

2015年夏季那曲地区温度变化特征研究

陈佳龙

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: chenjialongcuit@163.com

收稿日期: 2021年7月18日; 录用日期: 2021年8月24日; 发布日期: 2021年8月31日

摘要

基于2015年6~8月第三次青藏高原大气科学试验那曲地区的气温观测资料和ERA-5再分析资料, 采用Morlet小波分析、Mann-Kendall突变检验和经验正交函数(Empirical Orthogonal Function, EOF)等方法, 对青藏高原那曲地区夏季地面气温的时空变化特征进行了分析, 结果表明: 1) 不同高度气温日变化呈现出昼升夜降的特征, 昼夜温差大; 2) 日均温存在明显的季节内变化, 6月升降温波动最大, 其次是7和8月; 3) 那曲地面气温存在2~7 d、8~13 d以及14~18 d三种尺度周期变化规律, 其主周期为4 d; 4) 2015年夏季那曲地面气温突变发生在6月20日, 突变前气温呈显著降温趋势, 突变后夏季气温呈显著升温趋势; 5) ERA-5在那曲地区存在冷偏差, 但其能再现地面气温的季节内变化; EOF分解显示高原夏季地面气温前四模态在空间上为全区一致型、东-西反相型、东到西“+-+”型和南北反相型, 时间上则表现出震荡变化。

关键词

那曲, 地表温度, 小波分析, M-K检验

Research on the Temperature Characteristics of Naqu Region in Summer 2015

Jialong Chen

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: chenjialongcuit@163.com

Received: Jul. 18th, 2021; accepted: Aug. 24th, 2021; published: Aug. 31st, 2021

Abstract

Based on observation of the third atmospheric science experiment on the Qinghai-Tibet Plateau and ERA-5 reanalysis data in August 2015, this paper analyzes the spatial and temporal changes of the summer ground temperature in Naqu region through Morlet wavelet analysis, Mann-Kendall test and Empirical Orthogonal Function. The results indicate that: 1) The daily temperature changes of different heights show the characteristics of day rise and night fall, with a large temperature difference between day and night; 2) The average daily temperature changes in obvious seasons, with the maximum temperature change in June, followed by July and August; 3) The ground temperature in Naqu has three scale cycle changes of 2 - 7 d, 8 - 13 d and 14 - 18 d, whose main period is 4 d; 4) In the summer of 2015, the ground temperature mutation in Naqu occurred on June 20, the mutation temperature showed a significant cooling trend, and the mutation summer temperature showed a significant warming trend; 5) ERA-5 has cold deviation in Naqu area, but it can reproduce the seasonal change of ground temperature; the first four modes of EOF decomposition show the ground temperature of plateau in space, east-west inversion, “+--” and north-south inversion, and show shock change in time series.

Keywords

Naqu, Surface Temperature, Wavelet Analysis, Mann-Kendall Test

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

青藏高原(下称高原)平均海拔高度在 4000 m 以上, 是全世界面积最大、平均海拔最高的高原, 有着“第三极”和“世界屋脊”之称, 同时也被视为影响全球气候变化的“驱动力与放大器”[1]。由于高原所具有的极其特殊的大地形动力和热力作用, 高原极大程度上控制了东亚乃至全球大气环流的平均状态[2] [3] [4], 因而被普遍认为是影响我国气候分布和气候变化的重要因子[5]。地面气温异常对陆气水热交换和物质循环有重要影响, 因此地面气温被看作是控制地 - 气系统间物质和能量交换的重要因素; 另一方面, 地 - 气系统能量和水热交换过程发生异常时同样可导致能量不断在地气系统累积, 从而导致气温上升, 造成高原的冰川、冻土与湖泊的变化, 进一步改变能量收支平衡, 造成高原气温的增暖, 进一步影响青藏高原和周边地区的生态与环境。因此, 研究高原地面气温的变化特征, 揭示高原气候变化规律, 始终是气候变化领域的重点。

