

# 1981~2023年北京“数九寒天”气温变化特征分析

王春玲<sup>1</sup>, 薛志磊<sup>2\*</sup>, 姜江<sup>1</sup>, 韩超<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北京市气象服务中心, 北京

<sup>2</sup>海淀区气象局, 北京

收稿日期: 2025年1月31日; 录用日期: 2025年2月25日; 发布日期: 2025年3月5日

## 摘要

本研究利用1981~2023年北京地区15个气象观测站的数据, 分析了北京“数九寒天”期间的气温变化特征。研究发现“数九”期间气温呈“V”型分布, 验证了“三九严寒”的说法, 温差近8℃。整个研究期间北京“数九寒天”有显著增温趋势, 年均增温0.0603℃/年, 尤其在“三九”、“八九”和“九九”时段。研究时段极端最低气温也呈上升趋势, 但增温速率较小。气温空间分布呈“南高北低、西低东高”格局, 受地形和城市化影响, 城市热岛效应显著。全球变暖和城市化导致北京“数九寒天”特征显著改变, 对城市管理和居民生活产生影响。建议加强极端气温事件预测、研究城市化对气温的影响、扩大研究区域、评估气候变化对各领域的影响, 以适应气候变化。

## 关键词

北京, “数九”时节, 气温变化, 气象服务

# Analysis on the Temperature Change Characteristics of the “Nine Coldest Days” in Beijing from 1981 to 2023

Chunling Wang<sup>1</sup>, Zhilei Xue<sup>2\*</sup>, Jiang Jiang<sup>1</sup>, Chao Han<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Beijing Meteorological Service Center, Beijing

<sup>2</sup>Haidian District Meteorological Bureau, Beijing

Received: Jan. 31<sup>st</sup>, 2025; accepted: Feb. 25<sup>th</sup>, 2025; published: Mar. 5<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

作者简介: 薛志磊, 高级工程师, 主要从事气象预报工作。

**文章引用:** 王春玲, 薛志磊, 姜江, 韩超. 1981~2023年北京“数九寒天”气温变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(2): 157-166. DOI: 10.12677/ccrl.2025.142017

## Abstract

This study analyzed the temperature change characteristics during the “nine coldest days” by using data from 15 meteorological observation stations in the Beijing area from 1981 to 2023. The study found that the temperature during the “nine coldest days” showed a “V”-shaped distribution, verifying the saying of “the severe cold in the third nine-day period”, with a temperature difference of nearly 8°C. During the entire study period, there was a significant warming trend during the “nine coldest days” in Beijing, with an average annual warming rate of 0.0603°C per year, especially in the “third nine-day period”, the “eighth nine-day period” and the “ninth nine-day period”. The extreme minimum temperature also showed an upward trend during the study period, but the warming rate was relatively small. The spatial distribution of temperature presented a pattern of “higher in the south and lower in the north, lower in the west and higher in the east”. Affected by topography and urbanization, the urban heat island effect was significant. Global warming and urbanization have led to significant changes in the characteristics of the “nine coldest days” in Beijing, which have an impact on urban management and residents’ lives. It is recommended to strengthen the prediction of extreme temperature events, study the impact of urbanization on temperature, expand the research area, and evaluate the impact of climate change on various fields in order to adapt to climate change.

## Keywords

Beijing, The “Nine Coldest Days”, Temperature Change, Meteorological Services

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

气候变化研究对于了解区域气候特征、指导生产生活具有重要意义。目前的研究多基于年、季或月等固定时间单位对气温数据进行分析[1]-[5], 这虽然有助于宏观把握气温变化特征, 但对传统节气等特殊时段的气温变化研究相对较少。“数九寒天”作为中国传统气候认知体系中的重要概念, 不仅反映了冬季气温变化规律, 更蕴含着丰富的农业生产智慧和民俗文化内涵[6]。

