

DOI: 10.5846/stxb201806211352

张威, 纪然. 辽宁省地表温度时空变化及影响因素分析. 生态学报, 2019, 39(18): - .

Zhang W, Ji R. Analysis of spatio-temporal variation and factors influencing surface temperature in Liaoning Province. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18): - .

辽宁省地表温度时空变化及影响因素分析

张 威, 纪 然

辽宁师范大学, 大连 116029

摘要:地温是评价气候变化的重要指标,对土壤的成分、结构以及形成和演化都具有很大影响。分析地温自身的时空变化规律以及与气候间的相互关系,对深入了解地气间相互作用的机理、明确气候变化的响应规律、预测未来地温的发展趋势等方面具有重要的科学意义。辽宁省位于内蒙古高原向渤海湾的过渡地带,地形地势复杂,此外辽宁省又处在季节性冻土区,地温的变化机制更具复杂性。本文利用辽宁省 24 个气象站点 1960—2016 年 0cm 地温(地表温度)数据和各气象要素(气温、日照时数、风速、降水量)数据资料,采用气候倾向率法、Mann-Kendall 突变分析、小波周期分析等方法,系统的分析辽宁省地表温度的时空变化特征以及与气候要素间的关系。结果表明:辽宁省地表温度年际变化随时间向暖趋势发展,气候倾向率达 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,不同年代际存在不同的变化趋势,其中 20 世纪 60—80 年代低于多年平均地表温度,90 年代至 21 世纪 10 年代高于多年平均地表温度,此外冬季地表温度增温幅度最大;突变分析显示在 1995 年发生突变,经检验其升高趋势显著;经周期分析显示辽宁省年地表温度具有 30—46a 和 19—25a 的两种时间尺度的周期变化;年地表温度呈西南向东北逐渐降低分布特征。相关分析表明,地表温度与气温的相关性最大,并且其大小在整个区域内呈西高东低的分布特点;在与降水的关系中,降水量高的年份地表温度均比较低,夏季受降水和日照时数的影响最显著,地表温度与风速均呈负相关,但夏季相关性较小,考虑夏季地表温度主要是受气温、日照和降水共同的作用,弱化了风速对地表温度的影响。

关键词:辽宁省; 地表温度; 时空变化特征; 影响因素

Analysis of spatio-temporal variation and factors influencing surface temperature in Liaoning Province

ZHANG Wei, JI Ran

Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: Ground temperature is an important indicator for evaluating climate change and has a great impact on soil composition, structure, formation and evolution. It is of great scientific significance to analyze the temporal and spatial variation in geothermal temperature and its relationship with climate, to understand the mechanism of interaction between Geo Atmosphere and atmosphere, to clarify the response to climate change, and to predict the development trend of future geothermal temperature. Liaoning Province is located in the transition zone from the Inner Mongolia Plateau to Bohai Bay. The topography in this region is complicated. In addition, Liaoning Province is located in a seasonal permafrost, and the mechanism of ground temperature change is more complicated. This paper adopted 0cm ground temperature (surface temperature) data and various meteorological (temperature, sunshine hours, wind speed, precipitation) data from 24 meteorological stations in Liaoning Province from 1960 to 2016. The climate inclination rate, Mann-Kendall mutation analysis, and wavelet period analysis are used to systematically analyze the temporal and spatial variation characteristics of surface temperature in Liaoning Province and their relationship with climate elements. The results indicated that interannual

基金项目:国家自然科学基金项目(41671005;41271093)

收稿日期:2018-06-21; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiranln@163.com

variation in surface temperature of Liaoning Province get a warming trend from time to time, and the climate tendency rate reaches $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$. There are different trends in different ages, the average surface temperature in the 1960s—1980s, and from the 1990s to the 2010s was higher than the average surface temperature for many years, and in addition, the surface temperature in winter was the highest. Mutational analysis showed a mutation in 1995, which showed a significant increase in the trend. The periodic analysis shows that the annual surface temperature of Liaoning Province showed periodic changes over two time scales 30—46a and 19—25a. The annual surface temperature gradually decreases from the southwest to northeast. Correlation analysis shows that the correlation between surface temperature and temperature was the highest; the magnitude of the correlation showed a character that the western region is higher than eastern region. and was characterized by the distribution of high west and low east throughout the region. In terms of the relationship with precipitation, the surface temperature in the years with high precipitation was relatively low, and that in the summer was most affected by precipitation and sunshine hours. The surface temperature and wind speed are negatively correlated, but the correlation in summer was smaller than that in the winter, the impact of wind speed on surface temperature is weakened by all the effects of temperature, sunshine, and precipitation.

Key Words: Liaoning Province; surface temperature; characteristics of spatio-temporal changes; influencing factors

地温是指地表温度和地表以下不同深度的土壤温度的总称,是气候变化的重要评价指标^[1]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告内容指出,1880—2012年间全球地表平均温度增加约 0.85°C ^[2]。在气候的形成及演化的过程中下垫面扮演着重要的角色,伴随人类社会经济的发展,对土地使用的需求不断增加,改变了下垫面原有的状态,从而对气候造成了很大的影响^[3]。地温的变化会直接影响下垫面的反射率以及土壤的湿度和热量,从而对气候变化造成影响,同时地温也是重要的农业气象参数,土壤的水盐运动以及肥力的改变均会受到地温的影响,并且土壤中的一些物理、化学及生物过程也离不开适宜的地温,与种子的萌发、生长以及水分养分的吸收和运输都有密不可分的关系^[4-6]。气温与地温通过陆气作用相互联系,因此气候变化必然会导致地温的变化。气候变暖会使土地利用模式及覆盖状况发生改变,影响水循环系统,甚至对生物多样性造成不可逆的破坏,从而对全球生物化学循环系统造成影响^[7]。另外,地温升高会促使土壤贫瘠化,对森林植被生长造成影响^[8],对冻土区道路及建筑设施等造成不同程度的破坏,加速全球升温的趋势,使温室效应越来越严重^[9]。因此全面了解气候变化背景下地温的变化对农业生产、生态环境以及城市建设都具有重要意义。

在全球变暖的发展趋势下,不同领域专家学者对地温变化的关注不断增加,王佳林等采用相关分析、M-K非参数检验等方法对中国0cm地温的变化特征进行了分析,指出中国大部分地区0cm地温都表现为升温趋势,且北方地区较南方升温更加明显^[10]。任国玉等采用计算区域平均气候时间序列的方法对中国地面气温变化进行分析,得出从区域上看,中国大陆地区最明显的增温发生在北方和青藏高原地区^[11]。杨明等研究中国西部地区地温及气温变化规律,发现地温变化较气温变化更加剧烈^[12]。姜晓和魏东平利用气候倾向率和小波分析方法分析北京地区的气候变化,发现该地区的浅层地温和气温均有所增加,浅层地温和气温同时存在约10a和15a多重周期变化特征^[13]。杜军等采用气候倾向率、累积距平、信噪比等气候统计方法对拉萨浅层地温进行研究,指出浅层各季节平均地温均呈显著的升高趋势,其中春季最大,夏季最小^[14]。周刊社等采用气候倾向率法、M-K检验等方法分析地气温差的变化趋势,指出浅层地温均呈显著上升趋势,其中藏西部和藏中部比藏东部增温显著,预估至21世纪末,地温增温幅度相当于南移近1个纬度^[15]。张焕平等采用气候统计诊断分析方法,对青海地温进行研究得出5—20cm土层地温呈上升趋势,并且夏季增幅最大,地温和气温呈明显的正相关^[16]。此外研究学者还发现,虽然土壤的热量主要来源于太阳辐射,气温变化是影响地温变化的直接原因,但是地温还受到诸多其他因素的影响,比如地形因素、土壤自身性质、气候环境等,它们对地温的影响虽然不显著但却是不可忽略的一部分^[17-21]。针对辽宁省地温的研究,如陈鹏狮等对辽宁地温变