全球变暖背景下, 高原气温呈增暖趋势, 朱智等[6]利用 2008~2017 年高原地区 133 个站点的地面气温资料和五套地面气温模拟资料对青藏高原地面气温的时空变化特征进行了分析, 指出高原气温总体呈增暖趋势, 且随着海拔高度的升高, 增暖趋势越发剧烈。杨倩等[7]基于 1960~2016 年气象观测资料分析了高原中东部地区气温的时空分布及年际变化特征, 发现高原中部地区的早期增暖趋势较其余地区慢, 而 2000 年之后高原中部地区气温的增暖趋势持续加快, 且增暖速度明显高于我国同纬度地区。朱伊等[8]利用经验正交分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)揭示了 1981~2015 年青藏高原气温的时空分布特征, 指出年均和四季地面气温都呈上升趋势, 其中 2010~2015 年的气温上升幅度较大。柏露等[9]利用 1975~2015 年 ERA-Interim 分析了青藏高原气温的季节内和年际变化, 指出青藏高原四季均温呈上升的趋

势,且青藏高原的升温速率比全球平均值略高,与全球气温变化相比,青藏高原地区的气温变化幅度较大,反映出在全球变暖的情况下其高原地区是对气温变化的敏感区,进一步证实了青藏高原是全球气温变化的放大器。

作为青藏高原的腹地,那曲地区的温度变化状况也一直是研究人员非常关注的问题,达瓦泽仁等[10]通过那曲地区7个站点近五十年的气温资料,发现那曲地区气温变化总体呈现上升趋势,且夏半年气温上升没有冬半年明显,年际气温上升主要受到冬半年的气温上升影响。央美等[11]根据那曲地区那曲县、索县和申扎县三个代表站1987~2016年实测数据统计了气温的年际变化和冬夏季特征,得出那曲地区东部(索县)气温最高,西部(申扎县)次之,中部(那曲县)气温最低,年际变化依次为 $+0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $+0.53^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $+0.54^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。由于人类活动的增强,人口密度较小的那曲地区的城镇化率也得到了显著提升,因此扎西欧珠等[12]利用2002~2015年的MODIS/TERRA卫星遥感和同期气象数据分析了藏北高原地表温度的空间分布,发现高温区主要集中在人口密集区域,随着包括那曲在内的藏北城市的经济发展,高温区面积越来越大。除了地温,蔺筠等[13]对比分析了那曲站和其相邻的野外站之间的平均气温、最高气温和最低气温变化的差异,指出两站的最高气温变化均与自然要素有关,而人类活动(城市热岛效应)对那曲站最低气温的贡献率达到52.2%。虽然针对那曲地区的气温特征研究已经取得了丰富的成果,但大多数研究关注的是气温的年际变化特征,而对于气温变化的季节特征和日内变化的研究还有待加强;同时基于最新的第三次青藏高原科考实验观测数据的研究更是几乎没有,因此很有必要对2015年夏季那曲地区地面气温进行研究,这对深入理解高原那曲地区夏季气温的变化特征有重要意义。

2. 数据和方法

2.1. 数据来源与前处理

本研究所用的数据为2015年夏季6~8月ERA-5再分析资料和地面气温观测资料,其中观测数据来自那曲边界层塔站地面0.75、1.5和3m的气温实测,该站点位于北纬 $31^{\circ}37'$,东经 $91^{\circ}90'$,海拔高度为4509m,其主要观测项目包括平均风速风向、最大风速、地面气温、相对湿度、土壤气温、土壤热通量、水汽压、空气相对湿度、向下和向上的短波辐射和长波辐射、累计降水及土壤体积含水量,数据每30min记录一次。为保证观测记录的连续性,通过历史天气查询对阴晴雨天气详情缺测进行补充。

2.2. 研究方法

2.2.1. 小波分析

为了解2015年夏季那曲气温时间序列的周期特征,采用Morlet连续复小波变换对原始时间序列进行处理[14]。小波分析在时域和频域上具有良好的局部性质,能够分析气温时间序列周期变化的局部特征以及周期随时间变化特征。小波系数等值线图可以反映日平均气温在不同时间尺度上的周期震荡,小波系数的大小可以反映信号的强弱,大于零代表升温,小于零代表降温,为零则对应着突变点。方差图可以反映年气温时间序列的波动能量随时间尺度变化的分布情况,对应峰值处的时间尺度可以反映年气温演变的主周期。

