

近50年来全球变暖背景下青藏高原气温变化特征

吴成启^{1,2}, 唐登勇¹

(1. 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 南京 210044; 2. 河北省石家庄市赞皇县气象局, 石家庄 050000)

摘要:利用青藏高原1961—2010年逐日气温气候统计资料,采用了线性回归方程、曼—肯德尔突变检验等方法,研究了青藏高原气温气候时间和空间尺度上的变化趋势,研究表明:(1)青藏高原年平均气温以 $0.022\text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 的速率递增,在1993年之后年平均气温值较高,在南部区域年平均气温较高,而在中部区域年平均气温较低,且1996年为青藏高原年平均气温开始突变的年份;(2)青藏高原年平均气温存在显著的季节变化特征,且4个季节下的年平均气温均呈递增的变化趋势,其中春季增温幅度最大,冬季增温幅度最小;(3)通过对青藏高原年平均气温EOF分解分析得出,年平均气温呈南—中—北型、南—北型分布特征

关键词:青藏高原; 气温; 线性回归; 曼—肯德尔; EOF

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0262-05

Change of Temperature in The Tibetan Plateau in the Context of Global Warming in Recent 50 Years

WU Chengqi^{1,2}, Tang Deng Yong¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Zanzhuang County Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: We use daily temperature climate statistics of the Tibetan Plateau from 1961 to 2010, and used the linear regression equation, Mann-Kendall mutation testing and other methods to study the spatiotemporal trend of the temperature and climate of the plateau. The results show that: (1) the increase rate of the average annual temperature of the plateau is $0.022\text{ }^{\circ}\text{C/a}$, after 1993, annual average temperature value was high, and average temperatures in the southern region was higher, while the annual average temperature was low in the central region, and abrupt change of temperature in Tibetan Plateau occurred in 1996; (2) the average annual temperature presented the significant seasonal variation, and the average annual temperature trend under four seasons was incremental, warming was the biggest in the spring, and the warming was slight in winter; (3) it was concluded that the average annual presented the distribution characteristics of types of South-Center-North and South-North based on EOF analysis on the average annual temperature.

Keywords: Tibetan Plateau; temperature; linear regression; Mann-Kendall; EOF

近些年来,有研究资料显示,全球的气候正发生着异常的变化,异常的气候变化,往往伴随着一定的气候灾害的发生。全球气候变化对人类、生态等发展存在着正、负面的影响,但是负面影响较为突出^[1],且负面影响造成的危害受到了人类的重视。由于全球气候的异常变化,对区域小范围内气候的研究成为了科研界的热点。青藏高原是全球气候系统的组成部分,且是一个较为敏感的地带,对研究青藏高原气候的变化,有着极其重要的意义。青藏高原地处我国西南区域,占地面积较大,东西最宽处距离为3 000

km,南北最宽处距离为1 600 km。有学者研究,青藏高原区域具有显著的热力、地动力等作用^[2-4]。该地区的热力以及地动力作用对北半球环流构成了一定的影响,且在夏季的时候热力、地动力作用能够影响到赤道南部区域^[5]。根据研究资料,青藏高原比低海拔区域对气候变化的响应较为显著^[6-7]。青藏高原气候的变化对我国气候变化具有十分重要的意义,而气温气候在气候变化中占据着重要的地位。

近些年来很多科研工作者对不同区域内气温和降水气候做了一定的研究,同时取得了一定的结论。对

气温的研究工作主要有:赵昕奕等^[8]在对青藏高原气温变化的研究工作中,指出了青藏高原地区气温在 50 年代到 80 年代期间呈显著的增温变化趋势。罗燕等^[9]利用云南省 125 个测站逐日实测气温资料,采用了极端气温阈值法,研究了在极端阈值条件下气温的分布特征。研究表明,云南省极端高温频数具有显著的年代际变化特征。王遵娅等^[10]在对近 50 a 来我国的气温变化研究中,得出了我国气温呈逐年增温的变化趋势,且在 90 年代增温幅度较大。Hansen^[11]和 Vinnikov 等^[12]利用数理统计的方法对全球地表气温数据进行了处理分析,发现 90 年代中期全球地表气温较 19 世纪末期上升了 0.3~0.6℃。还有很多学者^[13-16]对其他区域的气温气候变化特征进行了研究。