化规律进行分析得出 0cm 地温与气温均呈增温趋势的结论,其中地温增温速率高于气温,且冬季升温速率最为明显,夏季升温速率最慢^[22]。周斌等研究了辽宁省春季表层地温变化及其与气温的关系,指出随土壤深度的增加,地温与气温的差值逐渐降低^[23]。隋景跃等对辽宁西部地区浅层地温进行分析,指出各个层次地温变化均具有升高趋势,但 0cm 温度倾向率最大^[24]。以上研究主要集中在地表温度分布及变化特征的研究上,与其他气候要素之间的关系涉及较少,辽宁省既是主要的粮食产地又是老工业发展基地,区内存在多种不同的气候类型,通过对地表温度变化的研究,将会为辽宁以及全国地区的地表温度和气候变化研究提供有价值的信息,同时对合理开发利用气候资源,调整农作物种植结构合理安排农业生产布局具有参考价值。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文所用的气象数据均来自中国气象数据科学共享服务网(<http://data.cma.cn>),其中地表温度采用辽宁省 24 个气象站点 1960—2016 年逐日气象数据,平均温度、日照时数、降水量和风速为辽宁省 24 个气象站点 1960—2016 年月值数据,选取的 24 个气象站分别为彰武、阜新、开原、清原、朝阳、建平县、新民、黑山、锦州、鞍山、沈阳、抚顺、本溪、桓仁、绥中、兴城、营口、熊岳、岫岩、宽甸、丹东、瓦房店、庄河、大连(图 1),这 24 个气象站的气象数据比较完整,并且均匀的分布在研究区域内,可以较好的代表研究区整体的地表温度及气象要素的变化特征。

对辽宁省 24 个站点 1960—2016 年各气象资料进行处理,得到月平均值及年均值,将地表温度及其他四项气象要素按照春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—2 月)的标准,得到辽宁省各气象要素 1960—2016 年季节平均值

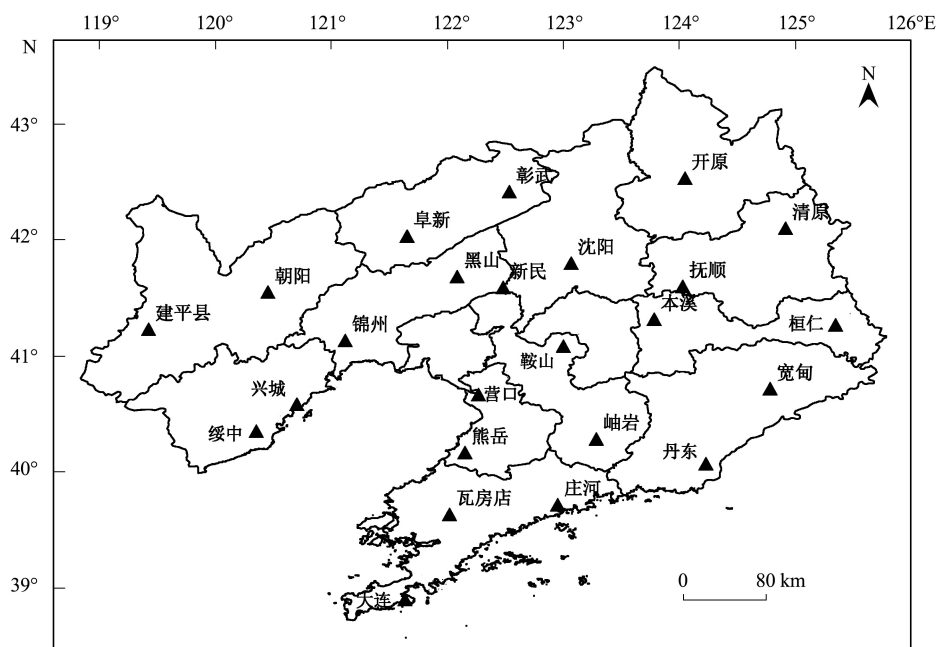


图 1 本文所选辽宁省各气象站点分布图

Fig.1 Distribution map of various meteorological stations in Liaoning Province selected in this paper

1.2 研究方法

1.2.1 分布函数

假设 X 为一组随机变量, x 为任意实数,那么函数 $F(x) = P\{X \leq x\}$, $-\infty < x < \infty$ 称为 X 的分布函数,记为 $X - F(x)$ 。

对任意实数 $x_1, x_2 (x_1 < x_2)$,

$$P\{x_1 < X \leq x_2\} = P\{X \leq x_2\} - P\{X \leq x_1\} = F(x_2) - F(x_1) \quad (1)$$

由此,已知 X 的分布函数,那么就可以知道 X 落在区间 $(x_1, x_2]$ 上的概率,因此可以说分布函数完整的展现出随机变量的规律性。如果将 X 看成是数轴上的随机点的坐标,那么,分布函数 $F(x)$ 在 x 处的函数值就表示 X 落在区间 $(-\infty, x]$ 上的概率。

1.2.2 气候倾向率

气候倾向率^[25]可以用来显示气候要素随时间的变化趋势,本文利用气候倾向率展现辽宁省地表温度的变化特点,建立时间序列 t 与气象要素 x 之间的一元线性回归方程:

$$X_i = a + bt_i \quad (2)$$

其中, t 为时间序列(1960—2016), b 为线性趋势项,将 $b \times 10$ 得到的数值称为气象要素的气候倾向率(/10a)。

1.2.3 Mann-Kendall 突变检验

对于含有 n 个样本的时间序列 x ,构造一秩序数列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k a_{ij} \quad (k=2,3,4,\dots,n) \quad (3)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (1 \leq j \leq i) \quad (4)$$

$$\text{定义统计变量: } UF = \frac{S_k - E(S_k)}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k=2,3,4,\dots,n) \quad (5)$$

$$\begin{cases} E(S_k) = k(k-1)/4 \\ \text{Var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \end{cases} \quad (6)$$

$UF=0$,当 k 增加时, UF 很快收敛于标准正态分布,在给定显著性水平 α 下,于正态分布表中查出临界值 $U_{\alpha/2}$,当 $U_{\alpha/2} < |UF|$,说明序列具有显著的变化趋势。将时间序列 x_i 逆序排列,同时使 $UB = -UF$,经过分析序列 UF 和 UB ,即可得到变化趋势,突变时间以及突变区域。如果 $UF \geq 0$,则序列为上升的趋势,反之则为下降的趋势;超过临界直线,说明变化趋势是十分显著的。若 UF 和 UB 相交,且交点在临界直线间,则交点时刻即为突变时刻^[26]。

1.2.4 小波分析

对于地表温度的变化时间序列,由于其受到自然因素的影响呈现出复杂的、非线性且多时间尺度的变化特征,正交或离散小波变换不能够准确的对信号进行分析。而复小波变换相对于实小波变换,不仅能显示时间序列变化的振幅,而且能够给出时间序列变化的位相,使对信号的分析更加深入。此外,复小波变换可以避免由于虚假震荡而产生的误差,提高结果的准确性。因此,本文选用连续 Morlet 复小波变换对地表温度的多时间尺度特征进行分析^[27-32]。

小波函数是小波分析的重点,它是指具有震荡性并且可以迅速衰减到零的一类函数,即小波函数 $\psi(t) \in L^2(R)$ 且满足:

$$\int \Psi(t) dt = 0 \quad (7)$$

式中, $\psi(t)$ 为基小波函数,进行小波变换得:

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (8)$$

式中, $W_f(a,b)$ 为小波变换系数; $f(t)$ 为一个信号或平方可积函数; a 为伸缩尺度; b 平移参数; $\bar{\psi}\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 为

$\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ 的复共轭函数。在地学中,大多数的时间序列数据都属于离散型,设函数 $f(t) = f(k\Delta t)$ ($k = 1, 2, \dots, N; \Delta t$ 为取样间隔),对式(8)的离散小波进行变换得:

$$W_f(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \Delta t \sum_{k=1}^N f(k\Delta t) \bar{\psi}\left(\frac{k\Delta t - b}{a}\right) \quad (9)$$

将由小波变换方程得到的不同时间尺度的所有小波系数在 b 域上积分,就可得到小波方差,即

$$\text{Var}(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |W_f(a, b)|^2 db \quad (10)$$

小波方差图即显示了小波方差随尺度 a 的变化过程。由式(10)可知,它可以体现出信号波动的能量随尺度 a 的分布。因此,小波方差图可检验出信号中主要时间尺度,即主周期。

2 结果分析

2.1 辽宁省地表温度的时间变化特征

2.1.1 年代际变化特征分析

距平是指一组数值中某一数值与平均值的差,通过地表温度年代的距平统计值可以反映其年代际的变化特征(表1)。辽宁省近 57 年来年及四季地表温度的年代变化具有很大的差异。其中,地表温度在 20 世纪的 60、70、80 年代均为负距平,低于全省多年平均地表温度。从 20 世纪 90 年代至 2016 年各年代地表温度都为正距平,高于全省多年平均地表温度;各季节地表温度在不同年代变化中与年地表温度变化略有不同。从 20 世纪 60 年代到 80 年代,春季、夏季及秋季与年地表温度的变化一致,都表现为先降低后升高,但冬季地表温度则相反,表现为先升高后降低。随后至 21 世纪 10 年代,除 10 年代春季的地表温度明显降低,其余三个季节地表温度均呈上升状态,致使 10 年代与上一年代在年平均地表温度上保持不变。

表 1 辽宁省各年代际年及各季节地表温度距平平均值/℃

Table 1 Surface temperature anomaly of each decadal of year and season in Liaoning Province

年代际 Age	年 Year	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
1960—1969	-0.64	-0.50	-0.23	-0.37	-1.47
1970—1979	-0.65	-0.87	-0.61	-0.54	-0.59
1980—1989	-0.35	-0.11	-0.07	-0.44	-0.78
1990—1999	0.31	0.37	0.07	0.06	0.72
2000—2009	0.79	1.09	0.45	0.62	1.00
2010—2016	0.79	0.02	0.57	0.95	1.61

为了进一步分析辽宁省地表温度的年代际变化特征,应用分布函数对年代际地表温度进行研究,结果如图 2。年地表温度总体表现为升高的趋势,但在 20 世纪 60 年代至 80 年代阶段,所占比例最大的地表温度值(以下称“地表温度最大值”)基本没有移动,自 90 年代开始向正方向移动。春季地表温度最大值一直在变动,20 世纪 60 年到至 21 世纪 00 年代地表温度最大值由 9.8℃ 增加到 13℃,2010—2016 年间地表温度最大值向负方向移动,降低至 11℃,且最大值所占比例较低,表明此期间春季地表温度向寒冷的趋势发展;夏季地表温度变化幅度相对较小,并且在 21 世纪前地表温度最大值基本在 26℃ 左右保持稳定,进入 21 世纪开始向正方向移动;秋季地表温度最大值在 20 世纪 60、70、80 年代变化幅度不大,从 90 年代开始升高;冬季地表温度变化明显,地表温度最大值变化幅度较大,总体趋势为随时间向正方向移动,表明冬季地表温度呈不断升高的趋势,此结论与陈鹏狮等对辽宁省地温变化规律的研究结果基本一致^[22]。

2.1.2 年际变化特征分析

图 3 给出了辽宁省 1960—2016 年、季节地表温度随时间的变化趋势图,可以看出辽宁省地表温度总体呈

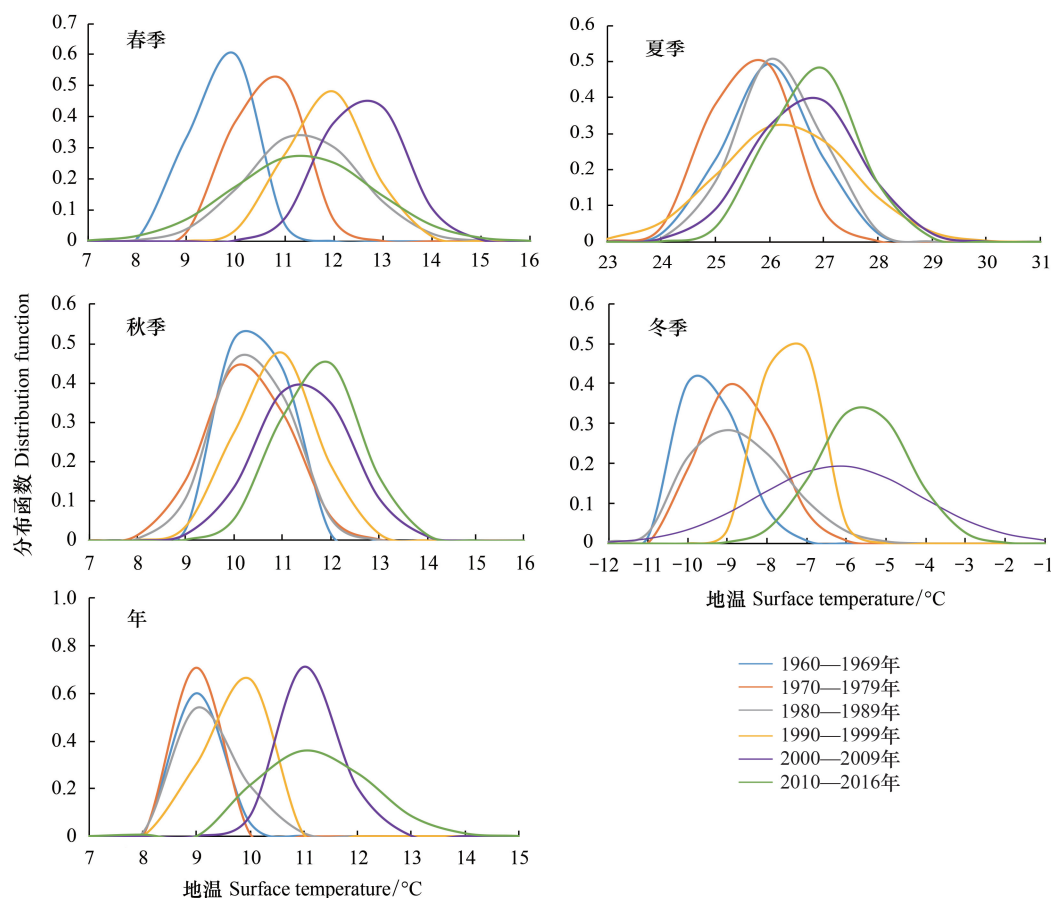


图2 辽宁省1960—2016年地表温度年和季节分布函数图

Fig.2 Annual and seasonal distribution of land surface temperature in Liaoning Province from 1960 to 2016

波动上升趋势,年际气候倾向率达到了 $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,与全球变暖的大背景相符。在整体上升的趋势下存在三次短暂的下降阶段,分别发生在1960—1970年间、1980年和2006年;四季地表温度也均呈上升的趋势,相比之下冬季回归趋势最为显著,上升幅度最高,夏季上升幅度最低。