2.2.2. Mann-Kendall 突变检验

采用Mann-Kendall法研究高原那曲地区气温的突变特征[15],该方法是一种检测范围广且定量程度高的非参数检验方法,通过2015年那曲夏季气温原始时间序列构造统计量 UF_k 和其逆序列 UB_k ,并构造其M-K显著检验线,假定显著性水平为0.05时,临界线为 ± 1.96 。若 UF_k 小于零(大于零),则说明时间序列呈下降(上升)趋势;若 UF_k 和 UB_k 两条序列出现交点且交点在临界范围内,则该交点为突变时刻。

2.2.3. EOF 分解

由于大气科学中气象要素变量都是三维变量场，而 EOF 是一种能提取气象场优势信号、反映气象场时空特征较为有效的方法[16]，且提取出的气象信号具有一定的物理意义。因此采用 EOF 方法对 2015 年夏季那曲地区气温的时空分布特征进行分析，进而将变量场的信息集中在方差贡献比较高的前几模态上。最后对主要模态的空间分布和时间系数进行分析，得出青藏高原那曲地区夏季气温主要的空间特征和时间变化。

3. 结果分析

3.1. 日变化特征

图 1 给出了那曲 2015 年夏季 6~8 月 0.75、1.5 和 3 m 高度气温日变化曲线，可以发现日间距地面越低气温偏高，午后差异可达到 1℃ 以上，而三种高度气温在夜间差异并不明显。三种高度上的气温均在清晨 7 时至下午 16 时不断升高，峰值出现在午后 16 时，达到 15℃ 左右；而在 16 时之后气温开始不断降低，直到第二天 7 时降到最低值约 2℃，降幅达 13℃，温差较大。总的来说，那曲地区地面气温具体表现为昼升夜降的变化趋势，并且存在较大的温差；三种高度的气温资料总体趋势基本一致，均能很好的还原夏季那曲地区地面的逐时平均气温变化特征。

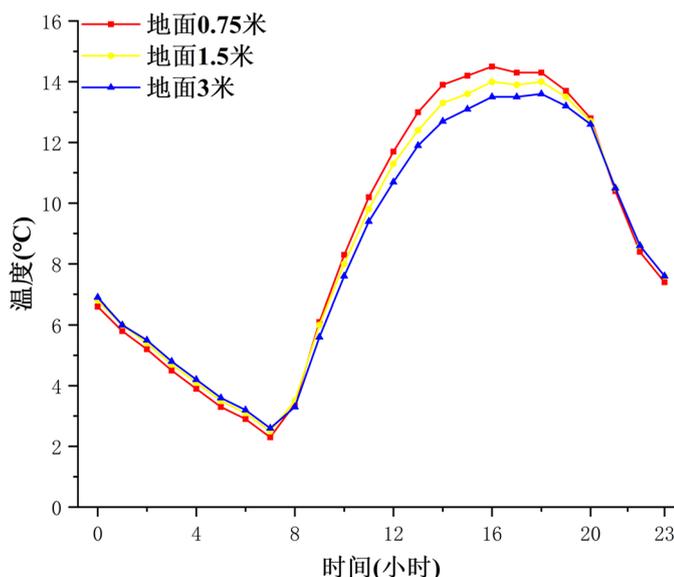


Figure 1. Daily variation curve of Naqu (in °C) in summer 2015

图 1. 2015 年夏季那曲地区气温(单位: °C)日变化曲线

3.2. 季节内变化特征

图 2 给出了夏季 6~8 月 0.75、1.5 和 3 m 三种不同高度上逐日气温变化曲线，可以发现夏季那曲气温总体呈多波动变化，且 6~8 月伴随有多次明显的降温和升温过程，表明受天气系统影响，气温的季节内变化十分明显。且不同高度上的逐日气温变化趋势基本一致，距地表越近，其值越大，表明更易受地表加热的影响。进一步分析发现 6 月气温变化最大。6 月 5 日那曲地区受到一次冷空气过程影响，其后十余天中气温持续降低，直至 6 月 14 日出现夏季最低值，仅为 4℃。本次冷空气过境后的 16 天内中，那曲地区气温持续上升，13 天内气温上升 10℃，并在 6 月 28 日到达夏季气温的峰值。7 月 5 日那曲地区

再次受冷空气影响造成大幅降，之后温度开始小幅上升，至7月10日冷空气再次影响那曲地区，并在7月16日气温降至最低，日均气温仅为4℃。此后那曲地区气温稳定维持至7月25日，气温介于6℃~8℃之间。7月26日开始持续升温，直至8月5日再次出现大幅降温过程，其后气温波动较为明显，但变化幅度不大，一般在4℃以内。由此可见，那曲地区夏季日均温存在明显的季节内变化，升温降温交替出现。

