

# 1961—2010年锡林郭勒盟气温和 降水时空变化特征

佟斯琴<sup>1,3</sup>, 刘桂香<sup>2</sup>, 武娜<sup>3</sup>

(1. 东北师范大学 环境学院 自然灾害研究所, 吉林 长春 130024; 2. 中国农业科学院 草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010010; 3. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘要:** [目的] 分析内蒙古自治区锡林郭勒盟气温和降水量时空变化规律, 为草原区环境演化提供科学支撑, 同时也对气温和降水的短期预警提供依据。[方法] 利用研究区境内 15 个气象站点 1961—2010 年的逐月平均气温和月降水资料, 结合一元线性回归分析、趋势分析、MK 突变检验以及 Morlet 小波分析方法, 分析近 50 a 来锡林郭勒地区气温和降水时空变化特征及周期。[结果] 近 50 a 来锡林郭勒地区气温以 0.44 °C/10 a 的速率呈显著上升趋势, 其中冬季温度上升最明显; 年均气温有较明显的突变特征, 突变点出现在 1991 年, 突变前后 2 个时段平均气温相差 1.32 °C; 存在 28, 9 和 5 a 的周期律, 未来几年仍处于暖期。降水呈波动下降趋势, 速率为 3.9 mm/10 a, 夏季降水下降最明显; 年降水量没有明显的突变点, 存在 25 和 7 a 的震荡周期, 未来几年仍处于少雨阶段。[结论] 近 50 a 来锡林郭勒盟地区气候呈明显干旱化趋势。

**关键词:** 锡林郭勒; 气温; 降水量; 气候变化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0340-06

中图分类号: P467

**文献参数:** 佟斯琴, 刘桂香, 武娜. 1961—2010 年锡林郭勒盟气温和降水时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 340-345. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.059

## Temporal-spatial Changes of Temperature and Precipitation in Xilingol League from 1961 to 2010

TONG Siqin<sup>1,3</sup>, LIU Guixiang<sup>2</sup>, WU Na<sup>3</sup>

(1. Institute of Natural Disaster Research, School of Environment, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China; 2. Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China; 3. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China)

**Abstract:** [Objective] This paper analyzed the spatial and temporal variations of temperature and precipitation in Xilingol League of Inner Mongolia, in order to provide a scientific support for environmental evolution and early warning of temperature and precipitation change in this area. [Methods] We collected monthly mean air temperature and precipitation data of 15 meteorological site in Xilingol League from 1961 to 2010. The unitary linear recursive analysis, linear trend analysis, Mann-Kendall test and Morlet wavelet methods were used to analyze the spatial and temporal variations of climate change. [Results] The annual mean temperature demonstrated a significant increasing trend during the past 50 years at a rate of 0.44 °C/10 a. The increase of temperature in winter was the greatest with an increasing rate of 0.52 °C/10 a. The annual mean temperature changed abruptly in 1991, and there was a 1.32 °C temperature difference before and after this abrupt change. There were significant cyclical changes at 28 a, 9 a and 5 a periods, and it is still in warm period in the next few years. Annual precipitation showed a downward trend from 1961 to 2010 at a rate of 3.9 mm/10 a, and it is most obvious in summer. There were significant cyclical changes at 25 and 7 years period with no obvious abrupt change point, and it is still in the stage of little rain in the next few years.

收稿日期: 2016-01-04

修回日期: 2016-02-22

资助项目: 中国农业科学院科技创新工程“草原非生物灾害防灾减灾”(CAAS-ASTIP-IGR2015-04)

第一作者: 佟斯琴(1991—), 女(蒙古族), 内蒙古自治区兴安盟人, 博士研究生, 研究方向为资源与环境遥感。E-mail: tsq118446@163.com。

通讯作者: 刘桂香(1962—), 女(汉族), 内蒙古自治区乌兰察布人, 研究员, 博士生导师, 主要从事草地资源和生态环境监测评价研究、草原火灾预警研究及 3S 技术在草业科学的应用研究。E-mail: liugx804@163.com。

[Conclusion] The climate of Xilingol League showed a trend of drought during the past 50 years.