2.1.3 地表温度突变分析

为分析辽宁省1960—2016年间地表温度的变化规律,应用Mann-Kendall检验方法,在0.05的显著性水平下(95%置信度检验线)检验辽宁省地表温度的突变特征,结果如图4,辽宁省年地表温度整体呈先降低后升高的变化趋势,1960—1970年间地表温度特征曲线 UF 呈波动下降,随后开始快速上升,在1995年发生突变。四季地表温度均呈先降低后升高的变化趋势,其中冬春两季发生的突变时间早于秋夏两季。

2.1.4 地表温度周期分析

为分析辽宁省1960—2016年间地表温度的周期变化情况,本研究采用Morlet复小波变换对辽宁省地表温度进行多时间尺度分析,如图5所示,春季地表温度具有30—50a和18—25a两种尺度的周期震荡,小波方差图(图6显示),辽宁省地表温度年际变化存在两个峰值,对应两个周期变化,第一个是38a尺度的主周期,第二个是22年尺度的次周期。夏季地表温度存在29—48a和18—26a两种尺度的周期震荡,秋季与春季相似,具有两种同样尺度的周期变化。冬季地表温度的周期变化情况较其他季节复杂,主要存在三个尺度的变化周期,分别为30—48a、14—25a和10—18a,其中14—25a尺度的周期震荡主要表现在20世纪70年代后,10—18a尺度的周期震荡发生在90年代后,均表现为“高—低”的两次准交替变换。通过小波方差图显示37a为第一主周期,22a和16a为地表温度变化的第二主周期和第三主周期。年地表温度周期变化具有两种尺度,分别为30—46a和19—25a,年地表温度周期变化过程为“高—低—高”,且现今处于较高的地温水平,小波方

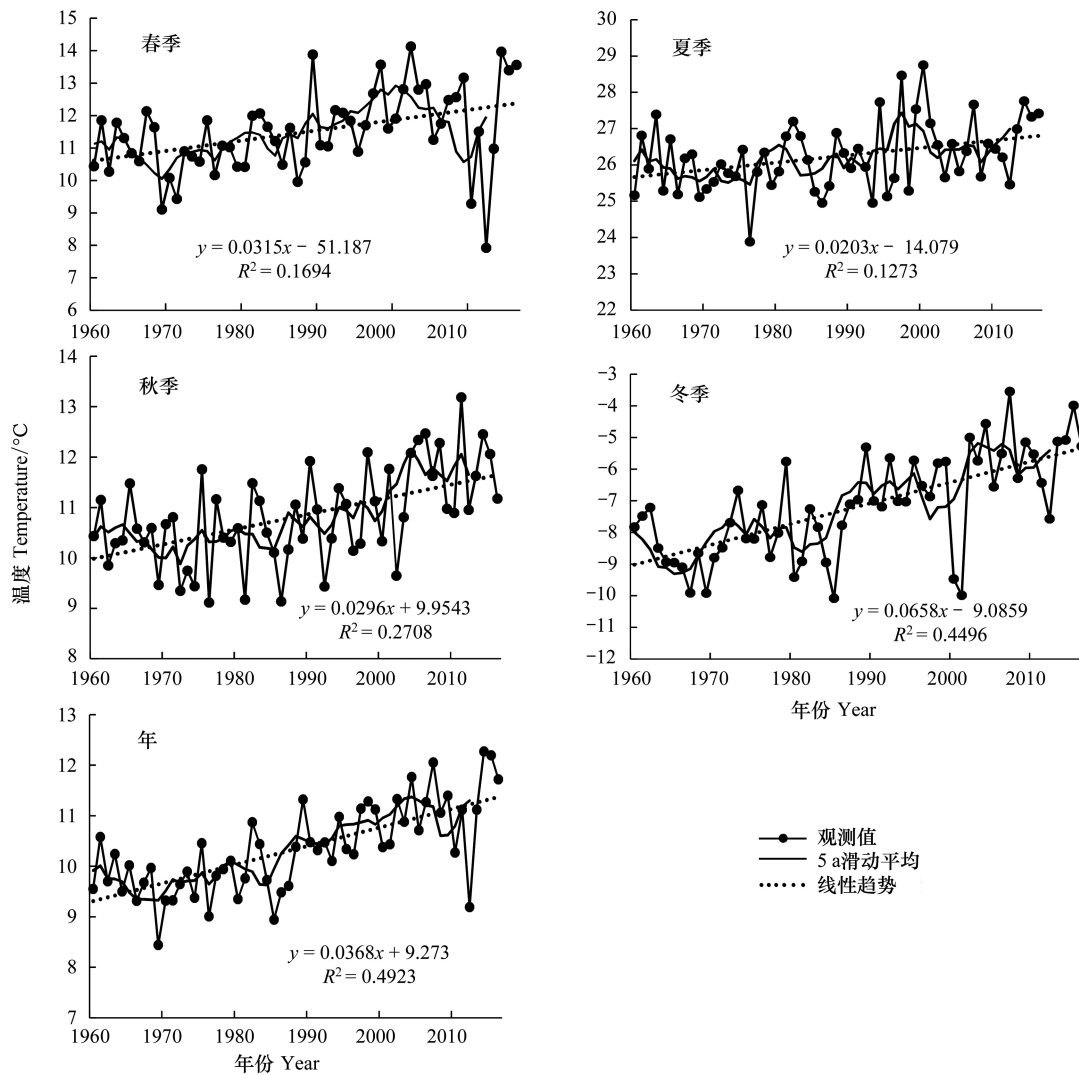


图3 辽宁省1960—2016年地表温度年、季节年际变化

Fig.3 Annual and seasonal changes in surface temperature during the period from 1960 to 2016 in Liaoning Province

差图显示,年地表温度具有38a的主周期和22a的次周期。

2.2 辽宁省地表温度的空间分布特征

利用 ArcGIS 软件将辽宁省 24 个站点近 57 年地表温度进行插值(图 7)。地表温度由西南向东北逐渐降低,沿海地区地表温度高于内陆地区,整个区域的年地表温最大值出现在辽东半岛的大连地区,多年平均地表温度达 13.04°C ,最小值出现在辽东地区的清源,地表温度为 7.98°C ,区域地表温度差值为 5.06°C 。

利用同样的方法绘制 1960—2016 年地表温度气候倾向率空间分布图。可以看出 1960—2016 年地表温度变化趋势系数均为正值,说明近 57 年各地区地表温度均为增高的趋势,增温趋势最显著的地区发生在辽东北的开原、清源一带,增温变化率达 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,向西南方向增温幅度下降,最低值出现在沿海地区的绥中、大连,最低值为 $0.26^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。综合图 6a 和 6b 辽宁省地平均表温度较高的地区气候倾向率却较低,由此可以得出,近 57 年辽宁省地表温度的温差呈现减小的变化趋势。

2.3 辽宁省地表温度与气候变化的关系

图 8 为辽宁省 1960—2016 年平均气温的空间分布图,通过对比地表温度的空间分布,发现其空间分布具有极大的相似性,说明辽宁省气温的变化对地表温度的影响是非常显著的,地表温度的变化不可避免的受到气温的直接影响,即大气与地面间的热量交换过程可以直接反应在地表温度的变化上^[33]。此外,相关系数可