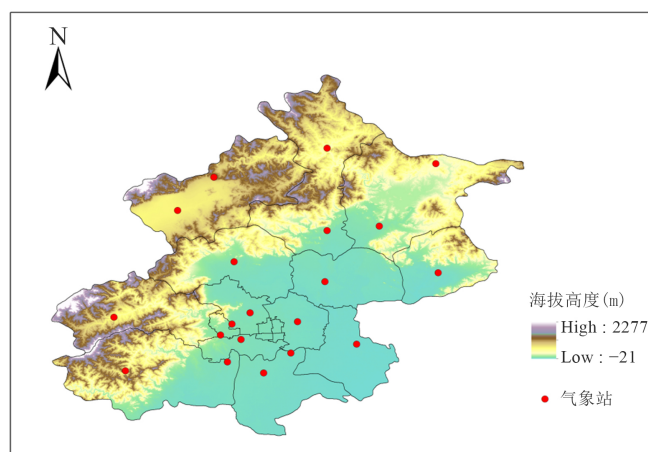
“数九”(又称“冬九九”)是从冬至日开始, 每九天为一个时段, 依次称为“一九”、“二九”、“三九”直至“九九”, 共计 81 天, 一般指阳历 12 月 21 日(或 22 日)至次年 3 月 11 日(或 12 日)这段时期[7][8]。在我国传统文化中, “夏至入伏, 冬至数九”是重要的气候认知方式。北方地区流传的“九九歌”——“一九二九不出手, 三九四九冰上走, 五九六九沿河看柳, 七九河开八九雁来, 九九又一九, 耕牛遍地走”, 生动描述了数九期间气温变化与自然物候的关系。特别是“冷在三九”的说法, 反映了人们对数九寒天最冷时段的经验认知。

近百年来, 全球气候变暖日益明显, 这种变化必然影响着包括数九寒天在内的传统气候规律[9]-[12]。北京作为中国政治文化中心, 其城市化进程快速, 人类活动频繁, 区域气候变化特征更为显著。因此, 研究 1981~2023 年北京地区数九寒天期间的气温变化特征, 不仅有助于检验传统气候认知的科学性, 也对了解城市化背景下的区域气候变化具有重要意义。基于此, 本研究拟通过分析北京地区数九期间的气温变化趋势及其特征, 为理解区域气候变化提供科学依据。

## 2. 数据和方法

### 2.1. 研究区概况

北京市地处中国华北地区，地理坐标为  $39^{\circ}28' \sim 41^{\circ}05'N$ ， $115^{\circ}25' \sim 117^{\circ}30'E$ ，南北横跨纬度  $1^{\circ}37'$ ，东西经度相间  $2^{\circ}05'$ 。作为中国的首都，北京具有独特的地理位置和地形特征，这些自然条件对其气候特征产生了重要影响。在地形地貌上，北京市位于华北平原的北端，呈现出“三面环山、一面向海”的典型地形格局(图 1)。北部以燕山山地为屏障，与内蒙古高原自然交接；西部以巍峨的太行山脉为界，与山西高原相邻；东北部地势渐缓，与松辽大平原形成自然过渡；东南距离渤海约 150 公里，地势开阔，是城市发展的主要方向；南部则与广阔的黄淮海平原连为一体[13]-[15]。这种独特的地理环境，形成了北京市“北高南低、西高东低”的地势特点。



**Figure 1.** Distribution map of meteorological stations in the study area  
**图 1.** 研究区气象站点分布图

由于地处中纬度地带，加之特殊的地形条件和季风环流的影响，北京地区形成了典型的暖温带半湿润大陆性季风气候。这种气候特征表现为四季分明，春秋短促，冬夏漫长；降水季节分配不均，夏季降水集中；气温年较差和日较差较大等特点。这些气候特征不仅影响着北京的自然生态环境，也深刻影响着城市的人居环境和经济社会发展。近年来，随着北京城市化进程的加快，人类活动的增强，特别是城市建成区的扩张和人口的快速增长，使得北京的局地气候特征发生了显著变化[16]-[18]。这种特殊的地理位置、复杂的地形地貌条件，叠加快速的城市化进程，使北京成为研究区域气候变化和城市气候效应的理想区域。

### 2.2. 数据来源

本研究使用的气象数据来源于北京市气象数据中心，选取了北京市 15 个国家气象观测站(分布见图 1)在 1981~2023 年期间的观测资料。这些气象观测站点分布均匀，覆盖了北京市平原、山区等不同地形区域，具有较好的空间代表性。所采用的气象要素包括逐日平均气温、日最高气温、日最低气温、平均气压、极端最低气温以及最大风速等。

为确保数据质量，所有观测数据均经过严格的质量控制和均一性检验。考虑到“数九寒天”的特殊性，即每年冬至日期的微小变动(12 月 21 日或 22 日)以及平闰年对 2 月份天数的影响，本研究对原始数据进行了细致地分类整理。具体做法是严格按照每年“数九”时节实际所包含的时间长度(81 天)进行气温数据提取，以确保数据的时间连续性和准确性。

这套数据时间跨度近 50 年，满足气候变化研究对长时间序列的要求，观测数据连续完整，缺测率低，

观测手段标准统一，保证了数据的可比性。数据经过严格质控，确保了研究结果的可靠性。这些特点使得该数据集能够有效支撑对北京地区“数九寒天”气候特征的长期变化研究。

2.3. 研究方法

本研究首先对北京地区 15 个气象站点的观测数据进行系统整理，构建了 1981 年以来的“数九寒天”时间序列数据库。鉴于研究区域面积较小且观测站点分布均匀，区域平均值采用 15 个站点观测值的算术平均方法计算，并提取了各年“数九”时节及各“九”的气温平均值。在时间变化特征分析方面，主要采用线性倾向估计法分析“数九”及各“九”气温的长期变化趋势。同时，运用趋势分析和周期分析方法，揭示气温变化的总体趋势和周期性特征，重点关注气温的年际、年代际和年内变化特征。

