

文章编号: 2096-1618(2019)01-0072-05

# 拉萨市近54年气温变化特征

汤彬<sup>1</sup>, 肖国杰<sup>1</sup>, 邬亮<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 四川省气象服务中心, 四川 成都 610072)

**摘要:**为给拉萨地区应对气候变化、防灾减灾提供更多参考,利用拉萨市1960–2013年的气温资料,采用线性趋势分析、Morlet小波分析等方法,研究拉萨市近54 a气温的年、季变化特征和周期变化特征,得到如下结论:在近54 a中,拉萨市年平均气温和各季平均气温都呈现出上升趋势,尤其是在2000年以后增温幅度尤为明显。年平均气温与各季平均气温变化趋势大体一致,但增温幅度存在一定差异,其中冬季增温幅度最大。年平均气温及春、夏、秋三季平均气温虽有着不同尺度的振荡周期,但都经历了暖–冷–暖3个阶段,冬季平均气温则呈现出阶段性周期变化。年平均最高气温在2000年以后增温显著,自2004年以来,拉萨市连续出现偏暖年份。年平均最低气温以20世纪90年代初期为界,可以分为冷、暖两个时期,前期为冷期,后期为暖期。年平均最低气温的增温幅度明显高于年平均最高气温。

**关键词:**应用气象学;气候变化;拉萨市;气温变化;气候周期;平均最高气温;平均最低气温

**中图分类号:**P467

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2019.01.014

## 0 引言

气候变化对人类活动有着重要的影响,也是当今气象学家研究的热题之一。IPCC第五次评估报告指出,气候系统的暖化是毋庸置疑的,1951–2012年全球平均地表温度的升温速率达到 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,从工业革命开始以来,1980–2012年为最暖的 $30\text{ a}^{[1]}$ 。

青藏高原是世界上最高的高原,其气候变化不仅直接影响邻近区域的经济文化发展,还会对中国甚至全球的气候变化产生重要影响<sup>[2–4]</sup>。而拉萨市作为青藏高原上的典型城市,能在一定程度上反映青藏高原近几十年的气候变化状况,为区域及全球的气候变化研究提供参考。盛文萍等<sup>[5–6]</sup>揭示了气候变化将通过引起海平面上升对旅游业造成严重影响。段安民等<sup>[7]</sup>研究并推测未来拉萨气温的变化有逐渐回落的趋势。杜军等<sup>[8]</sup>研究表明,1981–2014年西藏四季各时次气温表现一致的升高趋势,升温率为 $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}\sim 0.80\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,以冬季升温最为显著。文中采用更新的逐日气温资料对拉萨市的气温变化特征作进一步研究,以揭示其气温变化的特征,可以为当地的资源利用及农业生产提供更好的参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据与资料来源

采用拉萨站1960–2013年逐日气温资料,计算出春(3–5月)、夏(6–8月)、秋(9–11月)、冬(12–次年2月)、年平均气温和平均最高气温、平均最低气温。运用气候学统计分析方法对拉萨气温时间序列进行分析,以揭示拉萨近54 a气温变化特征与规律。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 线性趋势分析

对于气温的变化趋势,采用一元线性回归模型对其进行描述,即

$$y_i = b_0 + b_1 t_i \quad (1)$$

式中 $y_i$ 为气温的趋势方程估计量, $t_i$ 为对应的时间序列(1960–2013年)。 $b_1$ 为线性趋势项, $10b_1$ 则为气温每10 a的气候倾向率<sup>[9]</sup>,超过0.05显著水平则认为趋势显著。

#### 1.2.2 滑动平均法

滑动平均值是从一个含有 $n$ 项的时间序列来计算多个连续 $m$ 项序列的平均值<sup>[10]</sup>,如 $x$ 序列的样本容量为 $n$ ,其滑动平均序列则可表示为

$$\hat{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j=1, 2, \dots, n-k+1) \quad (2)$$