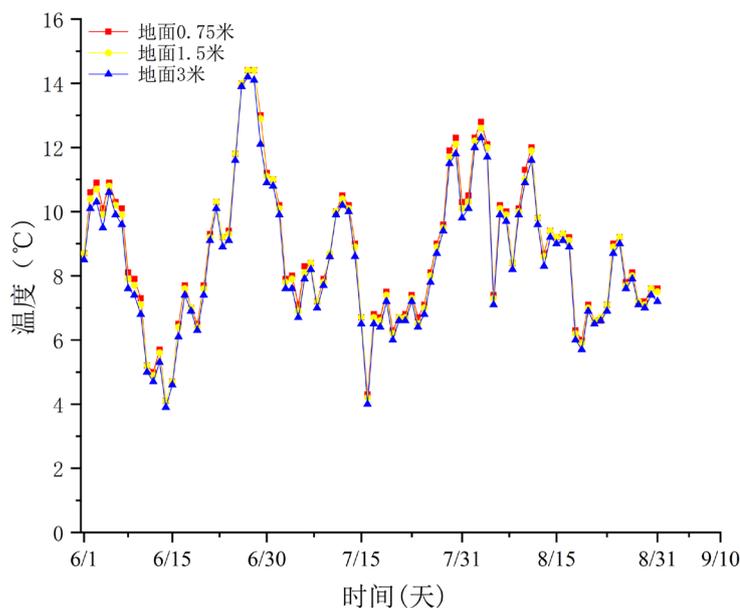


Figure 2. The average daily temperature (in °C) in Naqu during the summer of 2015
图 2. 2015 年夏季那曲地区不同高度日平均气温(单位: °C)变化曲线

3.3. 周期特征

为了解 2015 年那曲地区夏季气温变化的周期特点，对逐日气温进行小波分析。从图 3 可见那曲气温存在 2~7 d、8~13 d 以及 14~18 d 三种尺度周期变化规律；且 2~7 d 时间尺度周期在第 25 d~50 d 之间最明显，且振荡变化较大；而 8~13 d 时间尺度周期则存在 2 次交替变化，分别在第 0~15 d 和 70~91 d 表现最明显；14~18 d 时间尺度周期则贯穿于整个夏季，同时也存在 3 次振荡交替变化，分别在第 1~20 d、30~45 d 以及 70~92 d 最明显。由显著性检验图可以看出，上述三种尺度周期基本都通过了显著性检验，其中第 30~45 d 时段内 2~7 d 尺度周期振荡幅度最大，最为显著；而 8~13 d 和 14~18 d 尺度周期虽振荡幅度较小但依旧显著，并且可以看出震荡幅度较大的显著性区域与母波大致相同，表明对应时间尺度的频谱能量变化最强、周期变化最为明显。从全局小波谱可以看出两处较明显的波峰对应着功率谱最大的区域，分别位于第 45 d、90 d。其中 45 d 所对应的 2~7 d 周期尺度峰值最大，夏末所对应的 14~18 d 周期尺度峰值次之，表明这两个周期为那曲地区 2015 年夏季温度变化的主周期。

3.4. 突变特征

对 2015 年那曲地区夏季逐日气温进行 M-K 突变检验，图 4 中 UF_k 曲线在 6 月 20 日之前处于 0 以下，且在 6 月 14 日出现三个月来气温最低值，表明在此之前气温总体呈下降趋势，6 月 8 日至 6 月 20 日下降趋势更是通过显著性检验；6 月 20 日之后 UF_k 大于 0，表明 6 月 20 日至 8 月 31 日气温均呈上升趋势。 UF_k 曲线和 UB_k 曲线的交点位于显著检验线内(临界值为 ± 1.96)，即突变点为 6 月 20 日，由此可见，2015 年那曲地区夏季逐日平均气温的突变点为 6 月 20 日，突变之前夏季气温呈显著降温趋势，之后为升温趋势。