为了揭示气温变化的空间分布规律，研究采用 ArcGIS 10.2 软件的协同克里金空间插值方法，对各气象站点“数九”时节的平均气温及其倾向率进行空间分析，绘制了相应的空间分布图。此外，通过统计分析“数九”时节的气候特征，识别极端低温事件，探讨了极端气候事件的发生规律及其变化特征。通过以上研究方法的综合运用，系统分析了北京地区“数九寒天”期间气温的时空变化特征，揭示了其长期变化趋势，为深入理解区域气候变化提供了科学依据。

3. 北京“数九寒天”气候特征分析

3.1. “数九”时段多年平均气温变化曲线

图 2 为北京市“数九”期间各个阶段的平均气温和温差变化特征，从图中平均气温变化来看，整个“数九”期间呈现先降后升的“V”型变化特征。“一九”时期平均气温约为-4℃，随后气温继续下降，在“三九”期间达到最低值，约为-5℃。这验证了民间“三九严寒”的说法具有科学依据。从“四九”开始，气温逐渐回升，到“九九”时气温升至接近 3℃，相比最冷的“三九”升高了约 8℃。这种变化趋势也印证了“九九歌”中描述的气温变化规律。

从温差变化来看，整体呈现稳定上升趋势，反映了气温日变化幅度随时间推移逐渐增大的特点。具体表现为：“一九”时期温差最小，约为-2℃，说明此时气温相对稳定；随后温差逐渐增大，到“五九”“六九”期间温差达到 2℃左右；最后在“八九”“九九”时期，温差达到最大，接近 3℃。这种温差变化特征与季节转换有关：在寒冷的“一九”至“四九”期间，天气系统相对稳定，气温日变化小；而到了“五九”之后，随着春季的临近，天气系统活动加剧，冷暖空气交替频繁，导致温差逐渐增大。

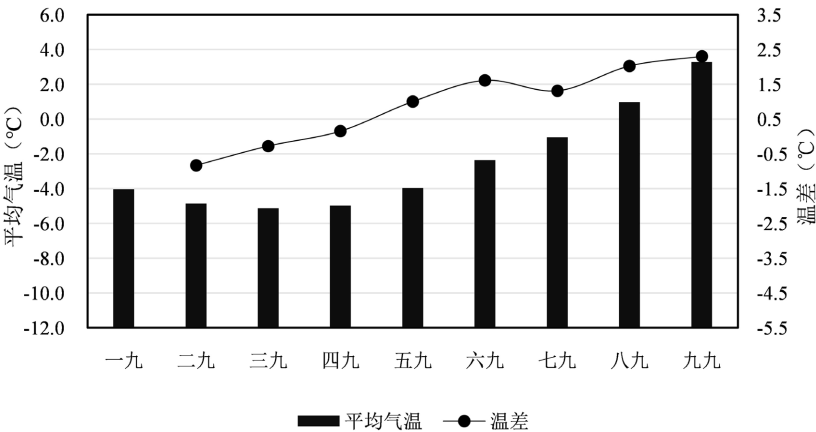


Figure 2. Graph of average temperature and temperature difference changes during the “nine coldest days” in Beijing from 1981 to 2023