主要采用五点滑动平均。

#### 1.2.3 小波分析

小波分析因具有较好的局部、多尺度和分辨率等性质,相对于常规统计方法具有一定的优越性。目前,

收稿日期:2018-04-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41305076);四川省教育厅科研基金资助项目(2017Z048)

小波分析被广泛应用于气温、降水等方面,并有一些收获<sup>[11-14]</sup>。文中主要采用 Morlet 小波来分析气温在不同时段上的主要变化振荡周期。

## 2 平均气温的变化特征分析

### 2.1 平均气温的年代变化特征

拉萨市年平均气温存在着明显的年代变化,尤其是 2000 年后升温幅度显著,如表 1 所示,各年代对比分析可以看出:2000 年后年平均气温为 9.2 ℃,是各年代中最高值,20 世纪 90 年代为 8.4 ℃,居第二位。从

表 1 拉萨市各年代年、季平均气温

时间	年	春季	夏季	秋季	冬季
20 世纪 60 年代	7.1	7.9	14.7	7.2	-1.4
20 世纪 70 年代	7.7	8.4	15.0	8.0	-0.7
20 世纪 80 年代	7.9	8.5	15.7	7.9	-0.5
20 世纪 90 年代	8.4	9.1	15.6	8.6	-0.1
21 世纪 00 后	9.2	9.6	16.5	9.4	1.3

### 2.2 平均气温的年际变化特征

为了分析气温变化趋势,采用线性趋势分析以及 5 年滑动平均趋势分析。从图 1 可以看出,近 54 a 拉萨市年平均气温虽然有波动,但总体呈现上升趋势, $r=0.86$ ,通过了  $\alpha=0.001$  的显著性检验,说明年平均气温线性上升趋势十分显著,气候倾向率为 0.48 ℃/10 a。

从 5 年滑动平均趋势线可以看出,1995 年以前拉萨市基本处于低温阶段,只在 1988-1989 年出现过短暂的升温现象,1995 年至今,拉萨市一直处于偏暖阶段。即近 54 a 来,以 1995 年为界,拉萨市共经历了冷暖两个时期,前期为偏冷期,后期为偏暖期。偏冷期的负距平频率为 84%,年平均气温最低点出现在 1963 年。从 1995 年起,拉萨市气温急剧升高,气温距平值基本全为正值,其中 2009 年达到了近 54 a 的最高值,为 10.3 ℃;2010 年次之,为 10.0 ℃。

20 世纪 60 年代每 10 年增幅分别为 0.6 ℃、0.2 ℃、0.5 ℃、0.8 ℃,由此可以看出除 20 世纪 80 年代升幅不明显外,其余各时期均存在较大的升幅。

拉萨市近 54 a 各季平均气温的年代变化基本同年平均气温的变化一致:各季平均气温年代变化均表现为上升趋势,从 2000 年后均为各年代中最高值。春季增幅最大的时期出现在 20 世纪 90 年代,比前一年代高 0.6 ℃;夏季增幅最大的时期出现在 2000 年后,比前一年代高 0.9 ℃;秋季增幅最大的时期有两个,分别出现在 20 世纪 70 年代和 2000 年后,比前一年代高 0.8 ℃;冬季增幅最大的时期也出现在 2000 年后,比前一年代高 1.2 ℃。

### 2.3 各季平均气温变化特征

通过计算,发现各季节气候倾向率均为正值,这表明各季的气温变化均表现为线性上升趋势,且各季的气温变化均通过了  $\alpha=0.001$  显著性检验,如表 2 所示。秋、冬气候倾向率大于年气候倾向率,春、夏气候倾向率小于年气候倾向率。冬季倾向率最大,为 0.61 ℃/10 a;春季倾向率最小,为 0.41 ℃/10 a。平均气温冬季增幅最大,春季增幅最小。秋季和冬季对于 20 世纪 90 年代及以后的增暖做出了主要贡献。