1 数据来源

本文利用青藏高原 56 个测站 1961—2010 年逐日平均气温、降水量资料,用来研究气温、降水气候在时间和空间上的变化规律,资料均来源于青藏高原国家基准地面气象观测站,数据经过质量控制,质量良好。根据 56 个测站经纬度以及海拔数据,采用克里金插值,运用 Furfer 软件绘制出了测站空间位置分布结果,图 1 为青藏高原地区 56 个测站海拔空间分布(图中“+”号为资料中所选用的青藏高原站点)。

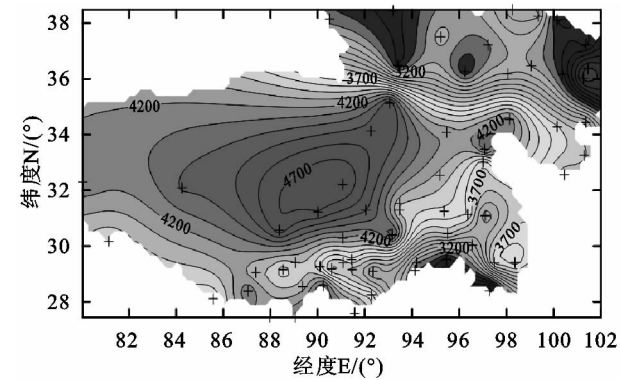
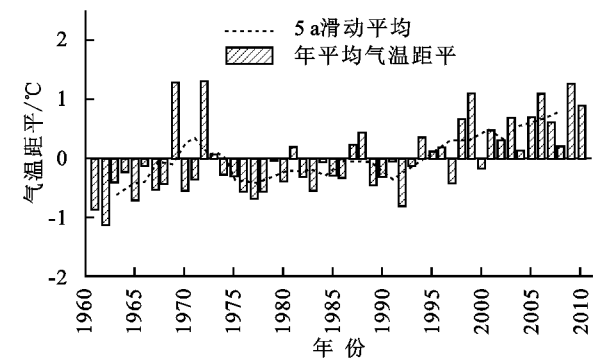


图 1 青藏高原地区 56 个测站海拔空间分布



2 青藏高原气温气候特征变化

2.1 气温年际变化规律

本文利用青藏高原 56 个地面测站实测的逐日的气温资料,计算出每个测站逐年的气温平均值,然后求出青藏高原整体年平均气温的均值,用来研究青藏高原整体年平均气温年际变化趋势。图 2 为 1961—2010 年青藏高原地区年平均气温及距平变化趋势。

从年平均气温距平值可以看出,在 1961—1993 年期间年平均气温距平值以负值为主,在这个时期内,青藏高原地区仅有 6 个年份的年平均气温距平值大于 0,说明了在 1961—1993 年期间内青藏高原地区年平均气温值较低,处于偏冷期,在 1994—2010 年期间年平均气温距平值以正值为主,在这个时期内,青藏高原地区仅有 2 个年份的年平均气温距平值小于 0,说明了在 1994—2010 年期间内青藏高原地区年平均气温值较高,处于偏暖期。从青藏高原年平均气温 5 a 滑动平均值曲线可以看出,在 1961—1969 年期间青藏高原年平均气温 5 a 滑动平均值处于 0 值以下,说明了在此年份期间气温较低,而后从 1970 年开始,存在一个持续时间较短的增温变化趋势,在 1974—1995 年期间青藏高原年平均气温 5 a 滑动平均值处于 0 值以下,说明了在此年份期间气温也相对较低,从 1996 年开始青藏高原年平均气温 5 a 滑动平均值处于 0 值以上,说明从 1996 年开始青藏高原年平均气温相对较高。