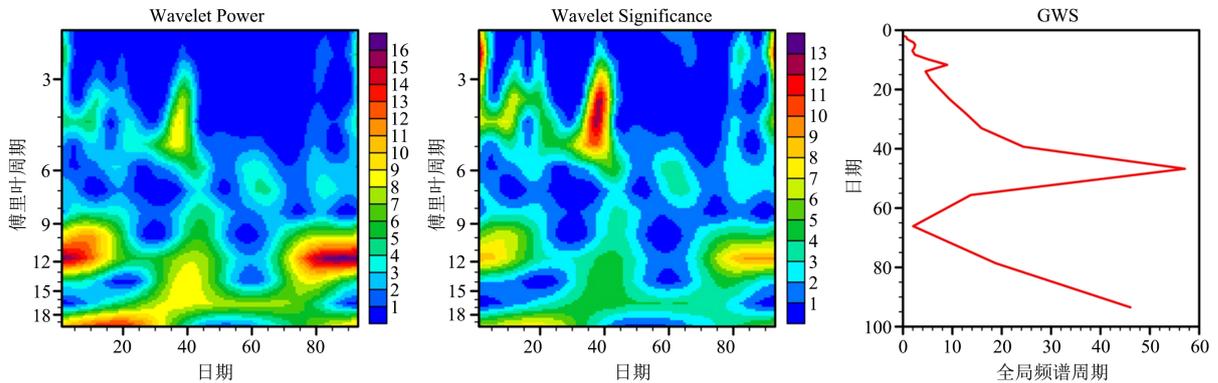


Figure 3. Results of temperature wavelet analysis in Naqu area in summer 2015, from left to right are power spectrum, power spectrum significance and global wavelet spectrum, respectively

图 3. 2015 年夏季那曲地区气温小波分析图，从左至右分别为功率频谱、功率频谱显著性和全局小波谱

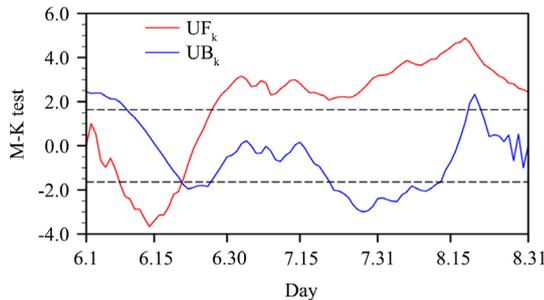


Figure 4. M-K test results of ground temperature in Naqu area in summer 2015

图 4. 2015 年夏季那曲地区地面气温 M-K 检验结果

3.5. EOF 分析

由于采用的单点数据，无法再现整个高原地面气温的变化特征，因此这里采用 ERA-5 再分析数据。在 EOF 分解之前我们还验证了 ERA-5 再分析数据的可信度，就 2015 年夏季而言，虽然实测(图 5)最低和最高值分别为 4℃和 14℃，而 ERA-5 (图 3)最低和最高值为-2℃和 8.5℃，也就是说 ERA-5 再分析数据存在 6℃左右的冷偏差。但 ERA-5 再分析资料与实测的变化趋势大致相同，ERA-5 在在夏季初期表现为升温，之后出现又降温趋势，整个夏季气温的季节内变化与实测吻合度很高，说明 ERA-5 能够较好地再现那曲地区夏季气温变化趋势，因此是可以用于高原气温 EOF 分解，并能反应那曲地区的地面气温的变化特征。

图 6 给出了 2015 年青藏高原夏季气温的 EOF 分解的前 4 个模态分布(PC1~4)。EOF 分解第一模态方差贡献率高达 59.5%，在空间上呈全区一致型特征，其中正值中心位于高原西部，表明高原夏季大部分地区存在气温整体增加或降低的特点。结合其时间系数(图 7)可知，在夏季前期那曲地区气温处于降温状态，之后时间系数在 6 月 20 日由负转正，表明当地气温开始升高，而夏季末那曲地区气温又开始有所降低。第二模态方差贡献率为 12.5%，在空间上呈现东 - 西反相变化的特点，即当高原东部为正(负)位相时，高原西部为负(正)位相。结合时间系数(图 7)可以发现，那曲地区 6 月中上旬存在降温趋势，而 6 月末表现出升温趋势，7 月又呈降温趋势，之后又表现为升温趋势。第三模态方差贡献为 7.6%，其模态空间表现为高原中部与高原东西部反位相变化的特征布，那曲地区正负位相交错分布，表明当地气温存在较为复杂的变化特点，其时间系数(图 7)表现出正 - 负 - 正 - 负交替出现的特点。第四模态方差贡献仅为 4.6%，其空间上体现了高原气温南北相反变化的特点，高原南部大部分地区为正值分布，而北部为负值分布，那曲地区为正位相其时间序列主要表现为前期正，后期负的特点。