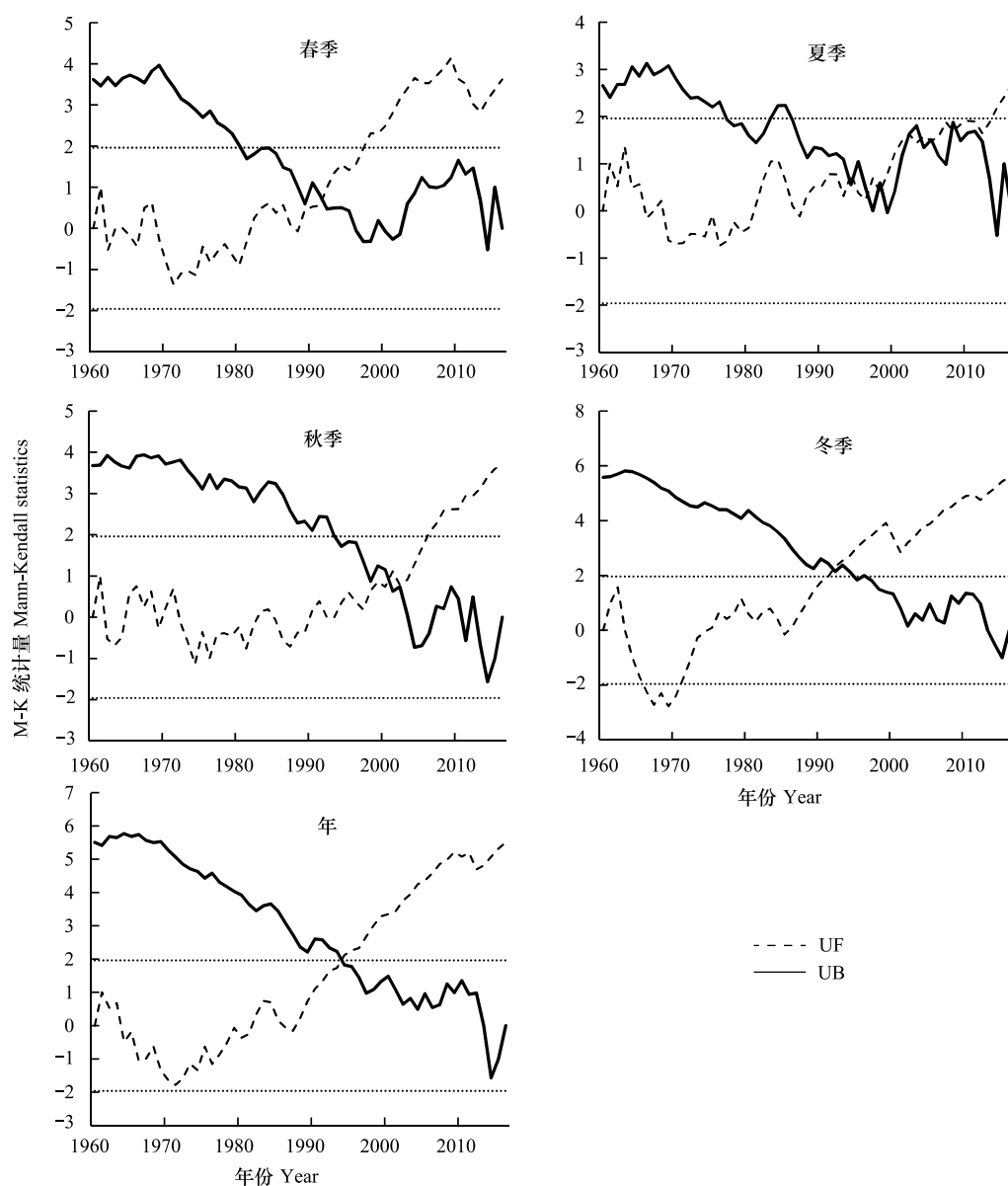


图4 辽宁省1960—2016年各季节、年地表温度M-K检验曲线

Fig.4 Mann-Kendall test curve of surface temperature for each season and year in Liaoning Province from 1960 to 2016

以不同程度上体现两者间的相互关系,在研究地表温度与气温的相关性的过程中发现其相关性在空间分布上也具有一定的特征,图9为辽宁省各站点地表温度与气温的相关系数分布图,从中可以看出,辽宁西部地区站点的相关性均比东部地区站点的相关性高,说明整个研究区域内西部受到气温的影响比东部更加显著。

图10为辽宁省近57年平均气温、降水量、日照时数及风速与地表温度随时间的变化趋势,平均气温整体上呈上升趋势,20世纪80年代前表现为波动下降,随后开始上升。结合前文分析内容可以发现,地表温度也具有同样的变化趋势,即地表温度与气温在时间序列的变化趋势上具有同步的性质,说明气温的时间变化对地表温度的时间变化具有很大的影响。通过对地表温度和气温的相关系数的研究可以进一步了解两者的相关程度,结果显示气温对地表温度具有显著的正向驱动,即地表温度的变化主要是由气温的变化所导致。各季的地表温度与气温也均具有相似的变化情况,其中夏季地表温度受气温影响最显著,根据已有研究结论,中国东北地区气温增幅明显,且从20世纪70年代开始,结合本文地温与气温变化趋势,辽宁省同整个东北地区的变化趋势及转折点完全相同^[34]。