从年平均气温散点值以及线性回归方程可以看出,青藏高原年平均气温实际测量值具有显著的年际变化差异性,且根据线性方程拟合的结果可看出,方程的斜率为 0.022 8,这说明了青藏高原年平均气温以 0.022 8℃/a 的速率递增。根据文献^[17-18]研究,我国的年平均气温以 0.025℃/10 a 的速率递增,这一增温速度略高于青藏高原年平均气温增温的变化率。

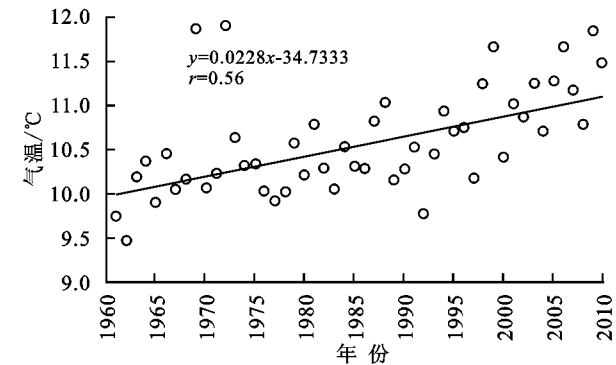


图 2 青藏高原地区年平均气温及距平变化趋势

本文采用克里金插值,运用 Furfer 软件绘制出了 56 个测站年平均气温空间分布结果,图 3 为

1961—2010 年青藏高原地区年平均气温空间分布结果,从图中可以看出,青藏高原地区年平均气温存在

显著性的空间分布差异性,在青藏高原南部区域年平均气温较高,年平均气温分布于 $7\sim 13^{\circ}\text{C}$,在西部区域年平均气温也相对较高,气温分布于 $1\sim 4^{\circ}\text{C}$,而在中部区域年平均气温较低,年平均气温低于 0°C 以下。在(经度: 90° ,纬度: 29°)以及(经度: 97° ,纬度: 30°)空间位置处出现了年平均气温极大值,而在(经度: 93.4° ,纬度: 35°)以及(经度: 97° ,纬度: 33°)空间位置处出现了年平均气温极小值。

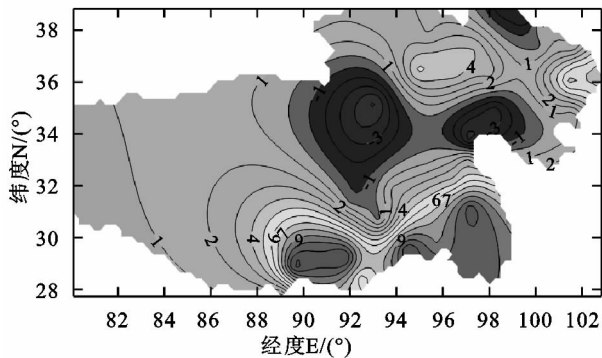


图3 青藏高原地区年平均气温空间分布结果(单位: $^{\circ}\text{C}$)

2.2 气温季节变化规律

本文利用青藏高原56个地面测站实测的逐日的气温资料,计算出每个测站逐年每个季节下气温平均值,然后求出青藏高原整体逐年的每个季节平均气温的均值,用来研究青藏高原整体年平均气温季节变化趋势。图4为1961—2010年青藏高原地区四季逐年平均气温距平变化趋势。从图4中可以看出,青藏高原年平均气温存在显著的季节变化特征,且4个季节下的年平均气温均呈递增的变化趋势。

从图4A春季逐年平均气温距平变化趋势结果可以看出,在1961—1993年期间春季年平均气温距平值以负值为主,在这个时期内,青藏高原地区仅有8个年份的春季年平均气温距平值大于0,说明了在1961—1993年期间内青藏高原地区春季年平均气温值较低,处于偏冷期。在1994—2010年期间春季年平均气温距平值以正值为主,在这个时期内,青藏高原地区仅有2个年份的春季年平均气温距平值小于0,说明了在1994—2010年期间内青藏高原地区春季年平均气温值较高,处于偏暖期。从青藏高原春季年平均气温5a滑动平均值曲线可以看出,在1961—1994年期间青藏高原春季年平均气温5a滑动平均值处于0值以下,说明了在此年份期间气温较低,从1995年开始青藏高原春季年平均气温5a滑动平均值处于0值以上,说明从1995年开始青藏高原春季年平均气温相对较高。根据线性方程拟合的结果可看出,方程的斜率为0.0246,大于0,这说明了青藏高原春季年平均气温以 0.0246°C/a 的速率递增,春