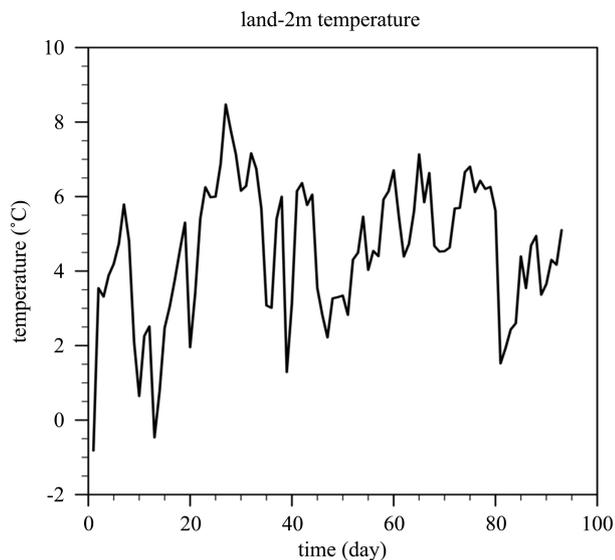


Figure 5. Change curve of daily average temperature (in: °C) of ERA-5 in summer 2015
图 5. 2015 年夏季那曲地区 ERA-5 再分析资料日平均气温(单位: °C)变化曲线