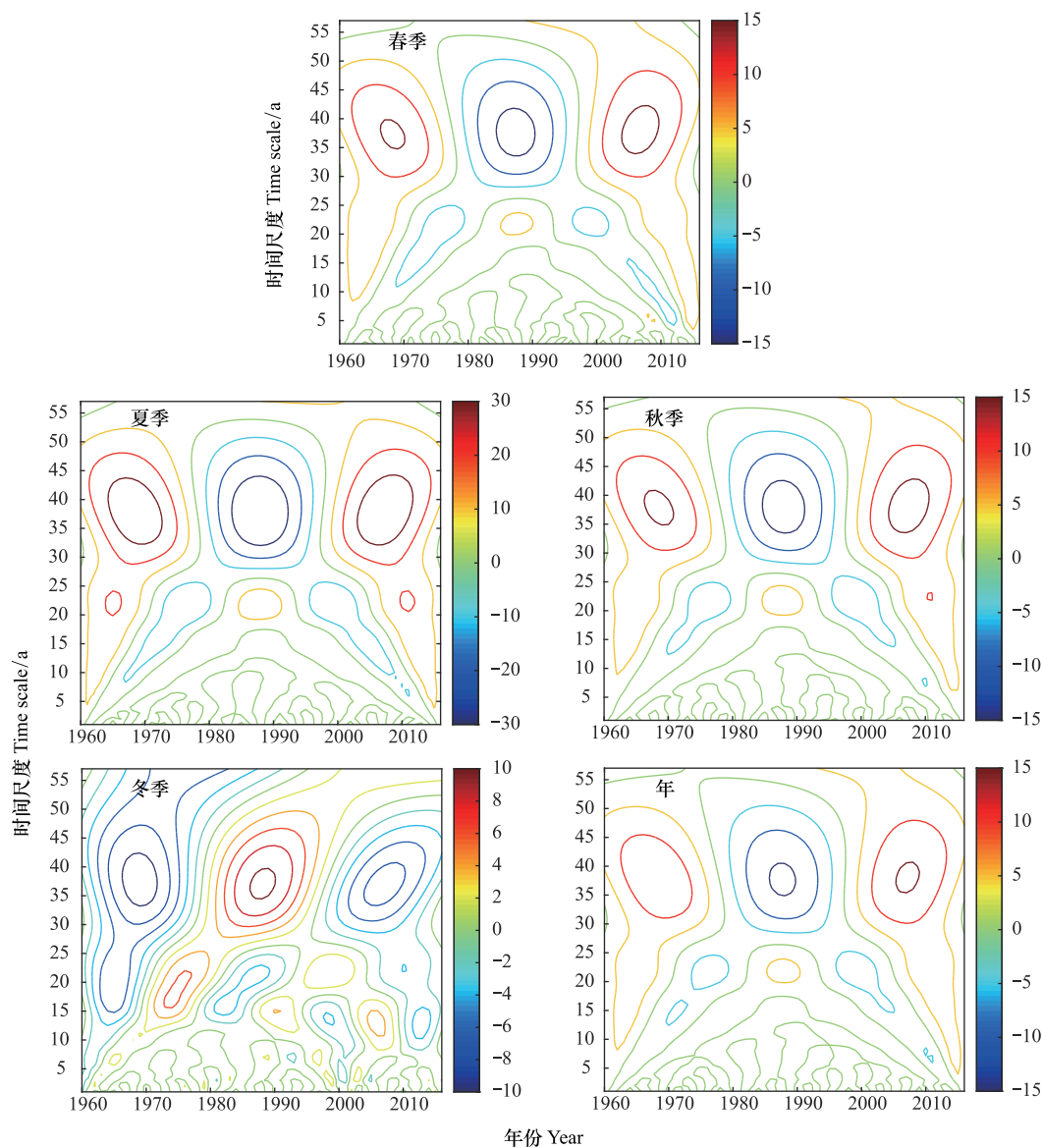


图5 辽宁省各季、年地表温度小波系数等直线图

Fig.5 Linear maps of seasonal temperature and annual wavelet coefficients of surface temperature in Liaoning Province

根据图 10b,降水量偏多的年份对应的地表温度值都比较低,通过计算辽宁省年及各季地表温度与降水的相关系数可以看出,夏季与降水的相关关系最大,其余季节并未显示出明显的相关性。夏季降水对地表温度的影响是通过土壤湿度的反馈机制实现的。

太阳辐射对地表温度的变化也存在很大的影响,间接的通过地表潜热和热能转换制约着地表温度的变化,此外,垂直方向的热能传输对地表温度也会有一定的影响^[35]。有研究表明,地表温度与降水量呈负相关,与日照时数呈正相关^[36],图 10c 显示日照时数随时间的变化趋势与地表温度的变化趋势相反,但仔细观察发现,虽然变化趋势相反,但波动过程中的变化一致,即日照时数多的年份其地表温度比较高,日照时数少的年份其地表温度比较低,这说明两者之间是存在正相关关系的。两者间相关系数显示,夏季地表温度与日照时数间的正相关关系是最为显著的;

有研究表明降水和风速对地表温度的影响表现在日极值方面,当地表温度达到最高值的时候,如果此时发生刮风天气,那么地表温度将会大幅度的快速下降^[37],如果风速降低,那么促进地表热量散失的作用就会减弱甚至消失,那么此时地表温度将会明显升高^[38]。图 10d 可以看出辽宁省近 57a 辽宁省风速发生明显的

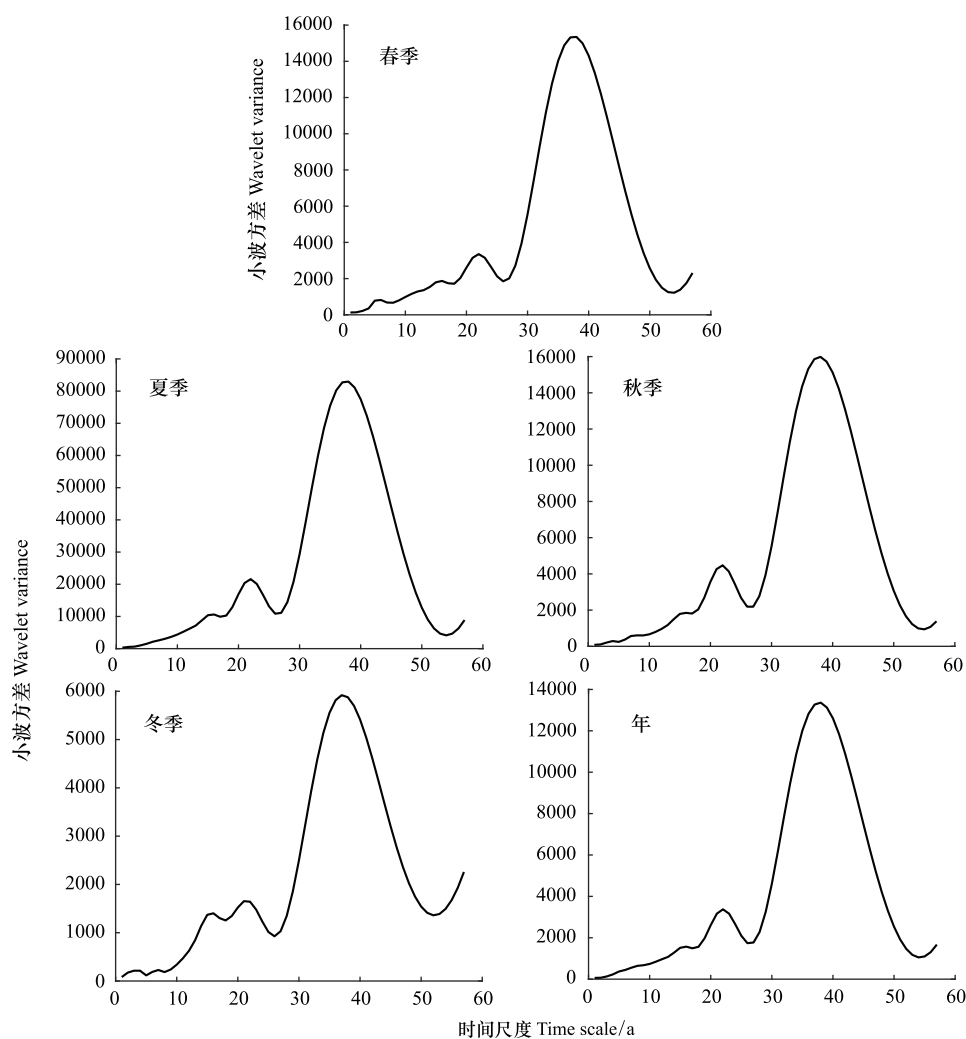


图6 辽宁省各季、年地表温度小波系方差

Fig.6 Wavelet variance of surface temperature in seasons and years in Liaoning Province

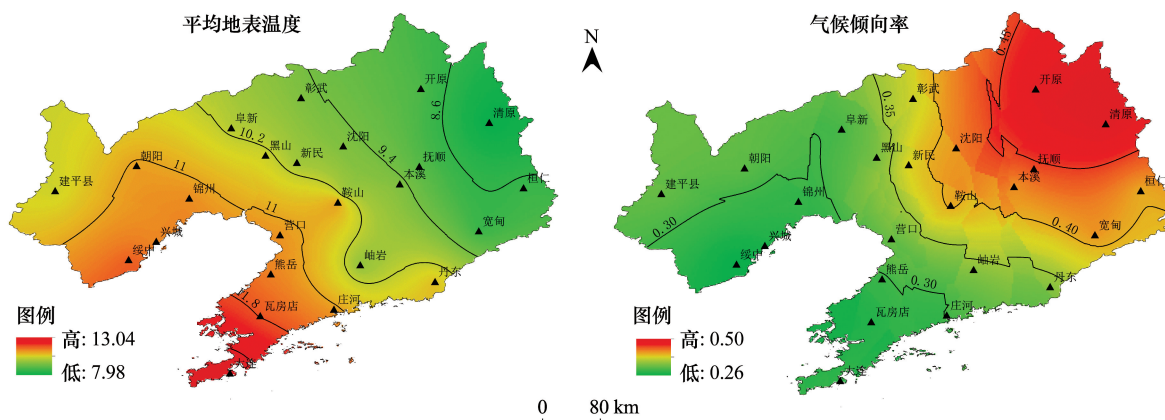


图7 辽宁省1960—2016年平均地表温度(a)与气候倾向率(b)空间分布图

Fig.7 Spatial distribution of average surface temperature in Liaoning Province from 1960 to 2016

