这一阶段, 赤峰市多年冬季平均气温增暖明显, UF 和 UB 曲线在显著性临界线内存在 6 个交点, 分别在 1981 年、1973 年、1974 年、1975 年、1978 年、1979 年相交, 通过滑动 t 检验, 确定 1979 年为突变年份。冬季增温突变早于年均温, 这说明冬季气温突变更加敏感。

对于赤峰市多年年均气温的 Mann-Kendall 突变检验, 何文鑫[7]等人通过对赤峰市 4 个站点(林西、宝国图、翁牛特旗、敖汉) 1982~2018 年多年平均气温进行检验, 得到赤峰市年均气温在 1982 年发生突变, 这一结果, 与樊雪丰以松山区气象站的数据对最大冻土深度进行突变分析的突变点一致[16]。由于站点数据的选择和时间序列的不同, 本文的赤峰市多年年均气温的突变点与之不同, 突变点为 1993 年。

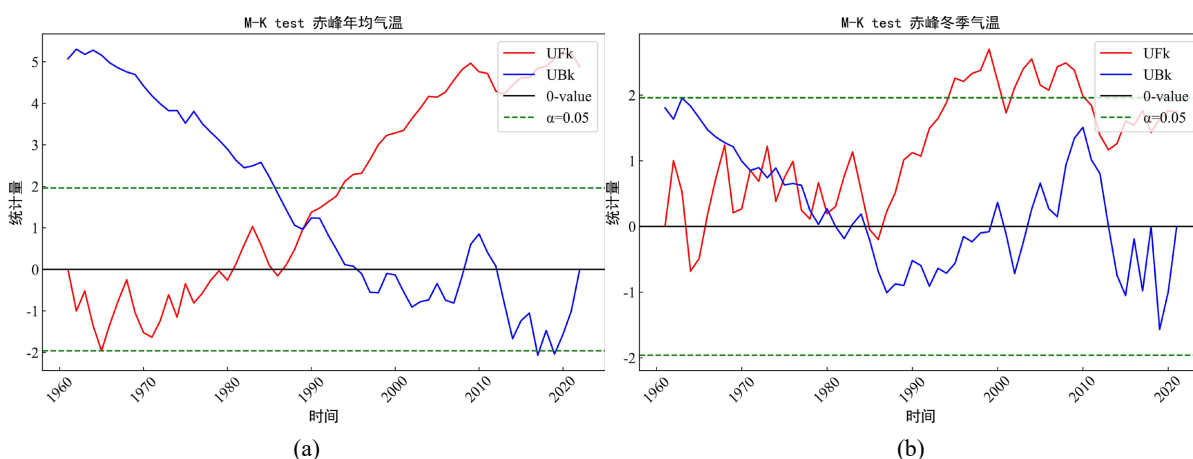


Figure 4. Mann-Kendall trend test of annual and winter temperatures in Chifeng city (1961~2021). (a) annual temperature; (b) winter temperature

图 4. 1961~2021 年赤峰市年均温及冬季气温 M-K 突变检验。(a) 年均气温; (b) 冬季气温

4.1.3. 周期特征

赤峰市年均气温和冬季气温小波分析结果显示(图 5), 年均温和冬季气温年际周期变化明显, 年代际周期变化特征不明显。2000 年以前, 年均温年际周期变化明显, 1990 年以后, 冬季气温年际周期变化较为明显。年均温存在 2~3a、5~8a 的年际变化周期, 且显著性水平达到了 95%; 存在 10~11a 的年代际变化周期, 但未达到 95% 的显著性水平。冬季平均气温存在 3~6a 年际变化周期, 且显著性水平达到了 95%, 存在 10~11a 年代际周期变化, 但未达到 95% 的显著性水平, 且受边际效应影响较大。

4.2. 空间变化

气温空间分布特征显示(图 6), 赤峰市气温分布不均, 年均温和冬季气温呈现出类似的变化特征, 即由东南向西北, 呈递减趋势。全市年均温为 4.9℃~8.0℃, 东南部偏高, 最大值位于赤峰, 以赤峰为中心, 向四周递减, 西北部年均温最低(年均温低于 5.5℃)。冬季平均气温为 -11.4℃~-8.5℃, 东南部的赤峰市和敖汉旗多年冬季平均温度偏高(多数区域冬季气温高于 -9.5℃), 北部的林西县和巴林左旗气温偏低(冬季气温低于 -10.5℃)。

导致该区域气温空间变化的主要因素是纬度和海拔因素。受纬度因素影响, 气温总体呈自北向南递减趋势(表 1)。以巴林左旗、翁牛特旗、赤峰站(3 个站点经度相差较小)为例, 分别代表高、中、低不同纬度, 年均温分别为 5.8℃、6.5℃和 7.5℃, 冬季气温分别为 -11.1℃、-9.7℃和 -8.5℃, 年均温和冬季气温