图 2. 北京市 1981~2023 年“数九”期间平均气温及温差变化图

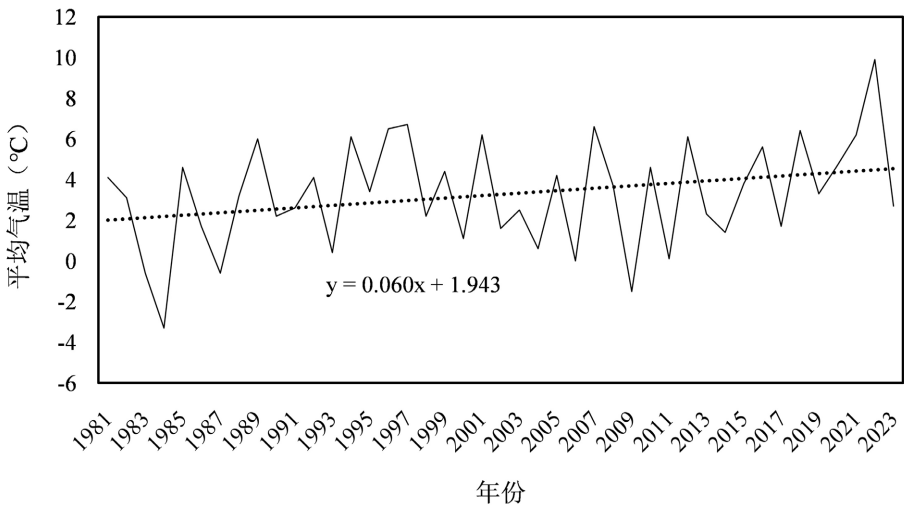
这种气温和温差的变化特征具有重要的实践意义，一方面验证了民间天气谚语的科学性，体现了先民对气候规律的准确认知，另一方面为农业生产和城市管理提供了参考，如在“三九”期间需加强防寒保暖措施，而在“后九”期间则需注意应对气温剧烈波动带来的影响。这种变化规律对理解北京地区冬季气候特征、预测气温变化趋势具有重要的科学价值。

**Table 1.** Linear tendency rate of multi-year average temperature for each “nine-day period” in Beijing  
**表 1.** 北京各“九”多年平均气温线性倾向率

	一九	二九	三九	四九	五九	六九	七九	八九	九九
线性倾向率	-0.0096	0.0297	0.0545	0.0279	0.039	0.0165	0.0387	0.0547	0.0498

表 1 展示了北京市“数九”期间各“九”的气温线性倾向率，通过分析这些数值可以揭示不同时段的增温趋势特征：首先，除“一九”时段为负值(-0.0096)外，其他八个时段的线性倾向率均为正值，说明近几十年来北京“数九寒天”期间总体呈现出明显的增温趋势。“一九”时段的微弱降温趋势可能与冬季风的影响有关，但降温幅度较小，对整体趋势影响不大。从具体数值来看，“三九”(0.0545)、“八九”(0.0547)和“九九”(0.0498)时段的增温趋势最为显著，线性倾向率在 0.05 左右。这表明传统意义上最寒冷的“三九”时段正在经历明显的温度上升，而接近春季的“八九”“九九”时段增温更为明显。相比之下，“六九”时段的增温趋势相对较弱，线性倾向率仅为 0.0165。这种增温趋势的差异性表明，北京“数九寒天”期间的气温变化呈现出不均匀的特点：寒冷时段(“三九”)和临近春季时段(“八九”“九九”)的增温更为明显，这可能与全球气候变暖和城市热岛效应的叠加影响有关。这一发现对于理解区域气候变化特征、制定相应的适应策略具有重要意义。

3.2. “数九”时段年际气温时间变化趋势



**Figure 3.** Inter-annual variation chart of average temperature during the “nine coldest days” in Beijing from 1981 to 2023  
**图 3.** 北京市 1981~2023 年“数九”期间平均气温年际变化图

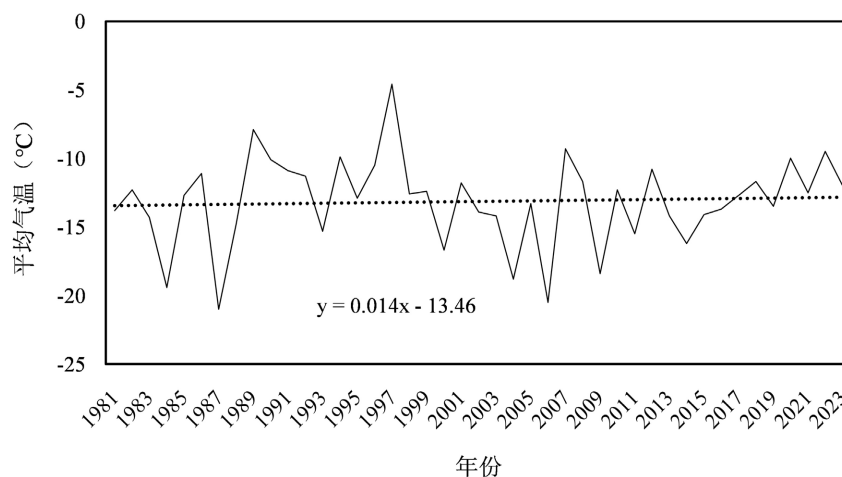
图 3 展示了 1981~2023 年北京市“数九”期间平均气温的年际变化特征，通过分析这条时间序列可以发现：从整体趋势来看，北京“数九”期间的平均气温呈现显著的上升趋势。年均增温速率达到 0.0603℃/年。这种持续的增温趋势反映了北京冬季气候变暖的客观事实，与全球气候变化和城市热岛效应的共同