**Keywords:** Xilingol League; air temperature; precipitation; climate change

气候变化已经引起了广泛的关注,全球气候变暖是一个不争的事实。自20世纪90年代以来全球气温升高速率加快,据IPCC第4次评估报告的结果表明,近100 a来全球地表平均气温增加了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>,且人类活动是引起近50 a气温升高的重要因素<sup>[2]</sup>。在SRES情景下,预计全球地表平均温度到21世纪末将增加 $1.1\sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相应的海平面将抬升 $0.18\sim 0.59\text{ m}$ <sup>[3]</sup>。受全球气候变暖的影响,中国气候干旱化的程度和遭受干旱化影响的范围也明显增加<sup>[4]</sup>,中国典型草原区的气候暖干化的问题亦相当明显<sup>[5]</sup>。气候的持续旱化必将引起植被活动的变化,致使植被生长季提前或延迟和植被生产力的变化<sup>[6]</sup>,进而影响区域可持续发展<sup>[7]</sup>。

内蒙古自治区锡林郭勒盟是中国典型的天然草原区的重要组成部分,有干旱、半干旱的气候特点,近几十年来出现草原区干旱程度上升<sup>[8]</sup>、草原退化等重大生态环境问题,受到草原生态学的高度重视。国内大量学者从不同角度分析了锡林郭勒盟的气温和降水量变化特征,但是大多仅限于单一要素简单的时间序列上的分析,并没有给出空间上的变化特征及两者结合的气候变化<sup>[9-11]</sup>。在此基础上,本文拟运用趋势分析法、小波分析法和MK突变检验法,通过气象站点的逐月数据分析揭示锡林郭勒盟地区的气温和降水量时空变化特征及周期规律,以期为草原区环境演化提供科学支撑,同时也对气温和降水的短期预警提供依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

气象数据是由中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)免费下载的研究区境内15个气象站点的月平均气温和月降水量数,时间段为1961—2010年。根据气象站点经纬度信息,在ArcGIS 10.2软件的支持下,对气象要素进行Kriging空间插值处理,生成格网化的气温和降水数据,并以此数据为基础,通过图形代数等方法,获取各个像元的信息,并分析近50 a锡林郭勒地区气温和降水时空变化特征。其中,各季节气温数据是通过各季节对应月份的值进行加权平均来获得,降水量数据是对各季节对应月份的值进行加权来获得。

### 1.2 研究方法

1.2.1 一元线性回归法 研究气温和降水量的时间变化特征常采用一元线性回归法。计算公式如下

所示:

$$y = a + bx \quad (1)$$

式中: $y$ ——某一地区每年的气温或降水量; $x$ ——时间段; $a$ ——截距; $b$ ——回归系数,也称斜率Slope,由最小二乘法计算得出公式(2)

$$\text{Slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n ix_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2} \quad (2)$$

式中:Slope——气温或降水量的线性变化趋势斜率;当 $\text{Slope} > 0$ 时,气温或降水量有上升趋势,反之亦然; $x_i$ ——第 $i$ 年的气温或降水量; $i$ ——年份,本文取1961—2010年。

1.2.2 Mann-Kendall 突变检验 Mann-Kendall 突变检验是由国际气象组织推荐的一种常用于分析气象数据时间序列趋势的方法,可分析气象数据的变化趋势和突变点<sup>[12]</sup>。其原理如下:

设原始时间序列为 $y_1, y_2, \dots, y_n$ ,  $m_i$ 表示第 $i$ 个样本,  $y_i$ 大于 $y_j$  ( $1 \leq j \leq i$ )的累计数,定义统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq n) \quad (3)$$

符合原始时间序列随机独立等建设条件下,统计量 $d_k$ 的均值和方差分别为:

$$E(d_k) = k(k-1)/4$$

$$\text{var}(d_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \quad (4)$$

将上面公式的 $d_k$ 标准化,得:

$$\text{UF}_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\text{var}(d_k)}} \quad (5)$$