表 2 拉萨市各季平均气温变化特征

季节	春季	夏季	秋季	冬季
平均值/℃	8.8	15.6	8.3	-0.2
最高值/℃	11.3	18.2	10.6	2.7
最高值出现的年份/年	1998	2009	2009	2005
气候倾向率/(℃/10 a)	0.41	0.42	0.50	0.61
$r$	0.597	0.718	0.774	0.756

春季平均气温在 1982 年以前处于偏冷阶段,1983-1997 年由暖向冷转变,1997 年后转为偏暖。其中气温的正距平频率为 75%,1998 年的春季平均气温达到近 54 a 以来的最高值。

夏季平均气温 5 年滑动平均曲线大体上与年平均气温的变化趋势一致,但变化幅度稍小一些。1983 年以前处于偏冷阶段,气温的负距平频率达到 91.7%,

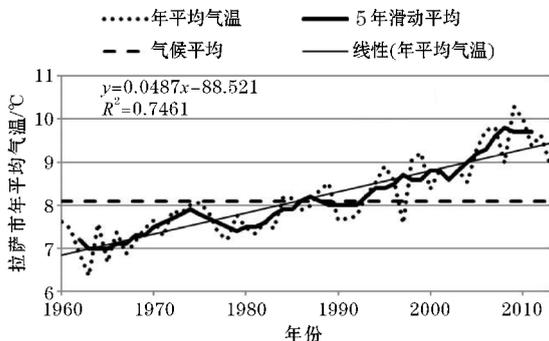


图 1 近 54 a 拉萨市平均气温的年变化

1984–2004年平均气温在较小范围内波动,2004年后显著增温。2009年夏季平均气温达到了近54 a以来的最高值。

秋、冬两季平均气温5年滑动平均曲线图大体与年变化趋势一致,但变化幅度较大。1995年前处于偏冷阶段,负距平频率分别为75%和80%,1995年以后转为偏暖,正距平频率分别达到94.7%和94.4%,其中秋季平均气温于2009年达到近54 a来的最高值;冬季平均气温于2005年达到近54 a来的最高值。

近54 a来,春季气温较气候平均值高 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的有2年,分别为1998年和2009年;夏季平均气温较气候平均值高 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的年份均在2000年以后,分别为2006、2008、2009年;秋季平均气温较气候平均值高 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的年份则只有2009年,可以看出,2009年的夏秋

两季平均气温均为目前的最高值;冬季气温较平均气温高 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的年份有2个,分别为2005、2008年。2000年以后,不仅秋冬季平均气温增幅明显,春夏季平均气温也呈现增暖趋势,导致年平均气温急剧升高。由此可见,尽管气温变化幅度有一定差异,但拉萨市气温随时间的变化规律仍与全国平均气温的变化情况大体一致<sup>[15]</sup>。

## 2.4 气温变化的周期分析

采用小波分析方法对拉萨市1960–2013年的年平均及各季平均气温进行分析,结果见图2。由图2(a)可以看出,拉萨市年平均气温主要存在着35 a左右的变化周期,在此尺度上,存在着暖、冷、暖3个已经闭合的阶段。