作用有关。气温变化表现出明显的年际波动特征。“数九”期间的平均气温波动范围较大，最高值接近 $10^{\circ}\text{C}$ ，出现在2022年，最低值达到 $-4^{\circ}\text{C}$ 左右，出现在1984年，气温年际波动幅度超过 $14^{\circ}\text{C}$ 。这种显著的波动性说明北京冬季气温受到多种气候因子的影响，年际变率较大。从时间演变特征来看，可以大致划分为几个阶段：1981~1990年：气温波动剧烈，出现了多次低温事件；1991~2000年：气温略有回升，波动幅度相对减小；2001~2010年：气温继续升高，但仍有明显波动；2011年至今：增温趋势加速，特别是近几年气温明显高于历史平均水平，2023年甚至创下了观测期内的最高值。

值得注意的是，虽然整体呈现增温趋势，但仍然存在一些显著的低温年份，如2009年温度偏低。这表明在全球变暖的大背景下，极端低温天气仍有可能发生，这对城市管理和防灾减灾工作提出了更高要求。这种持续的增温趋势对北京地区传统的“数九寒天”概念提出了新的挑战。传统意义上的严寒期特征正在发生改变，这不仅影响着人们的生产生活方式，也对农业生产、能源消耗等方面产生深远影响。同时，这种变化趋势也为研究城市气候变化提供了重要的科学依据。

图4为1981~2023年北京市“数九”期间极端最低气温的年际变化。可以发现，从整体趋势看，“数九”期间极端最低气温也呈现出上升趋势，但增温速率( $0.0148^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )明显小于平均气温的增温速率( $0.0603^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )。这表明虽然冬季整体在变暖，但极端低温事件的减弱程度相对较小，极端天气的风险仍然存在。从波动特征来看，极端最低气温的年际波动幅度较大，最低值出现在1987年，接近 $-22^{\circ}\text{C}$ ，最高值出现在1997年，约为 $-5^{\circ}\text{C}$ 。与平均气温相比，极端最低温度的波动更为剧烈，这反映了冬季极端天气过程的不稳定性。



**Figure 4.** Inter-annual variation chart of extreme minimum temperature during the “nine coldest days” in Beijing from 1981 to 2023

**图4.** 北京市1981~2023年“数九”期间极端最低气温年际变化图

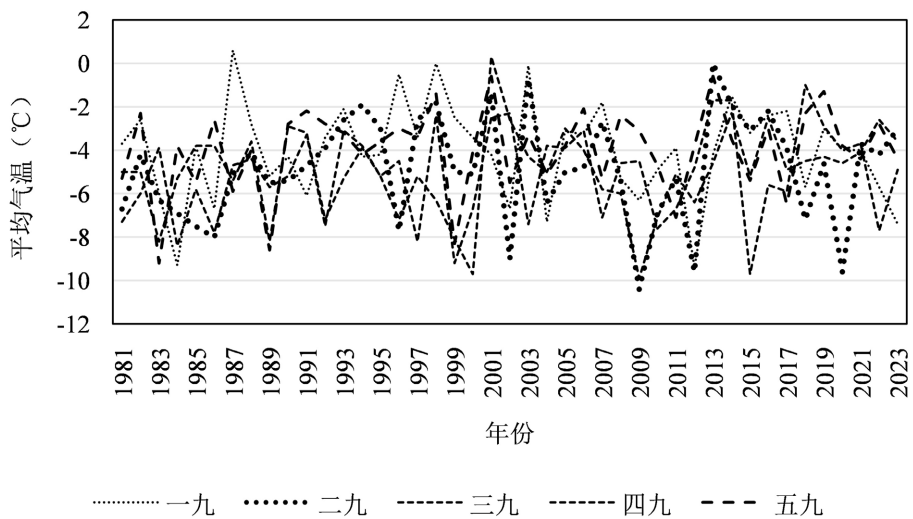
值得注意的是，2000年以后，极端最低气温的波动幅度有所减小，且极端低温出现的频率有所降低，这可能与全球变暖和城市热岛效应的影响有关。但近年来仍然出现过较强的寒潮过程，说明在气候变暖背景下，极端低温天气的防范工作仍不能放松。这一特征对城市防灾减灾和基础设施规划具有重要的参考价值。

图5、图6为北京市1981~2023年“数九”各时段的平均气温变化，分别呈现了“一九”到“五九”和“六九”到“九九”的演变特征，通过对比分析可以发现，在“一九”至“五九”阶段，气温普遍较低，大多在 $-2^{\circ}\text{C}$ 至 $-8^{\circ}\text{C}$ 之间波动，体现了这一时期是传统意义上的严寒期。各“九”之间的气温差异相对较小，曲线较为集中，表明这一时期温度相对稳定。“三九”期间的气温总体上最低，印证了“三九严寒”