季气温增温的速率要略高于年平均气温变化的速率。

从图4B夏季逐年平均气温距平变化趋势结果可以看出,在1961—1980年期间青藏高原地区夏季年平均气温值较低。在1981—1992年期间夏季年平均气温距平值在0值上下波动,说明了在1981—1992年期间夏季年平均气温波动幅度较大。在1993—2010年期间夏季年平均气温较高。从青藏高原夏季年平均气温5a滑动平均值曲线可以看出,在1961—1990年期间青藏高原夏季年平均气温5a滑动平均值处于0值以下,说明了在此年份期间气温较低,从1994年开始青藏高原夏季年平均气温5a滑动平均值处于0值以上,说明从1994年开始青藏高原夏季年平均气温相对较高。根据线性方程拟合的结果可看出,青藏高原夏季年平均气温以 0.0240°C/a 的速率递增,夏季气温增温的速率要略低于春季年平均气温变化的速率。

从图4C秋季逐年平均气温距平变化趋势结果可以看出,在1961—1971年期间青藏高原地区秋季年平均气温值较低。在1972—1993年期间秋季年平均气温距平值在0值上下波动,说明了在1972—1993年期间秋季年平均气温波动幅度较大。在1994—2010年期间青藏高原地区秋季年平均气温值较高。从青藏高原秋季年平均气温5a滑动平均值曲线可以看出,在1961—1994年期间青藏高原秋季年平均气温5a滑动平均值以0值以下为主,说明了在此年份期间气温较低,从1995年开始青藏高原秋季年平均气温5a滑动平均值处于0值以上,说明从1995年开始青藏高原秋季年平均气温相对较高。根据线性方程拟合的结果可看出,青藏高原秋季年平均气温以 0.0224°C/a 的速率递增。

从图4D冬季逐年平均气温距平变化趋势结果可以看出,在1961—1979年期间青藏高原地区冬季年平均气温值较低。在1980—1997年期间冬季年平均气温距平值在0值上下波动,说明了在1980—1997年期间冬季年平均气温波动幅度较大。在1998—2010年期间青藏高原地区冬季年平均气温值较高。从青藏高原冬季年平均气温5a滑动平均值曲线可以看出,在1961—1986年期间青藏高原冬季年平均气温5a滑动平均值处于0值以下,说明了在此年份期间气温较低,从1995年开始青藏高原冬季年平均气温5a滑动平均值处于0值以上,说明从1996年开始青藏高原冬季年平均气温相对较高。根据线性方程拟合的结果可看出,青藏高原冬季年平均气温以 0.0346°C/a 的速率递增,可以看出青藏高原冬季增温幅度较大。