由公式(5)计算得出一条 $\text{UF}_k$ 曲线,该方法用于反向样本序列得出统计量 $\text{UB}_k$ ,构成与 $\text{UF}_k$ 相反的另一条曲线 $\text{UB}_k$ ,绘制 $\text{UF}_k$ 和 $\text{UB}_k$ 曲线图,如果 $\text{UF}_k$ 和 $\text{UB}_k$ 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。在 $\alpha=0.05$ 水平下,统计量 $\text{UF}_k$ 和 $\text{UB}_k$ 的临界值为 $\pm 1.96$ 。 $\text{UF}_k > 0$ ,表示序列呈上升趋势; $\text{UF}_k < 0$ ,表示序列呈下降趋势,统计量 $\text{UF}_k$ 和 $\text{UB}_k$ 超出临界值时,表示趋势变化显著。

1.2.3 小波变换 小波变换是指时间和尺度上的局域变换,能有效提取信号中的信息,被誉为“数学显微镜”<sup>[13]</sup>。本文采用小波变换对研究区的气温和降水量进行震荡周期分析。小波分析原理为对满足要求的小波函数 $\varphi(t)$ ,时间序列 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ 的小波变换为:

$$W_f(a,b) \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi_{ab}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2}} f(t) \varphi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (6)$$

式中： $W_f(a,b)$ ——小波变换或小波变换系数； $\varphi_{ab}^*$ ——复共轭函数； $\varphi(t) = (1-t)^2 e^{-t^2/2}$ 。本文选取标准的 Morlet 小波，小波周期长度用  $a$  表示，其中  $a > 0$ ； $b$  为气温和降水量在时间上的平移，根据小波分析结果，可计算出时间序列的频率特征和时间—频率的特征，式中高低值中心为等值线中心，高值为正小波系数，低值为负小波系数，通过中心值的大小为波动的震荡强度<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 气温和降水量的趋势分析

1961—2010 年锡林郭勒地区年平均气温变化曲线显示(图 1a)，近 50 a 锡林郭勒地区年平均气温与全球和中国气温变化趋势一致，表现为波动上升趋势。锡林郭勒盟地区年平均气温的上升速率为 0.44 °C/10 a，高于中国(0.25 °C/10 a)及全球的温度升高速率<sup>[15]</sup>(0.13 °C/10 a)，表明锡林郭勒地区气候对全球变化的响应比较敏感。从时间上看，锡林郭勒地区在 20 世纪 60 年代年平均气温为 1.8 °C，为近 50 a 最低，70 年代升高到了 2.1 °C 上；80 年代平均气温为 2.3 °C，比 70 年代上升了 0.2 °C；90 年代为 3.0 °C，

比 80 年代上升了 0.7 °C；21 世纪初的 10 a 平均气温升高到了 3.6 °C，比 20 世纪 90 年代增温幅度达到了 0.6 °C；升温幅度最快的是 90 年代，相比 80 年代上升了 0.7 °C，总的来看，最近 10 a 的年平均温度相比 20 世纪 60 年代气温升高了 1 倍，达到了 3.6 °C。图 2a 显示了近 50 a 锡林郭勒地区年平均气温变化的空间趋势，锡林郭勒地区各旗市的年平均气温都有不同程度的上升特征，大致分布在 0.04~0.05 °C 间，从研究区东部至西部气温上升幅度加大，苏尼特草原西部和乌珠穆沁草原北部气温上升幅度最大。