下降,地表温度的变化趋势刚好与风速的变化趋势相反,大部分年份中风速较大的时间对应的地表温度都比较小。各季及年地表温度与风速均呈负相关关系,相对比地表温度与日照时数和降水的关系系数,风速与地

表温度的关系更加密切。此外,风速对地表温度的影响中夏季是最薄弱的,而刚好日照和降水对地表温度的影响比较显著,当风速显著减小时,地表热量散失的动力就会减小,导致地表温度升高,而夏季地表温度主要是受气温、日照和降水共同的作用,因此使风速对地表温度的影响变得不那么明显。

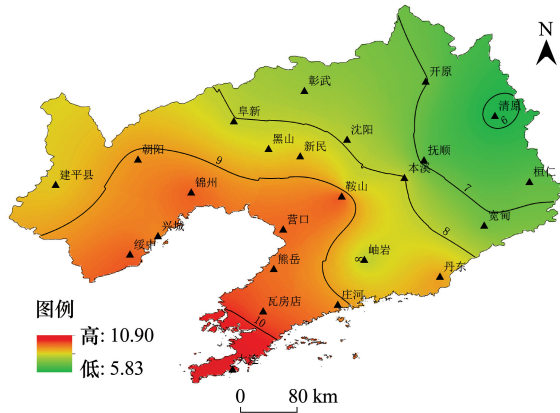


图 8 辽宁省 1960—2016 年平均气温空间分布

Fig.8 Spatial distribution of annual average temperature in Liaoning Province from 1960 to 2016

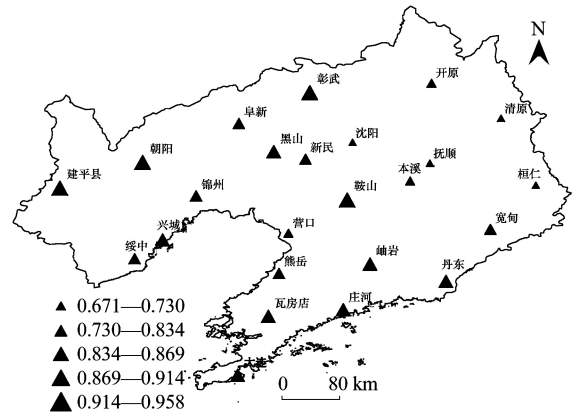


图 9 辽宁省各站点年及四季地表温度与气温的相关系数

Fig.9 Correlation coefficient between surface temperature and air temperature at each site in Liaoning Province and each season

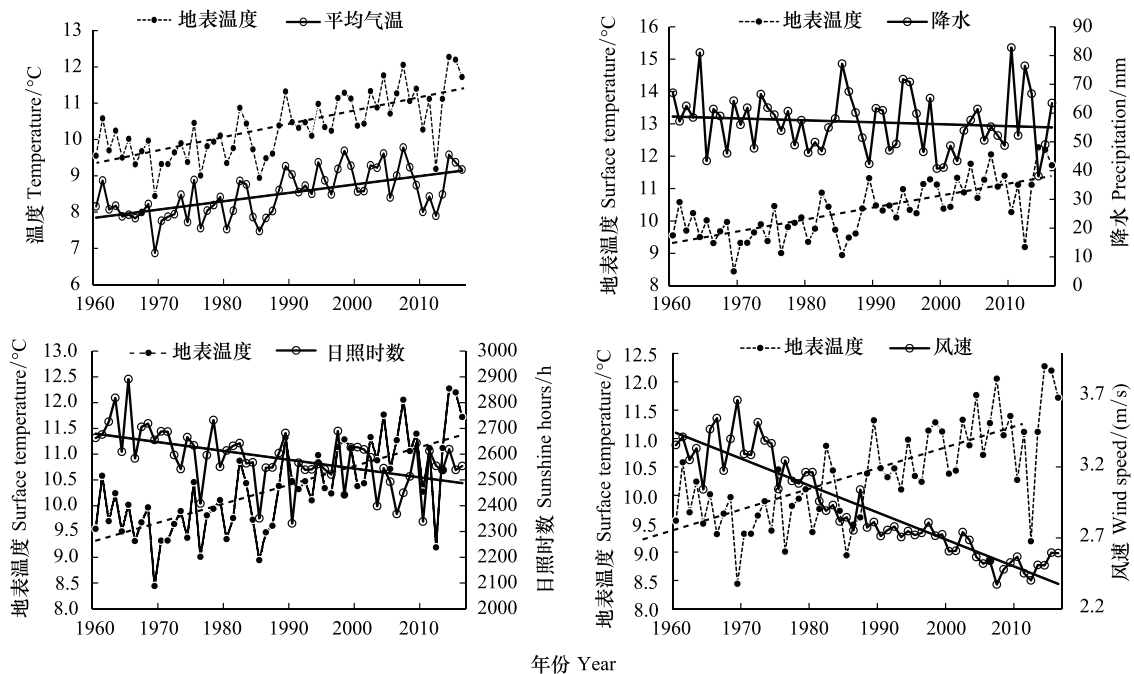


图 10 辽宁省 1960—2016 年平均气温 (a)、降水量 (b)、日照时数 (c) 及风速 (d) 与地表温度变化趋势

Fig.10 Temperature, Precipitation, Sunshine Hours, Wind Speed and Surface Temperature Trends in Liaoning Province from 1960 to 2016

2.4 辽宁省地表温度与地形地势的关系

地表温度的空间分布特征及与各气象要素的关系同样受到地形地势的影响,图 11 为辽宁省地势高程图,其整体呈自北向南,由东西向中部倾斜,平原主要分布在中部以及沿海地区,山地丘陵分布在东西两侧,但辽东地区海拔高于辽西地区。根据前文地温的空间分布特征可以看出,地温的分布与地形地势存在密切关系,即中部及沿海平原地区地表温度高于山地丘陵地区。此外,地表温度与气温相关性的分布情况同样与地形地势存在联系,通过对比图 9、11 可以看出相关系数偏低的地区多为山地丘陵区,因此地形对土壤温度的变化产

生了一定的作用,从而降低了气温对地表温度的直接影响。

表 2 辽宁省 1960—2016 年平均气温、降水量、日照时数及风速与地表温度相关系数

Table 2 The correlation coefficient between the average temperatur, precipitation, sunshine duration, wind speed and surface temperature of Liaoning Province from 1960 to 2016

	年 Year	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
平均气温 Average temperature	0.922 **	0.877 **	0.916 **	0.903 **	0.850 **
降水量 Precipitation	-0.383	0.142	-0.409 **	-0.312	0.088
日照时数 Sunshine hours	-0.159	0.02	0.517 **	-0.029	-0.241
风速 Wind speed	-0.526 **	-0.451 **	-0.174	-0.556 **	-0.465 **

* * 表示通过 0.01 显著性检验(双尾)

3 结论

伴随全球气候变暖的发展趋势,地表温度也定将会受到影响,而地表温度的改变影响着农业、工程以及气候间的循环过程,从而对我们人类的生产、生活都会产生巨大的影响。本文利用辽宁省 24 个气象站 1960—2016 年地表温度月平均数据,分析辽宁省地表温度的时空变化特征,以及可能对地表温度变化产生影响的气象要素间的关系,主要结论如下:

(1) 辽宁省地表温度在不同年代际存在不同的变化趋势,其中 20 世纪 60—80 年代低于多年平均地表温度,90 年代至 21 世纪 10 年代高于多年平均地表温度;年际变化随时间向暖趋势发展,气候倾向率达 0.36℃/10a,其中冬季地表温度增温幅度最大;辽宁省年地表温度在 1995 年发生突变,经检验表明其升高趋势显著;辽宁省年地表温度具有 30—46a 和 19—25a 的两种时间尺度的周期变化。

(2) 辽宁省年地表温度呈自西南向东北逐渐降低的分布特征。随时间发展,地表温度的温差呈现减小的变化趋势。

(3) 地表温度与气温的相关性大小在整个区域内呈西高东低的分布特点,即辽宁省西部地区地表温度与气温的关系比东部地区更加紧密;在与降水的关系中,降水量高的年份地表温度均比较低,夏季与降水的相关关系最大,其余季节并未显示出明显的相关关系;年及各季地表温度与日照时数均呈相反的变化趋势,夏季地表温度与日照时数间的正相关关系是最为显著的;年及各季地表温度与风速均呈负相关,其中只有夏季相关性很小,考虑夏季地表温度主要是受气温、日照和降水共同的作用,弱化了风速对地表温度的影响。

参考文献(References):

[1] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2007: 85.