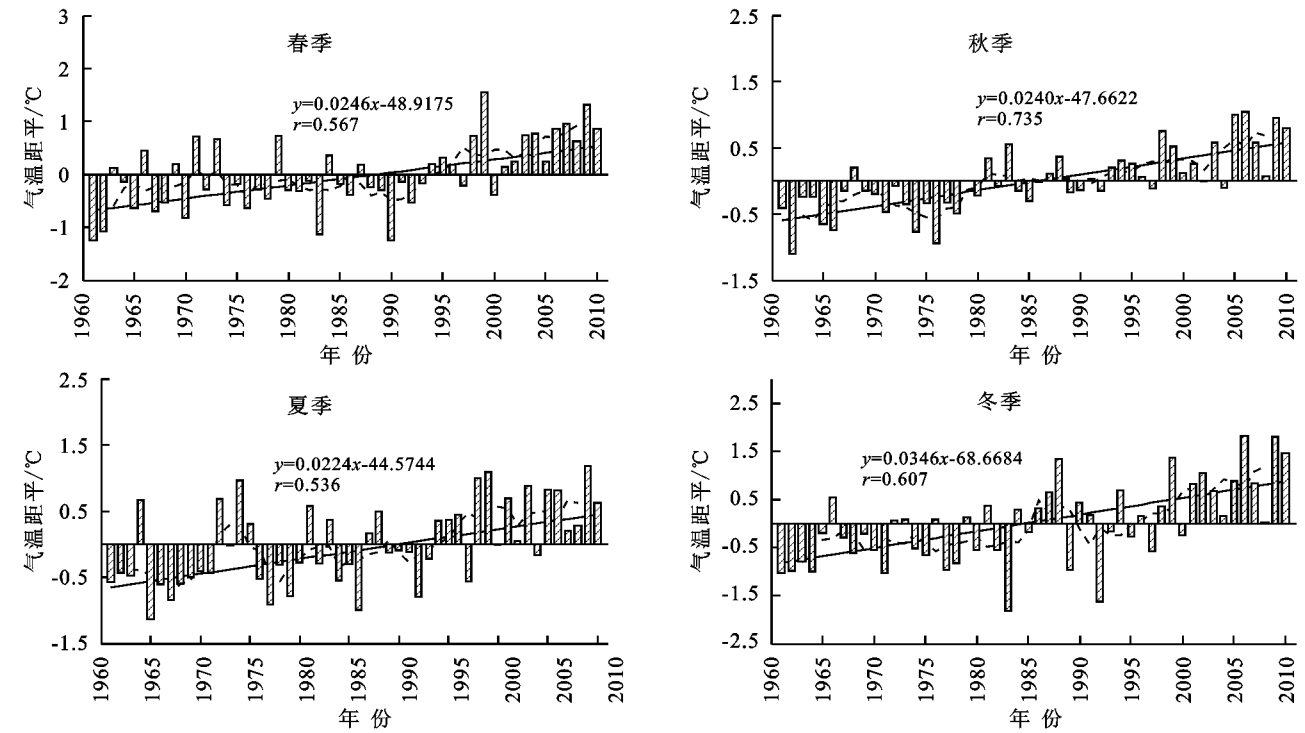


图 4 青藏高原地区四季逐年平均气温距平变化趋势

2.3 气温突变年检验

图 5 为 1961—2010 年青藏高原地区年平均气温突变检验结果,从年平均气温突变年检验结果可以看出,从 1961 年开始年平均气温有 1 个持续时间较短的降温过程,从 1963 年开始青藏高原地区年平均气温 UF 统计曲线均为正值,这说明了从 1963 年开始青藏高原年平均气温随着时间的推移呈增温的变化趋势,其中从 1999 年开始青藏高原年平均气温 UF 统计曲线超出了本文所设定的临界曲线,所明了从 1999 年开始年平均气温随着时间变化呈显著的增温变化趋势。年平均气温 UF 统计曲线以及 UB 曲线有 1 个交点位于 1996 年,且可以看出该交点处于临

界曲线内^[19],这说明了 1996 年为青藏高原年平均气温开始突变的年份。

为了进一步验证青藏高原地区年平均气温 M-K 突变检验方法的正确性。本文对年平均气温进行小波变换。小波系数变化图中,红线为显著性检验水平线。以 1996 年为界线,在 16~32 a 的长时间变换周期尺度上,青藏高原年平均气温在 1996 年前有负距平贡献,表明了 1996 年之前年平均气温处于相对偏冷期。而 1996 年之后为正距平贡献,表明了 1996 年之后年平均气温处于相对偏暖期。因此,根据 M-K 突变检验以及小波变换检验,可以看出 1996 年作为青藏高原年平均气温突变年是可信的。