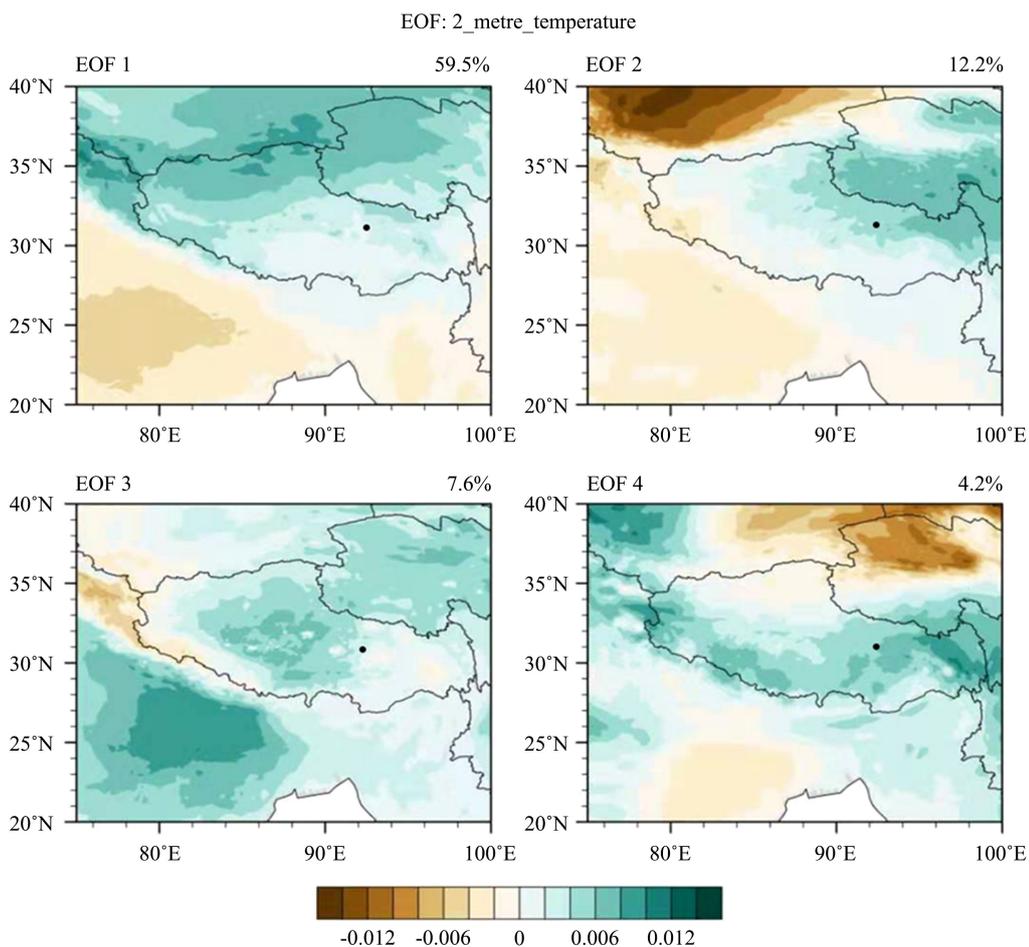


Figure 6. The spatial modes of temperature based on EOF analyzes over Tibetan Plateau in summer 2015
图 6. 2015 年夏季高原气温 EOF 分析空间模态

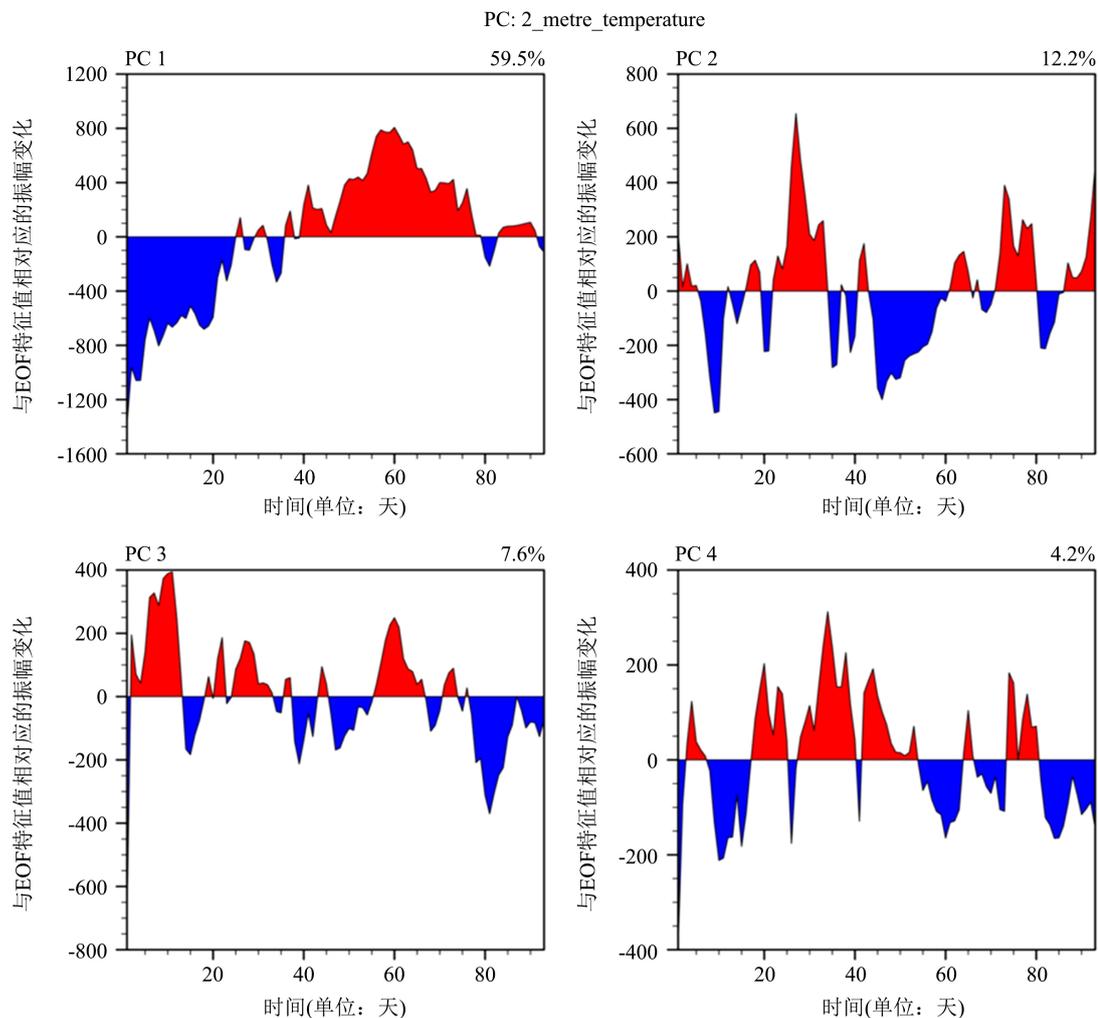


Figure 7. The time series of temperature based on EOF analyzes over Tibetan Plateau in summer 2015
图 7. 2015 年夏季高原气温 EOF 分析时间序列