均表现为由低纬度向高纬度逐渐递减的特征，且冬季差距更加明显。

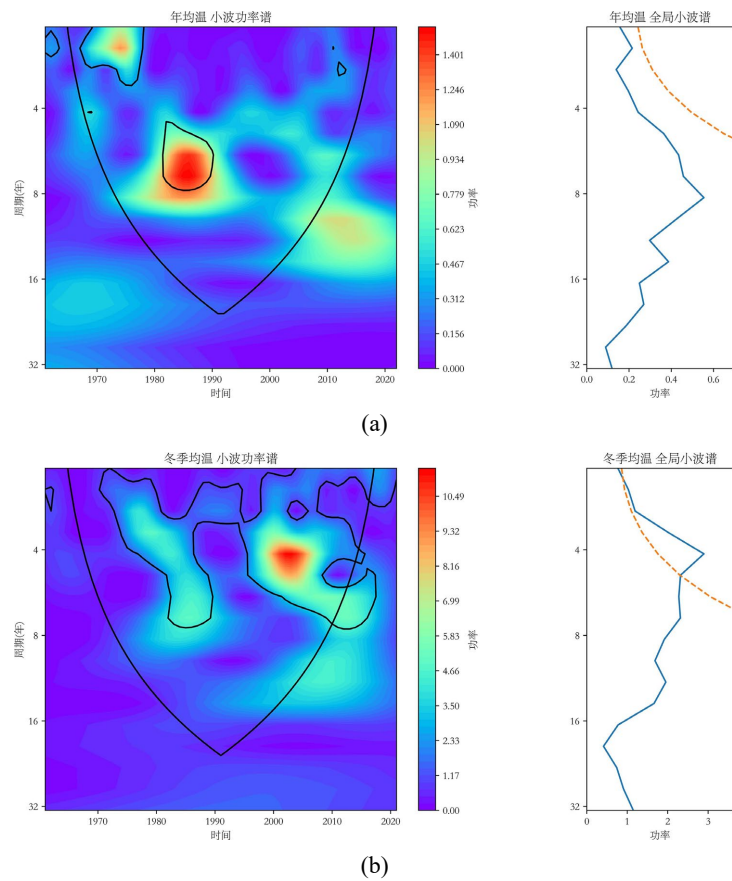


Figure 5. Wavelet analysis of annual and winter temperature periodicity in Chifeng City (1961~2021). (a) annual temperature; (b) winter temperature
图 5. 1961~2021 年赤峰市年均温及冬季气温周期特征小波分析图。(a) 年均气温；(b) 冬季气温

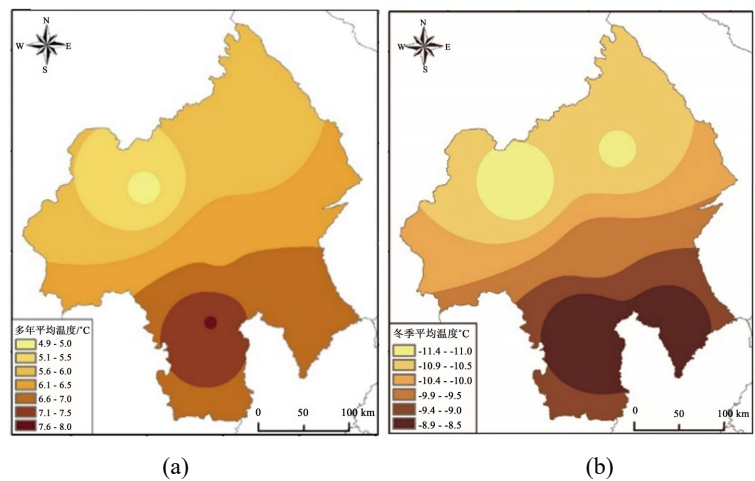


Figure 6. Spatial pattern of annual temperature in Chifeng City during 1961~2021. (a) annual temperature; (b) winter temperature
图 6. 1961~2021 年赤峰市多年平均气温分布图。(a) 年均气温；(b) 冬季气温

赤峰市东部大部分地区海拔低于西部，西部多山地，西高东低。受海拔因素影响，自东向西，气温呈递减趋势(表 1)。高海拔地区代表站为林西站，中海拔地区代表站为巴林左旗、翁牛特旗、赤峰(3 站点气温平均值)，低海拔地区代表站为敖汉旗站，高、中、低海拔年均温分别为 4.9℃、6.6℃和 6.8℃，冬季气温分别为-11.4℃、-9.8℃和-8.7℃，年均温和冬季气温均表现为由低海拔向高海拔逐渐递减的特征，且冬季差距更加明显。因此，这种空间变化特征是纬度和海拔因素叠加效应的具体体现，即由东南向西北，年均温和冬季气温均呈明显递减趋势。