的传统认知。气温波动幅度较大，年际变化明显，反映了冬季气温的不稳定性。

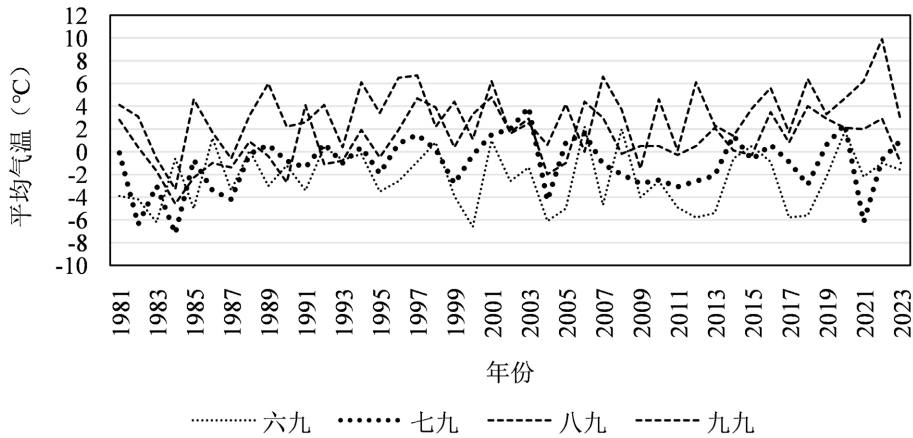
而“六九”至“九九”阶段，气温明显高于前期，大多在-5℃至 10℃之间波动，体现了逐渐向春季过渡的特征，各“九”之间的温度差异逐渐增大，特别是“九九”的气温明显高于其他时段。气温曲线呈现明显的分层现象，“九九”最高，“六九”最低，反映了春季过渡期的温度梯度。近年来气温波动更为剧烈，特别是“八九”“九九”时期，表明季节转换期的气温不稳定性增强。

总体来看，两个时期都呈现出增温趋势，但后期增温更为明显，这与全球变暖和城市热岛效应的影响有关，气温的年际波动在整个观测期间都较为显著，但后期的波动幅度更大。传统的“数九”气温分布特征正在发生改变，尤其是后期的增温趋势更加明显。近年来(2015 年以后)极端温度出现的频率有所增加，表明气候变化对传统季节特征产生了显著影响。这些变化趋势不仅反映了北京地区冬季气候的显著变化，也为理解区域气候变化提供了重要依据。同时，这种变化对农业生产、城市管理和居民生活都产生了深远影响，需要在适应气候变化方面采取相应的措施。



**Figure 5.** Changes in average temperature from the “first nine-day period” to the “fifth nine-day period” during 1981~2023 in Beijing