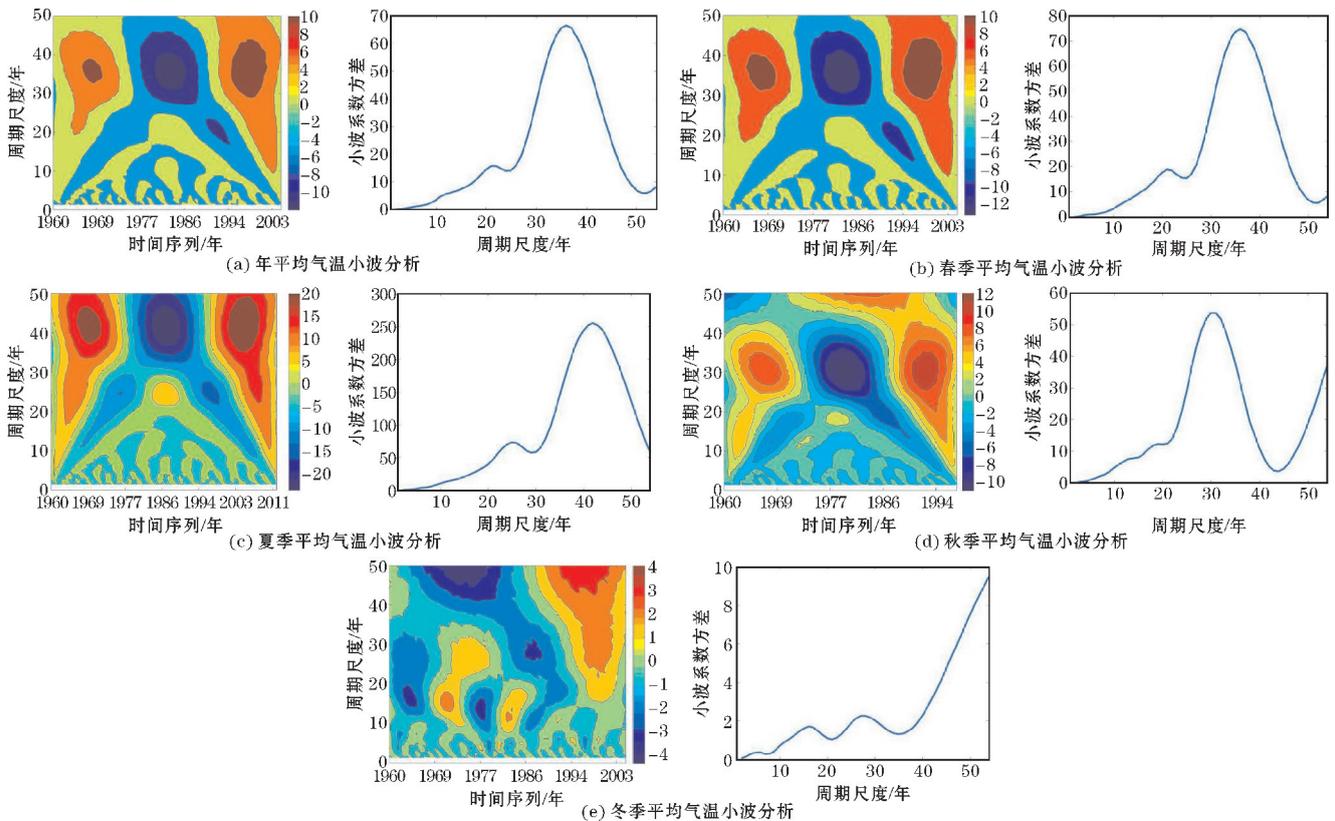


图2 拉萨市近54 a气温变化的小波分析

从图2(b)可以看出,春季气温的变化周期及变化趋势情况与年平均平均气温几乎一致。从图2(c)可以看出,夏季气温主要存在着25 a、40 a左右的周期变化尺度,其中在40 a周期尺度上的低频区,夏季气温变化经历了暖–冷–暖3个阶段。在图2(d)中,秋季气温30 a的周期振荡非常明显,其间秋季气温经历了暖–冷–暖3个阶段。在图2(e)中,冬季气温在1960–2013年,主要存在着29 a的周期变化尺度,20世纪60–80年代,17 a左右的周期振荡明显。

## 3 平均最高气温变化特征

近54 a拉萨市年平均最高气温和各季平均最高气温年变化均呈现出显著上升趋势变化,且均通过了 $\alpha=0.001$ 显著性检验,如表3所示。年平均最高气温在20世纪60–80年代初期为偏冷阶段,20世纪80年代中期至90年代末在气候平均值附近波动,2000年以后升温明显,进入偏暖阶段。2000年后平均最高气

温比 20 世纪 60–70 年代升高了 1.8 °C。2001 年至今,年平均最高气温均高于气候平均值,2009 年平均最高气温达到了近 54a 以来的最高值。冬季变幅最大,且自 2004 年以来,冬季平均最高气温持续偏高,