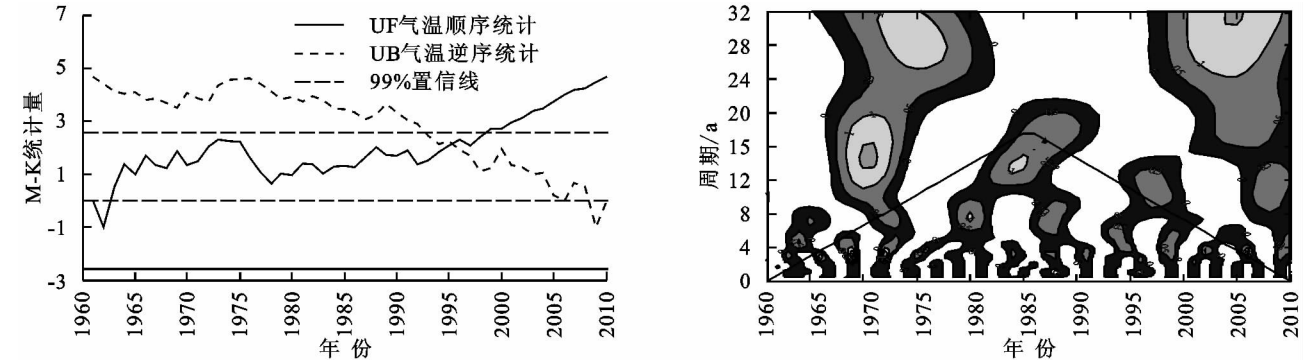


图 5 青藏高原地区年平均气温突变检验

2.4 气温 EOF 空间分解

本文利用青藏高原年平均气温资料,采用 EOF 正交函数分解的方法^[20],研究青藏高原年平均气温空间分布情况。计算出青藏高原年平均气温经正交函数空间分解后的累积方差贡献率以及特征向量值

(表 1)。从表 1 累积方差贡献率统计结果中可以看出,前 3 个主成分的累积方差贡献率为 99.488 7%,这说明了前 3 个主成分所包含的信息能够解释青藏高原年平均气温空间场的全部特征。其中第一主成分的贡献率最高为 81.838 6%,其次是第二主成分的

贡献率为 12.824 0%。

表 1 青藏高原年平均气温差贡献率、累积方差贡献率

特征值	差值	贡献率/%	累积贡献率/%
3.2735	2.7605	81.8386	81.8386
0.5129	0.3199	12.8240	94.6626
0.1930	0.1725	4.8261	99.4887