从降水量时间变化曲线可知(图 1b)，整个研究时段内锡林郭勒盟降水量变率为 -3.9 mm/10 a，总体呈下降趋势，该变化过程与内蒙古全区的降水量下降的趋势一致。从年代际变化来看，20 世纪 60 年代平均降水量为 245 mm，70 年代和 80 年代降水量为 250 mm 左右，变化不大；90 年代是降水量最多时期，达到 270 mm；进入 21 世纪后降雨量偏少，21 世纪最近 10 a 是降水量最少阶段，降水量减少了 30 mm，仅 215 mm，为少雨阶段。50 a 来锡林郭勒地区降水量在空间上没有显著的规律性，降水量减少量最大的地区为苏尼特左旗和阿巴嘎旗北端、西乌珠穆沁旗南部以及多伦县(图 2b)。结合以上分析可知，锡林郭勒地区气候环境有明显干旱化趋势。

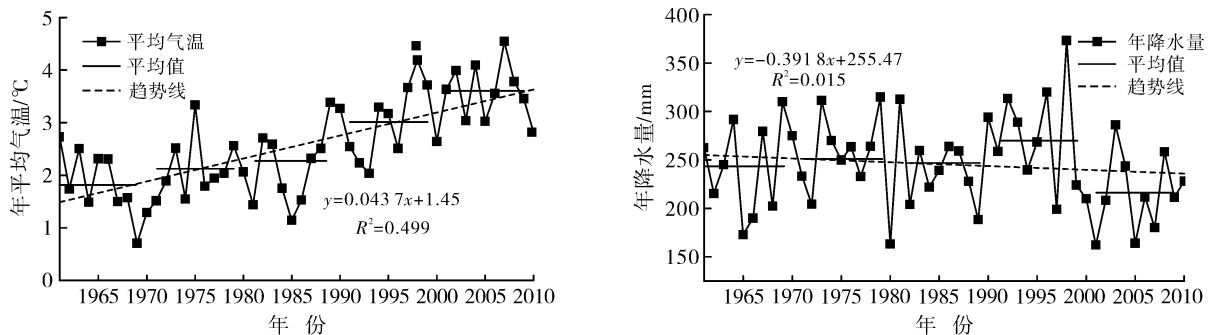


图 1 1961—2010 年锡林郭勒气温和降水变化曲线及线性趋势

气候变化不仅表现在气温和降水量等单要素的变化，更重要的是体现在二者的组合形式上，从而表现出不同的气候特征。将气温和降水资料距平分析后，以降水正距平为湿，负距平为干，气温正距平为暖，负距平为冷。研究发现(表 1)，近 50 a 来锡林郭勒盟地区气候变化特征表现出“冷干—冷湿—暖湿—暖干”的变化过程。

### 2.2 气温和降水量的突变分析

气温和降水量的变化趋势表现出阶段性特征，可利用 Mann-Kendall 突变检验分析气温和降水变化的突变特征和突变点。图 3 显示的是锡林郭勒地区

表 1 研究区气温和降水量的年代际变化

年代	1960 s	1970 s	1980 s	1990 s	2000—2010 s
气温距平/°C	-0.74	-0.44	-0.29	0.44	1.03
降水量距平/mm	-1.02	5.27	1.65	24.11	-30.01
水热组合	冷干	冷湿	冷湿	暖湿	暖干

气温和降水量的 Mann-Kendall 突变检验，图中 UF 曲线为时间序列统计曲线，UB 曲线为逆序时间序列统计曲线。在  $\alpha = 0.05$  水平下，由图 3a 可知，两条曲线在 1991 年相交，且之后的 UF 曲线显著上升并通

过了临界值,表明,锡林郭勒地区气温变化有较明显的突变特征,发生在 1991 年,突变前后 2 个时段平均气温相差 1.32 °C,存在明显的阶段性。

从图 3b,锡林郭勒地区降水量 M-K 检验统计图可知,MK 检验曲线 UF 与 UB 的交点有多处,分别

是 1962,1999—2000,2002,2003—2004 年;但是这些交点并不是突变点,因为交点之后 UF 曲线上升或下降,均没有超过临界值,即降水量没有发生明显的增多或减少趋势,近 50 a 锡林郭勒地区降水量变化规律相对复杂,不存在明显的突变特征。