Table 1. Statistical characteristics of annual and winter temperatures across latitudes and altitudes
表 1. 不同纬度和不同海拔年均温和冬季均温特征

不同纬度气温特征			
代表性气象站点	纬度	年均温(℃)	冬季均温(℃)
巴林左旗	高纬(N43.983°)	5.8	-11.1
翁牛特旗	中纬(N42.933°)	6.5	-9.7
赤峰	低纬(N42.267°)	7.5	-8.5
不同海拔气温特征			
代表性气象站点	海拔(m)	年均温(℃)	冬季均温(℃)
林西	高海拔(799.5)	4.9	-11.4
巴林左旗、翁牛特旗、赤峰	中海拔(562.8)	6.6	-9.8
敖汉旗	低海拔(400.5)	6.8	-8.7

5. 结论

1961~2021 年赤峰市冬季气温及年均温时空变化特征分析，主要结论如下：

1) 赤峰市 61a 间年平均气温呈现极显著上升趋势，年均温倾向率为 0.26℃/10a ($p < 0.001$)，冬季气温上升趋势不显著，倾向率为 0.165℃/10a，表明冬季增温贡献不显著。不同海拔各气象站点年均温均呈极显著上升趋势，低海拔冬季气温呈显著上升趋势，中、高海拔冬季增温趋势不显著。气温突变特征显示，年均温增温突变年份为 1993 年，1994 年开始增温特征明显。冬季平均气温变化突变特征显示，增温显著突变年份为 1979 年，冬季增温突变更加敏感。气温周期特征显示，年均温和冬季气温年际周期特征显著，年代际周期特征不明显。年均温年际周期表现为 2~3a、5~7a，冬季气温年际周期表现为 3~6a。

2) 年均温及冬季气温空间分布特征均表现为自东南向西北递减，且冬季气温空间差异更加明显。年均温为 4.9℃~8.0℃，以赤峰为中心，向四周递减，西北部年均温最低(年均温低于 5.5℃)。冬季平均气温为-11.4℃~-8.5℃，东南部的赤峰市和敖汉旗偏高，西北部气温偏低。这种空间变化特征是纬度和海拔因素叠加效应的具体体现。

参考文献

[1] Fleming, J.R. (1999) Joseph Fourier, the ‘Greenhouse Effect’, and the Quest for a Universal Theory of Terrestrial Temperatures. *Endeavour*, **23**, 72-75. [https://doi.org/10.1016/s0160-9327\(99\)01210-7](https://doi.org/10.1016/s0160-9327(99)01210-7)

[2] IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.

[3] 钱维宏, 张玮玮. 我国近 46 年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J]. 大气科学, 2007, 31(6): 1266-1278.

[4] 王澄海, 李健, 许晓光. 中国 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136.

-
- [5] 梁苏洁, 丁一汇, 赵南, 等. 近 50 年中国大陆冬季气温和区域环流的年代际变化研究[J]. 大气科学, 2014, 38(5): 974-992.
- [6] 马锋敏, 陈丽娟, 李想, 等. 中国冬季气温不同年代际的季节内变化特征及成因分析[J]. 大气科学, 2022, 46(3): 573-589.
- [7] 何文鑫, 徐玉霞, 马凯, 等. 内蒙古半湿润与半干旱过渡区气候干湿变化差异研究——以赤峰市与呼伦贝尔市对比为例[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(5): 110-119.
- [8] 雷万杉. 内蒙古赤峰南部地区金矿综合信息矿产预测[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [10] 王松桂. 线性模型的理论及其应用[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1987.
- [11] Mann, H.B. (1945) Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica*, **13**, Article 245. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- [12] Kendall, M.G. (1948) Rank Correlation Method. Griffin.
- [13] 刘凯, 聂格格, 张森. 中国 1951-2018 年气温和降水的时空演变特征研究[J]. 地球科学进展, 2020, 35(11): 1113-1126.
- [14] 尤卫红. 小波分析在大气科学中的应用简介[J]. 四川气象, 1998, 18(4): 29-32.
- [15] 陈皇池, 袁淑杰, 李尚锋, 等. 1961-2020 年中国东北地区冬季气温变化特征分析[J]. 气象灾害防御, 2025, 32(1): 26-31.
- [16] 樊雪丰. 1972-2021 年赤峰市最大冻土变化特征[J]. 环境与发展, 2023, 35(1): 58-61.