[2] IPCC. Summary for Policy Makers of the Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[3] Zhang H Q, Gao X J, Li Y H. Climate impacts of land-use change in China and its uncertainty in a global model simulation. Climate Dynamics, 2009, 32(4): 473-494.

[4] 陆晓波, 徐海明, 孙丞虎, 何金海. 中国近 50a 地温的变化特征. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 706-712.

[5] 阿布都克日木·阿巴司. 喀什市 1961-2007 年浅层地温的变化. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(4): 22-24.

[6] 王风, 宋春雨, 韩晓增. 东北黑土区土壤温度变化特征. 黑龙江农业科学, 2006, (6): 31-33.

[7] 范泽孟, 岳天祥, 陈传法, 孙晓芳. 中国气温与降水的时空变化趋势分析. 地球信息科学学报, 2011, 13(4): 526-533.

[8] 肖辉林. 土壤温度上升与森林衰退. 热带亚热带土壤科学, 1995, 4(4): 246-249.

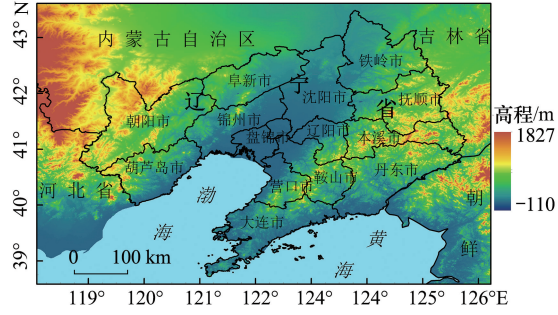


图 11 辽宁省地势高程图

Fig.11 Liaoning Province terrain elevation map

- [9] 周志田, 成升魁, 刘允芬, 李家永. 中国亚热带红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤 CO₂ 排放规律初探. 资源科学, 2002, 24(2): 83-87.
- [10] 王佳琳, 潘志华, 韩国琳, 程路, 董智强, 张婧婷, 潘宇鹰, 黄蕾, 赵慧. 1961-2010 年中国 0cm 地温变化特征及其与气温变化的关系. 资源科学, 2016, 38(9): 1733-1741.
- [11] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 郭军, 李庆祥, 刘小宁, 王颖. 近 54 年中国地面气温变化. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [12] 杨明, 李维亮, 刘煜, 徐海明. 近 50 年我国西部地区气象要素的变化特征. 应用气象学报, 2010, 21(2): 198-205.
- [13] 姜晓, 魏东平. 联合气象地温资料分析北京地区的气候变化. 科技导报, 2010, 28(7): 22-27.
- [14] 杜军, 李春, 廖健, 拉巴, 路红亚. 近 45 年拉萨浅层地温对气候变化的响应. 气象, 2007, 33(10): 61-67.
- [15] 周刊社, 罗骥翔, 杜军, 建军, 石磊. 西藏高原地温对气温变化的响应. 中国农业气象, 2015, 36(2): 129-138.
- [16] 张焕平, 张占峰, 汪青春, 金惠瑛. 近 40 年青海浅层地温的变化特征. 中国农业气象, 2013, 34(2): 146-152.
- [17] Retnakumar K, Renuka G, Rao G. Relation between pre-monsoon soil temperature and monsoon rainfall in a tropical station. Mausam, 2000, 51(4): 365-366.
- [18] 汤懋苍, 赖特 E R. 美国地温分布与后一季降水的相关分析. 高原气象, 1986, 5(4): 293-307.
- [19] 黄显蜀. 浅层地温变化与短期暴雨天气. 高原气象, 1985, 4(2): 190-192.
- [20] 董雪, 田静, 吴骅, 刘素华. 考虑土壤水分影响的比辐射率方法在地表温度反演中的应用. 资源科学, 2017, 39(8): 1592-1604.
- [21] 李放, 沈彦俊. 地表遥感蒸散发模型研究进展. 资源科学, 2014, 36(7): 1478-1488.
- [22] 陈鹏狮, 张玉书, 冯锐, 于文颖, 武晋雯, 纪瑞鹏. 50 年来辽宁省地温变化规律及播种期地温预报研究. 干旱区资源与环境, 2015, 29(6): 163-168.
- [23] 周斌, 陈鹏狮, 李晶, 林俊杰, 王婷, 张晓影. 辽宁省春季表层地温变化特征及其与气温的关系. 中国农学通报, 2014, 30(36): 275-280.
- [24] 隋景跃, 张国林, 戴海燕, 吴晓华. 近 52a 辽宁西部地区浅层地温变化特征分析. 山西农业科学, 2013, 41(8): 852-855.
- [25] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版). 北京: 气象出版社, 2007: 1-296.
- [26] 张璐, 周跃. Mann-Kendall 检验及其在河流悬沙浓度时间序列分析中的运用. 亚热带水土保持, 2007, 19(4): 13-16.
- [27] Zhang Q, Xu C Y, Chen Y D. Wavelet-based characterization of water level behaviors in the Pearl River estuary, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2010, 24(1): 81-92.
- [28] Liu D L, Liu X Z, Li B C, Zhao S W, Li X G. Multiple time scale analysis of river runoff using wavelet transform for Dagujia River Basin, Yantai, China. Chinese Geographical Science, 2009, 19(2): 158-167.
- [29] Liu D, Fu Q, Ma Y S, Sun A H. Annual precipitation series wavelet analysis of well-irrigation area in Sanjiang Pla//Proceedings of the Second IFIP International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Boston, MA: Springer, 2008: 563-572.
- [30] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法. 四川大学学报: 工程科学版, 2002, 34(6): 14-17.
- [31] 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. 高原气象, 1997, 16(1): 81-93.
- [32] 郑治真, 沈萍, 杨选辉, 万玉莉. 小波变换及其 MATLAB 工具的应用. 北京: 地震出版社, 2001: 1-166.
- [33] 李述训, 南卓铜, 赵林. 冻融作用对系统与环境间能量交换的影响. 冰川冻土, 2002, 24(2): 109-115.
- [34] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [35] Wan G N, Yang M X, Wang X J. Variations in soil temperature at BJ site on the central Tibetan Plateau. Journal of Mountain Science, 2012, 9(2): 274-285.
- [36] Bartlett M G, Chapman D S, Harris R N. A decade of ground - air temperature tracking at Emigrant Pass Observatory, Utah. Journal of Climate, 2006, 19(15): 3722-3731.
- [37] 刘万俊. 影响地温日极值的要素分析. 四川气象, 2002, 22(4): 61-62.
- [38] 宫恒瑞. 1981-2010 年乌昌地区 20 cm 蒸发皿蒸发量变化原因分析. 干旱区研究, 2013, 30(5): 815-821.