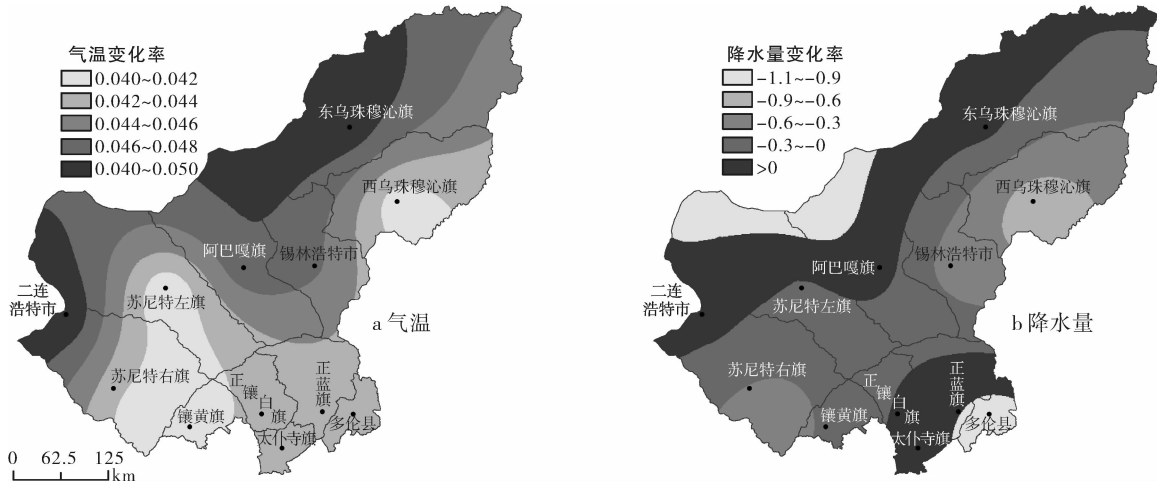


图 2 1961—2010 年锡林郭勒地区气温和降水量的空间变化趋势

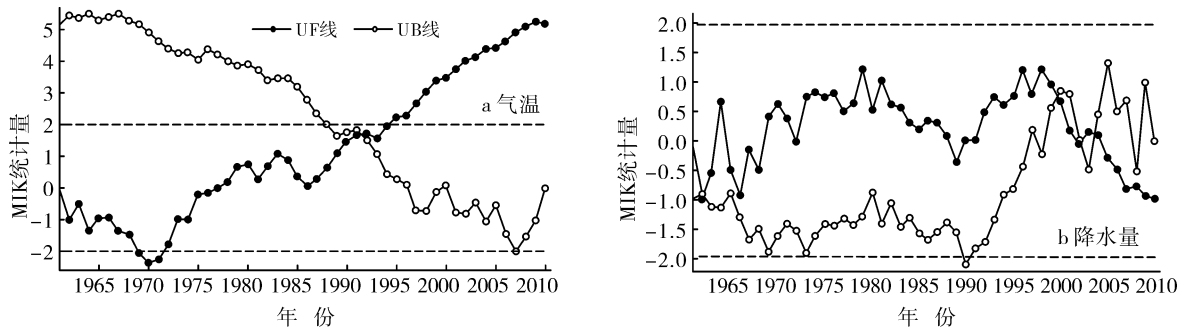


图 3 1961—2010 年锡林郭勒地区气温和降水量的 Mann-Kendall 突变检验

### 2.3 气温和降水量的周期性分析

小波的等值线中心代表冷暖中心,正小波为暖,负小波为冷,以中心值对应的年份为横坐标,变化周期为纵坐标<sup>[12]</sup>。小波系数的变化趋势基本和气候信号的变化相一致,图 4 为锡林郭勒地区近 50 a 年平均气温的小波周期变换,锡林郭勒地区年平均气温存在各种尺度正负相间的震荡中心,年平均气温年代和年际变化都相当明显。