本文对青藏高原 56 个测站逐年气温数据,进行了 EOF 分解,并计算出了前 3 个特征场向量。图 6 为青藏高原年平均气温 EOF 分解特征场空间分布。

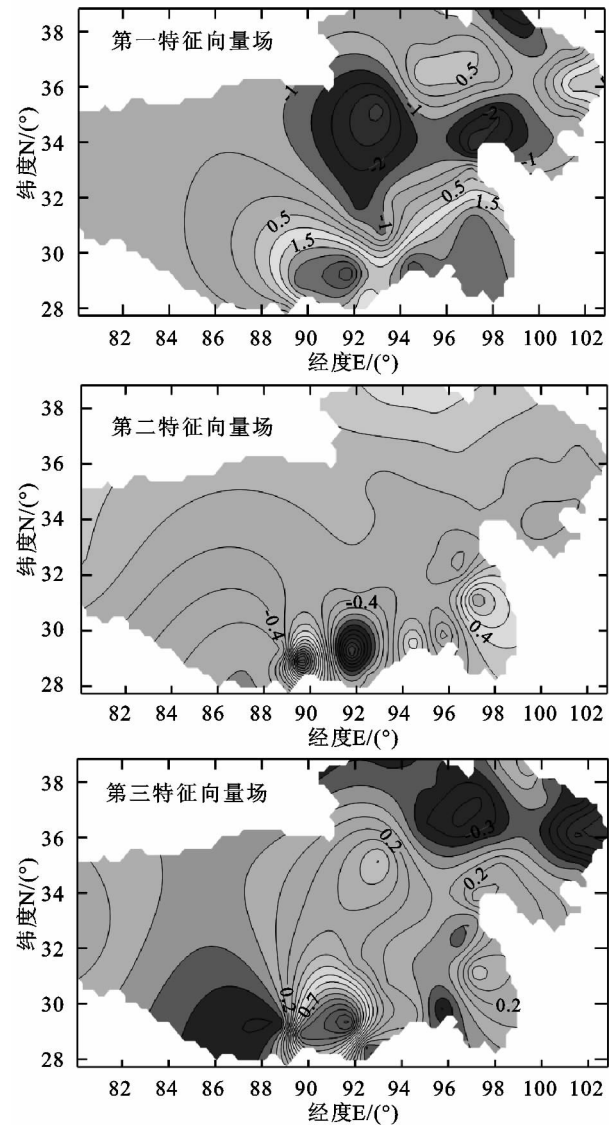


图 6 青藏高原年平均气温 EOF 分解特征场空间分布

根据第一向量特征场空间分布结果图可以看出,青藏高原年平均气温呈南—中—北型分布特征,即在南部区域年平均气温较高,北部区域年平均气温其次,中部区域年平均气温最低,在(91.8°E,29°N)位置处的青藏高原年平均气温最高,在(93°E,34.3°N)位置处的青藏高原年平均气温最低。根据第二向量特征场空间分布结果图可以看出,青藏高原年平均气温呈南—北型分布特征,即在南部区域年平均气温相

对较低,但是在南部少部分区域气温也较高,北部区域年平均气温相对较高,在(90°E,29°N)位置处的青藏高原年平均气温最高,在(92°E,29°N)位置处的青藏高原年平均气温最低。根据第三向量特征场空间分布结果图可以看出,在青藏高原南部以及中部处年平均气温相对较高,而在东北角以及北部区域年平均气温相对较低,从三特征向量场空间结果显示,青藏高原年平均气温没有明显的分布类型。在(91.8°E,29°N)位置处的青藏高原年平均气温最高,在(102°E,36°N)位置处的青藏高原年平均气温最低。

3 结论

(1) 在 1961—1993 年期间青藏高原地区年平均气温值较低,处于偏冷期,在 1994—2010 年期间青藏高原地区年平均气温值较高,青藏高原年平均气温以 0.022 8℃/a 的速率递增,且 1996 年为青藏高原年平均气温开始突变的年份。青藏高原南部区域年平均气温较高,而在中部区域年平均气温较低。

(2) 青藏高原年平均气温存在显著的季节变化特征,且 4 个季节下的年平均气温均呈递增的变化趋势,其中春季年平均气温以 0.024 6℃/a 的速率递增,夏季年平均气温以 0.024 0℃/a 的速率递增,秋季年平均气温以 0.022 4℃/a 的速率递增,冬季年平均气温以 0.034 6℃/a 的速率递增。

(3) 通过对青藏高原年平均气温 EOF 分解分析得出,根据第一特征场显示出青藏高原年平均气温呈南—中—北型分布特征,第二特征场显示出青藏高原年平均气温呈南—北型分布特征,第三特征场显示出青藏高原年平均气温没有明显的分布类型。

参考文献:

[1] 丁一汇,张锦,徐影,等.气候系统的演变及其预测[M].北京:气象出版社,2003.

[2] 工吴国雄,张永生.青藏高原的热力和机械强迫作用及亚洲季风的爆发:爆发地点[J].大气科学,1998,22(6):825-838.

[3] 吴国雄,张永生.青藏高原的热力和机械强迫作用及亚洲季风的爆发:爆发时间[J].大气科学,1999,23(1):51-61.

[4] 张永生,吴国雄.关于亚洲夏季风爆发季节突变的物理机制的诊断分析:青藏高原及邻近地区地表感热加热的作用[J].气象学报,1999,57(1):56-73.

[5] 戴加洗.青藏高原气候[M].北京:气象出版社,1990.