4. 主要结论

利用第三次青藏高原大气科学试验设置在高原那曲地区观测点获得的 2015 年夏季 6~8 月地面气温资料和 ERA-5 再分析资料, 采用小波分析、Mann-Kendall 突变检验和 EOF 分解等方法对那曲地区夏季气温的变化特征进行了分析, 得到以下结论:

- 1) 2015 年夏季那曲地区不同高度地表气温变化特征基本一致, 呈昼升夜降的日变化特征, 且昼夜温差较大。逐日气温时间序列呈升降温交替分布的特点, 其中 6 月最明显, 其次是 7 和 8 月。
- 2) 周期分析表明那曲夏季气温存在 2~7 d、8~13 d 以及 14~18 d 三种尺度周期规律, 14~18 d 的周期贯穿于整个夏季, 是那曲地区夏季气温变化的第 1 主周期。
- 3) 2015 年夏季那曲气温突变发生在 6 月 20 日, 突变前气温呈显著降温趋势, 突变后气温呈显著升温趋势。
- 4) ERA-5 分析资料相较实测存在冷偏差, 但其能反应那曲地面气温的变化趋势, 可用于 EOF 分解。高原夏季地面气温 EOF 分解前四模态分别表现为全区一致型、东 - 西反相型、东到西“+-”型和南北反相型, 时间上呈震荡变化特征。

本文从日内变化、日间变化、突变特征、周期特征等方面简要分析了 2015 年夏季那曲地区气温的变化特征,对相关研究有一定的借鉴意义。但对气温变化特征的分析还较片面,也未对相关变化的机制进行深入解释,因此这将在后面的研究中展开。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007 和 BKJX2019013)支持。

参考文献

- [1] 潘保田,李吉均. 青藏高原:全球气候变化的驱动器与放大器[J]. 兰州大学学报(自然科学报). 1996, 32(1): 108-115.
- [2] 马耀明,胡泽勇,田立德,等. 青藏高原气候系统变化及其东亚区域的影响与机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(2): 207-215.
- [3] 徐国昌,李梅芳. 青藏高原温度与东亚环流[J]. 高原气象, 1985(2): 185-189.
- [4] 高荣,钟海玲,董文杰,等. 青藏高原积雪、冻土对中国夏季降水影响研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(2): 254-260.
- [5] 冯松,汤懋苍,王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报, 1998, 43(6): 633-636.
- [6] 朱智,师春香,谷军霞,等. 近 10a 来青藏高原地表温度时空变化特征分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(10): 3828-3837.
- [7] 杨倩,陈权亮,陈朝平,等. 全球变暖背景下青藏高原中东部地区温度变化特征[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(3): 352-358.
- [8] 朱伊,范广洲,华维,等. 1981~2015 年青藏高原地表温度的时空变化特征分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(11): 127-140.
- [9] 柏露,姚宜斌,雷祥旭,等. 近 40 年青藏高原地区地表温度的年际及季节性变化特征分析[J]. 测绘地理信息, 2018, 43(2): 15-18.
- [10] 达瓦泽仁,央美. 那曲地区近五十年气温变化分析[J]. 西藏科技, 2007(10): 62-64.
- [11] 央美,达瓦泽仁,姜瑛子,嘎玛琼措. 那曲地区近代气候变化及气候湿润度变化特征[J]. 西藏科技, 2018(2): 63-65.
- [12] 扎西欧珠,边多,次珍,等. 基于 MODIS 遥感数据和气象观测数据的藏北高原地表温度变化特征[J]. 中国农学通报, 2020, 36(20): 136-142.
- [13] 蔺筠,胡泽勇,孙根厚,谢志鹏,黄芳芳. 城镇化发展背景下那曲地区气温变化的特征分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(3): 634-644.
- [14] 王文圣,丁晶,向红莲. 小波分析在水文学中的应用研究及展望[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 515-520.
- [15] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992(4): 482-493.
- [16] 李耀辉. 西北地区冬季气温异常特征分析[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 13-17.