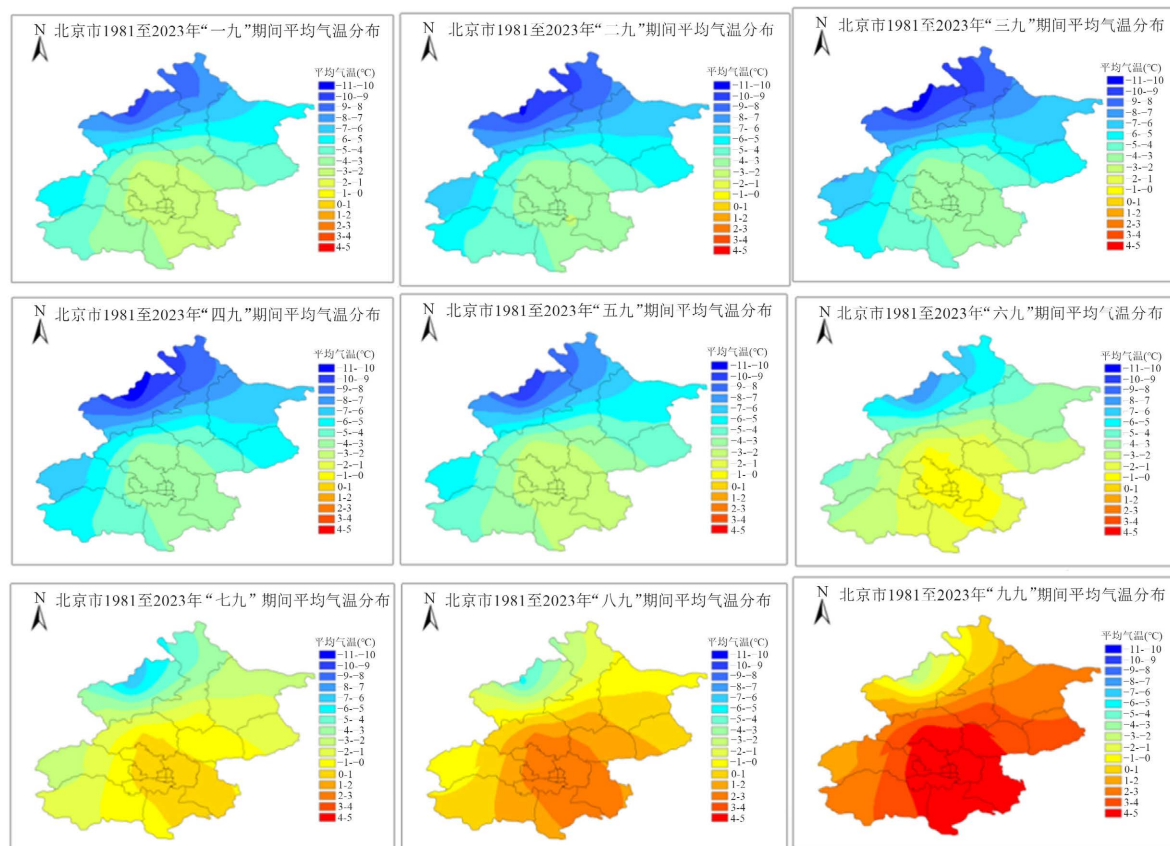
**图 5.** 北京市 1981~2023 年“一九”到“五九”平均气温变化



**Figure 6.** Changes in average temperature from the “fifth nine-day period” to the “ninth nine-day period” in Beijing from 1981 to 2023

**图 6.** 北京市 1981~2023 年“五九”到“九九”平均气温变化

### 3.3. “数九”时段气温空间分布特征



**Figure 7.** Spatial distribution of average temperatures in each period of the “nine coldest days” in Beijing from 1981 to 2023  
**图 7.** 北京市 1981~2023 年“数九”各时段的平均气温空间分布

北京市“数九”各时段的平均气温空间分布呈现出鲜明的特征(图 7)。总体来看,气温分布格局呈现“南高北低、西低东高”的空间特征,这主要受地形地貌的影响,北部燕山山区气温最低,南部平原地区气温相对较高。同时,从郊区到城区存在明显的温度梯度,反映出显著的城市热岛效应。

从时间演变来看“一九”至“四九”期间,温度分布较为相似,整体处于低温状态,尤其是北部山区呈现最低温度,城乡温差相对较小。其中“三九”期间的低温范围最大,温度空间差异最为显著。到了“五九”至“七九”的中期阶段,温度开始逐渐回升,城区热岛效应开始加强,山区和平原的温度差异虽然依然明显,但较前期有所减小。当进入“八九”和“九九”后期时,温度显著升高,城区热岛效应达到最强,形成明显的高温中心,整体温度空间分布也呈现出更加复杂的局地气候特征。

从地形和城市化的影响来看,燕山山区始终是温度最低区域,地形对气温分布的影响贯穿整个“数九”时期,而平原地区温度变化相对平缓。随着城市化进程的推进,城市热岛效应日益显著,特别是在“八九”“九九”时期表现最为明显。东南部平原地区温度较高且变化平缓,而西北部山区温度低且变化剧烈,过渡带区域则表现出复杂的温度变化特征。这种空间分布特征的研究对北京市城市规划、农业生产和居民生活具有重要的指导意义,尤其在城市化快速发展的背景下,对制定气候变化适应和缓解措施提供了科学依据。

## 4. 结论与展望

本研究基于 1981~2023 年北京地区 15 个气象观测站的气象数据,系统分析了北京地区“数九寒天”



期间的气温变化特征及其变暖趋势,得出以下主要结论:

1) 北京“数九”时节的气温变化呈现显著的时序特征。整个“数九”期间的平均气温变化呈现先降后升的“V”型分布,验证了传统“三九严寒”的科学性。“三九”期间平均气温最低(约 $-5^{\circ}\text{C}$ ),随后气温逐渐回升,到“九九”时升至接近 $3^{\circ}\text{C}$ ,温差近 $8^{\circ}\text{C}$ 。这种变化特征与民间“九九歌”描述的规律高度吻合。

2) 研究期间北京“数九寒天”表现出明显的增温趋势。年均增温速率达到 $0.0603^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ,其中除“一九”时段外,其他各“九”均呈现不同程度的增温趋势。“三九”( $0.0545^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )、“八九”( $0.0547^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )和“九九”( $0.0498^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )时段的增温趋势最为显著。这表明传统意义上的严寒期正在经历显著的气候变暖。