[6] 冯松,汤急苍,王冬梅.青藏高原是我国气候变化的启动区的新证据[J].科学通报,1998,43(6):633-63.

[7] 刘晓东.高原隆升对亚洲季风形成和全球气候与环境变化的影响[J].高原气象,1999,18(3):321-331.

- [3] 刘征,赵旭阳,米林迪. 基于 3S 技术的河北省山区植被净初级生产力估算及空间格局研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(4): 143-147.
- [4] 彭少麟,郭志华,王伯荪. RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 52-64.
- [5] 朴世龙,方精云,郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603-608.
- [6] 毛德华. 定量评价人类活动对东北地区沼泽湿地植被 NPP 的影响[D]. 北京:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
- [7] 王新闯,王世东,张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2797-2805.
- [8] 穆少杰,李建龙,周伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [9] 周爱萍,向悟生,姚月锋,等. 广西植被净初级生产力(NPP)时空演变及主要影响因素分析[J]. 广西植物, 2014, 34(5): 008.
- [10] 潘学平. 呼伦贝尔草原植被覆盖度与地上生物量时空格局研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2015.
- [11] 李登科,范建忠,王娟. 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2776-2782.
- [12] 国志兴,王宗明,张柏,等. 2000—2006 年东北地区植被 NPP 的时空特征及影响因素分析[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1226-1235.
- [13] 邹继峰,徐永民,刘伟杰,等. 呼伦贝尔沙地现状及变化分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2011, 34(6): 35-38.
- [14] 刘晶,白殿奎,宋卫士,等. 呼伦贝尔沙地治理的对策与建议[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(9): 33-34.
- [15] 高军靖. 呼伦贝尔草原生态安全评价研究[D]. 北京:中国环境科学研究院, 2013.
- [16] 王强,张廷斌,易桂花,等. 横断山区 2004—2014 年植被 NPP 时空变化及其驱动因子分析[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 1-13.
- [17] 孙庆龄,冯险峰,肖潇. 武陵山区植被净第一性生产力的时空格局及其与地形因子的关系[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 915-924.
- [18] 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(8): 1001-1007.
- [19] 国务院. 国务院关于进一步做好退耕还林还草试点工作的若干意见[J]. 湖北政报, 2000(10): 13-15.
- [20] 张宝珠,金维林,葛士林,等. 呼伦贝尔沙地治理布局及治理模式[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 005.

(上接第 266 页)

- [8] 赵昕奕,林振耀. 青藏高原地区 50 年代至 90 年代初期气温降水变化特征研究[C]// 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊, 1996.
- [9] 罗燕,田永丽,戴敏,等. 云南近 50 年极端气温及降水事件变化特征与区域气候变暖的关系[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(6): 870-877.
- [10] 王遵娅. 近 50 年中国气候变化性的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [11] Hansen J, Lebedeff S. Global surface air temperatures: Update through 1987 [J]. Geophysical Research Letters, 1988, 15(4): 323-326.
- [12] Vinnikov K Y, Groisman P Y, Lugina K M. Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation) [J]. Journal of Climate, 1990, 3(6): 662-677.
- [13] 阮能,游庆龙,陈脩昉,等. ECC 方法在中国夏季气温预测研究中的应用[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(2): 221-235.
- [14] 姚慧茹,李栋梁. 1971—2012 年青藏高原春季风速的年际变化及对气候变暖的响应[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 60-75.
- [15] 廖要明,王凌,王遵娅,等. 2015 年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J]. 气象, 2016, 42(4): 472-480.
- [16] 卢杰,赵艺. 近 40 年重庆夏季气温变化的特征分析[J]. 青海气象, 2016(1): 44-48.
- [17] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 718-727.
- [18] 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, 2006, 2(1): 3-8.
- [19] 卢杰,赵艺. 近 40 年重庆夏季气温变化的特征分析[J]. 青海气象, 2016(1): 44-48.
- [20] 李斐斐,姚素香. 基于 EOF 分析的江苏省沿江 7 市梅雨量变化特征[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(2): 250-258.