根据图 4 可知,锡林郭勒地区年平均气温存在 3 个震荡周期,分别是 28,9 和 5 a 的震荡周期。其中 28 a 左右的周期震荡明显,自 20 世纪 60 年代一直持续至现在,为第 1 主周期,有 2 个暖期和 1 个冷期的 3 个循环;9 a 左右的震荡周期有 4 个暖期和 3 个冷期共 7 个循环;震荡周期不明显是 5 a 左右的震荡周期,无全域性。根据 28 a 的震荡周期分析,当前锡林郭勒地区气温偏暖,目前 28 a 震荡周期还未闭合,推测锡林郭勒地区在今后一段时间仍处于暖期阶段。

图 5 显示的是近 50 a 锡林郭勒地区降水量 Morlet 小波分析结果,正小波表示降水量大,负小波表示降水量小。根据小波分析结果,近 50 a 锡林郭勒地区降水存在正负相间的震荡中心,降水量的周期震荡非常明显,有 25 和 7 a 左右的 2 个震荡周期,以 25 a 为主震荡周期。其中,锡林郭勒地区从 20 世纪 60 年代到现在一直持续着 25 a 左右的震荡周期。降水量的变化存在 4 个多一少交替的循环,有 2 个多雨阶段和 2 个少雨阶段;根据震荡周期的分析结果,锡林郭勒盟地区现阶段还处于少雨时期。目前 25 a 震荡周期未闭合,锡林郭勒地区下一段时间降水量仍处于少雨阶段。