3) 极端最低气温同样呈现上升趋势,但增温速率( $0.0148^{\circ}\text{C}/\text{年}$ )明显小于平均气温。这说明虽然整体气候在变暖,但极端低温事件的风险仍然存在。2000年后极端低温事件的频率有所降低,但仍需保持警惕。

4) 空间分布上,北京“数九”期间气温总体呈现“南高北低、西低东高”的空间格局,这主要受地形和城市化的双重影响。城市热岛效应在研究期间日益显著,特别是在“八九”“九九”时期表现最为明显。

5) 研究结果表明,在全球变暖和城市化的双重作用下,北京传统的“数九寒天”特征正在发生显著改变。这种变化不仅体现在气温的整体升高,也反映在极端气温事件的变化特征上,对城市管理和居民生活产生深远影响。

展望未来,针对北京市冬季气温,建议一方面加强对极端气温事件的预测和预警研究,特别是在气候变暖背景下极端低温事件的发生机制和预报方法。另一方面应深入研究城市化对“数九寒天”气温变化的影响机制,为城市规划和城市发展提供科学依据。同时扩大研究区域,开展区域对比研究,深入理解不同地理条件下“数九寒天”的变化特征,并结合气候变化影响评估,研究“数九寒天”变化对农业生产、能源消耗等领域的影响,为适应气候变化提供决策支持。

## 参考文献

- [1] 唐国利, 林学椿. 1921-1990 年我国气温序列及变化趋势[J]. 气象, 1992, 18(7): 3-6.
- [2] 纪忠萍. 广州近百年来气候变化的多时间尺度分析[J]. 热带气象学报, 1999(1): 49-56.
- [3] 严晓瑜, 赵春雨, 王颖, 等. 近 50 年东北地区极端温度变化趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 81-87.
- [4] 钱锦霞, 张霞, 张建新, 等. 近 40 年山西省初终霜日的变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(7): 801-808.
- [5] 刘小艳, 宁海文, 杜继稳, 等. 近 56 年来西安市气温突变与致灾效应[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(11): 94-99.
- [6] 张姝丽, 张德山, 冯涛, 等. 北京“数九”时节的气候特征及其变化分析[J]. 气候与环境研究, 2009, 14(5): 561-566.
- [7] 付雯, 白钰, 高海虹, 等. 1961-2022 年哈尔滨“数九”时节气候变化特征[J]. 黑龙江气象, 2022, 39(3): 14-17.
- [8] 姚宇, 郑伟, 李敏睿, 等. 1960-2015 年山西省“数九”时节气温时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 1069-1077.
- [9] Kerr, R.A. (2006) Yes, It's Been Getting Warmer in Here since the  $\text{CO}_2$  Began to Rise. *Science*, **312**, 1854-1854. <https://doi.org/10.1126/science.312.5782.1854>
- [10] Karl, T.R., Kukla, G., Razuvayev, V.N., Changery, M.J., Quayle, R.G., Heim, R.R., et al. (1991) Global Warming: Evidence for Asymmetric Diurnal Temperature Change. *Geophysical Research Letters*, **18**, 2253-2256. <https://doi.org/10.1029/91gl02900>
- [11] Karl, T.R., Knight, R.W., Gallo, K.P., Peterson, T.C., Jones, P.D., Kukla, G., et al. (1993) A New Perspective on Recent Global Warming: Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **74**, 1007-1023. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<1007:anporg>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<1007:anporg>2.0.co;2)
- [12] Jones, P.D. and Briffa, K.R. (1992) Global Surface Air Temperature Variations during the Twentieth Century: Part 1, Spatial, Temporal and Seasonal Details. *The Holocene*, **2**, 165-179. <https://doi.org/10.1177/095968369200200208>
- [13] 杨仕琪, 王冀, 窦银银, 等. 1916-2020 年北京城市变迁及其与区域气候演化的关系[J]. 地理学报, 2023, 78(3):

620-639.

- [14] Zhang, B., Xie, G., Li, N. and Wang, S. (2015) Effect of Urban Green Space Changes on the Role of Rainwater Runoff Reduction in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, **140**, 8-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.014>
- [15] Sun, Y., Zhang, X., Ren, G., Zwiers, F.W. and Hu, T. (2016) Contribution of Urbanization to Warming in China. *Nature Climate Change*, **6**, 706-709. <https://doi.org/10.1038/nclimate2956>
- [16] 曹广真, 侯鹏, 毛显强. 北京市城市化对地表温度时空特征的影响[J]. 气象, 2010, 36(3): 19-26.
- [17] 初子莹, 任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响[J]. 气象学报, 2005(4): 152-158.
- [18] 李书严, 陈洪滨, 李伟. 城市化对北京地区气候的影响[J]. 高原气象, 2008(5): 1102-1110.