2012 年已经是第 9 个连续偏暖的年份,2000 年以后冬季平均最高气温比 60 年代升高了 2.5 °C,其次是秋季升高了 2.0 °C,春、夏平均最高气温变化相对较小,分别升高 1.4 °C、1.7 °C。

表 3 拉萨市平均最高气温变化特征

时间	年	春季	夏季	秋季	冬季
平均值/°C	15.9	16.2	22.5	16.4	8.5
最高值/°C	18.4	18.9	25.4	19.4	12.6
最高值出现的年份/年	2009	1998/2009	2009	2009	2005
气候倾向率/(°C/10 a)	0.45	0.37	0.43	0.47	0.54
<i>r</i>	0.780	0.508	0.646	0.645	0.574

对于气候倾向率,年平均最高气温的变化速度为 0.45 °C/10 a,其中秋、冬两季的气温倾向率大于年倾向率,分别为 0.47 °C/10 a、0.54 °C/10 a;春、夏两季气温倾向率分别为 0.37 °C/10 a、0.43 °C/10 a,小于年气候倾向率。这表明冬季平均最高气温增温幅度最大,春季增温幅度最小。

#### 4 平均最低气温变化特征

如表 4 所示,年平均最低气温整体同样呈显著现上升趋势,且通过了  $\alpha=0.001$  显著性检验。以 20 世纪 90 年代初期为界,分为冷、暖两个时期,前段为偏冷

期,后段为偏暖期。20 世纪 60–80 年代中期处于偏冷阶段,20 世纪 80 年代后期开始最低气温逐渐上升,尤其是 1997 年以来急剧增暖,2000 年后年平均最低气温较 20 世纪 60 年代上升 2.9 °C,从 1998 年开始,16 a 持续偏暖,且 2000 年后出现了 4 个高峰年。各季平均最低气温整体也同样呈显著现上升趋势,且均通过了  $\alpha=0.001$  显著性检验。变幅最大的是冬季,其次依次为春、秋、夏季。2000 年后平均最低气温与 60 年代相比,冬季升高了 3.9 °C,然后依次是春、秋、夏季,分别为 3.0 °C、2.7 °C、2.1 °C,以夏季平均最低气温变化振幅相对最小。

表 4 拉萨市平均最低气温变化特征

时间	年	春季	夏季	秋季	冬季
平均值/°C	1.7	1.9	10.3	2.1	-7.6
最高值/°C	3.9	4.6	12.7	4.5	-4.8
最高值出现的年份/年	2010	2010	2010	2007	2005
气候倾向率/(°C/10 a)	0.68	0.72	0.51	0.62	0.90
<i>r</i>	0.928	0.883	0.821	0.826	0.898

年平均最低气温的气候倾向率为 0.68 °C/10 a,冬、春两季平均最低气温的倾向率大于年倾向率,分别为 0.90 °C/10 a、0.72 °C/10 a;秋、夏两季小于年倾向率,分别为 0.62 °C/10 a、0.51 °C/10 a。

#### 5 结论

近 54 a 来,拉萨市年及各季平均气温均呈显著上升趋势,尤其是 2000 年后增温趋势和幅度更加明显,2000 年后年平均气温相对 20 世纪 60 年代升高了 2.1 °C。秋、冬两季的平均气温倾向率大于年倾向率;春、夏两季的平均气温倾向率小于年倾向率。冬季平

均气温增幅最大,夏季平均气温增幅最小,对增暖贡献最大的是冬季,其次是秋季。

拉萨市年及春、夏、秋平均气温虽然存在着不同的振荡周期,但都经历了暖–冷–暖 3 个阶段,并且目前仍处于暖期。冬季气温则存在着明显的阶段性周期。

年平均最高气温呈显著上升趋势,2000 年后急剧升温,2000 年后平均最高气温比 20 世纪 60、70 年代升高了 1.8 °C。冬季升温幅度最大,且从 2004 年开始持续偏暖,2012 年已是第 9 个连续偏暖的年份。

年平均最低气温在波动中呈现出明显的上升趋势,以 20 世纪 90 年代初期为界,可分为冷、暖两个时期,前期为偏冷期,后期为偏暖期。2000 年后年平均

最低气温较 20 世纪 60 年代上升 2.9 ℃。在各季中,平均最低气温变化幅度最大的是冬季,从 1998 年开始,16 a 持续偏暖,且 2000 年后出现了 4 个高峰年。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis, the summary for policymakers of the working group I contribution to the fifth assessment report [M]. New York: Cambridge University Press, 2013: 1-28.
- [2] Gable F J. Climate change impacts on Caribbean coastal areas and tourism [J]. Journal of Coastal Research, 1997, 27 (SPECIAL): 49-69.
- [3] Chalecki E L. Climatic Cataclysm: The Foreign Policy and National Security Implications of Climate Change-Edited by Kurt M. Campbell [J]. Review of Policy Research, 2010, 26 (4): 495-497.
- [4] 杨春艳, 沈渭寿, 林乃峰. 西藏高原近 50 年气温和降水时空变化特征研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27 (12): 167-172.
- [5] 盛文萍, 高清竹, 李玉娥, 等. 藏北地区气候变化特征及其影响分析 [J]. 高原气象, 2008 (3): 509-516.
- [6] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势 [J]. 地理学报, 2005 (1): 3-11.
- [7] 段安民. 拉萨气温和降水变化特征的小波分析 [J]. 西藏科技, 1999 (4): 40-44.
- [8] 杜军, 马鹏飞, 潘多. 1981-2014 年西藏各时次气温的变化趋势分析 [J]. 地理学报, 2016, 71 (3): 422-432.
- [9] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: recent trends and an update to 1978 [J]. Journal of Climate, 1988, 1 (6): 654-660.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2008: 49-50.
- [11] 姜德君, 孙卫国, 李治民. 齐齐哈尔市气温变化小波分析 [J]. 气象科技, 2004, 32 (6): 475-478.
- [12] 邓自旺, 林振山, 周晓兰. 西安市近 50 年来气候变化多时间尺度分析 [J]. 高原气象, 1997 (1): 82-94.
- [13] 刘德, 李永华, 何卷雄. 重庆市夏季气温及降水变化的小波分析 [J]. 高原气象, 2003 (2): 173-178.
- [14] 白冰, 孔令旺, 王有恒, 等. 基于 Morlet 小波的甘肃省近 50 年气温变化分析 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (17): 7627-7628.
- [15] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (S1): 1-5.

## Variation Characteristics of Air Temperature in Lhasa City in Recent 54 Years

TANG Bin<sup>1</sup>, XIAO Guojie<sup>1</sup>, WU Liang<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Sichuan Province Meteorological Service Centre, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** In order to provide more reference for the Lhasa region to cope with climate change and prevent natural disasters, based on the temperature data from 1960 to 2013 in Lhasa, the annual and seasonal variations and periodic variations of air temperature in Lhasa during the past 54 years were studied using the linear trend analysis method and Morlet wavelet analysis method. The results show that the annual average temperature of Lhasa and the average temperature of each season all show an increasing trend in the past 54 years, especially after 2000. The annual average temperature is in line with the trend of the average temperature in each season, but there is a certain difference in the rate of increase in temperature, with the largest increase in winter temperature. The average annual temperature and the average temperature in spring, summer and autumn have different scales of oscillation cycle, but they all experienced the process of warm-cold-warm. The winter average temperature showed periodic changes. Putting the early 90s as the cut-off point, the annual average minimum temperature can be divided into cold and warm two periods in which the earlier is cold, the latter is warm. The warming rate of annual average minimum temperature is obviously higher than the average annual maximum temperature.

**Keywords:** Lhasa; temperature variations; climate cycle; average maximum temperature; average minimum temperature; applied meteorology; climate change