### 2.4 季节性分析

探讨气温和降水的四季变化特征有助于更好的了解气温和降水量的变化规律,图 6 呈现的是锡林郭勒地区气温和降水的 4 季变化特征。

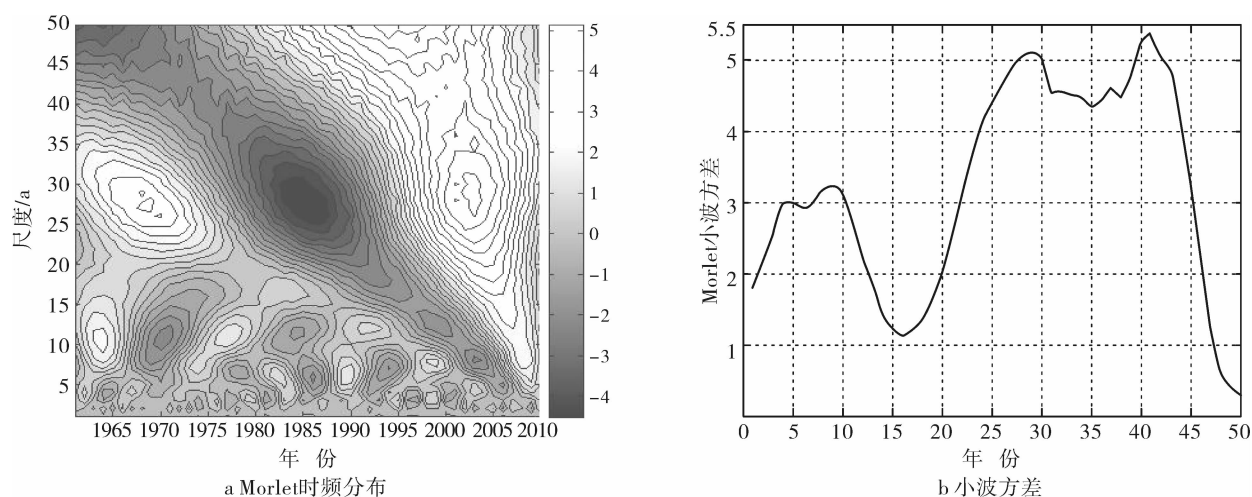


图 4 1961—2010 年锡林郭勒盟气温的小波变换和小波方差

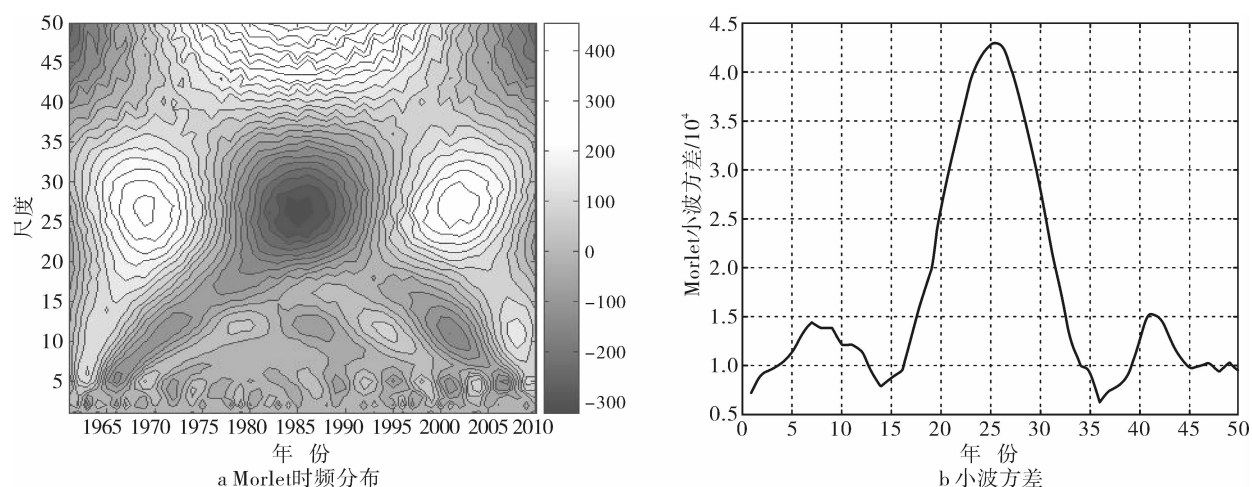


图 5 1961—2010 年锡林郭勒盟降水量的小波变换和小波方差

由图 6 可知,近 50 a 锡林郭勒地区气温在季节变化上相似,4 季气温均有升高趋势。其增温速率以冬季>春季>秋季>夏季的依次减小,冬季增温速率达  $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,春季达  $0.42\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,夏、秋季增温速率分别为  $0.39, 0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,表明该地区气候变暖的主要原因是由冬、春季增温引起的。尽管冬季气温波动剧烈,但 20 世纪 80 年代中后期气温明显增高,导致该区域暖冬现象明显增加。锡林郭勒地区年降水量整体上有减少的趋势,但不同季节降水量变化特征略有差异。冬季和春季降水量表现为微弱增加趋势,而夏、秋两季降水则表现为下降趋势。从变化速率上看:夏季>春季>冬季>秋季,夏季降水量变化明显,速率达  $5.4\text{ mm}/10\text{ a}$ ,春、冬和秋季变化速率不大,分别为  $1.33, 0.13$  和  $0.07\text{ mm}/10\text{ a}$ 。夏季降水量的明显下降是导致锡林郭勒地区气候环境发生明显干旱化趋势的主要因素。此外,夏季降水量在年际尺度上存在剧烈的上下波动,易于形成洪涝和干旱等自然灾害。

### 3 结论

(1) 近 50 a 来锡林郭勒地区的气温以  $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的速率呈升高趋势,空间上锡林郭勒西部地区年平均气温上升程度较明显,季节上冬季以  $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的速率增温。锡林郭勒地区的降水量以  $-3.9\text{ mm}/10\text{ a}$  的速率呈下降趋势,夏季降水量以  $-5.4\text{ mm}/10\text{ a}$  呈明显减少趋势。

(2) 通过 Mann-Kendall 突变检验法得出,气温变化时间序列曲线在 1991 年发生了突变,突变后气温显著上升而年降水量突变特征不明显。

(3) 根据小波分析发现,锡林郭勒地区气温和降水量的周期震荡非常明显。其中:气温有 28、9 和 5 a 的震荡周期,降水量有 25 和 7 a 的震荡周期;推测未来几年锡林郭勒地区处于暖期、少雨阶段。

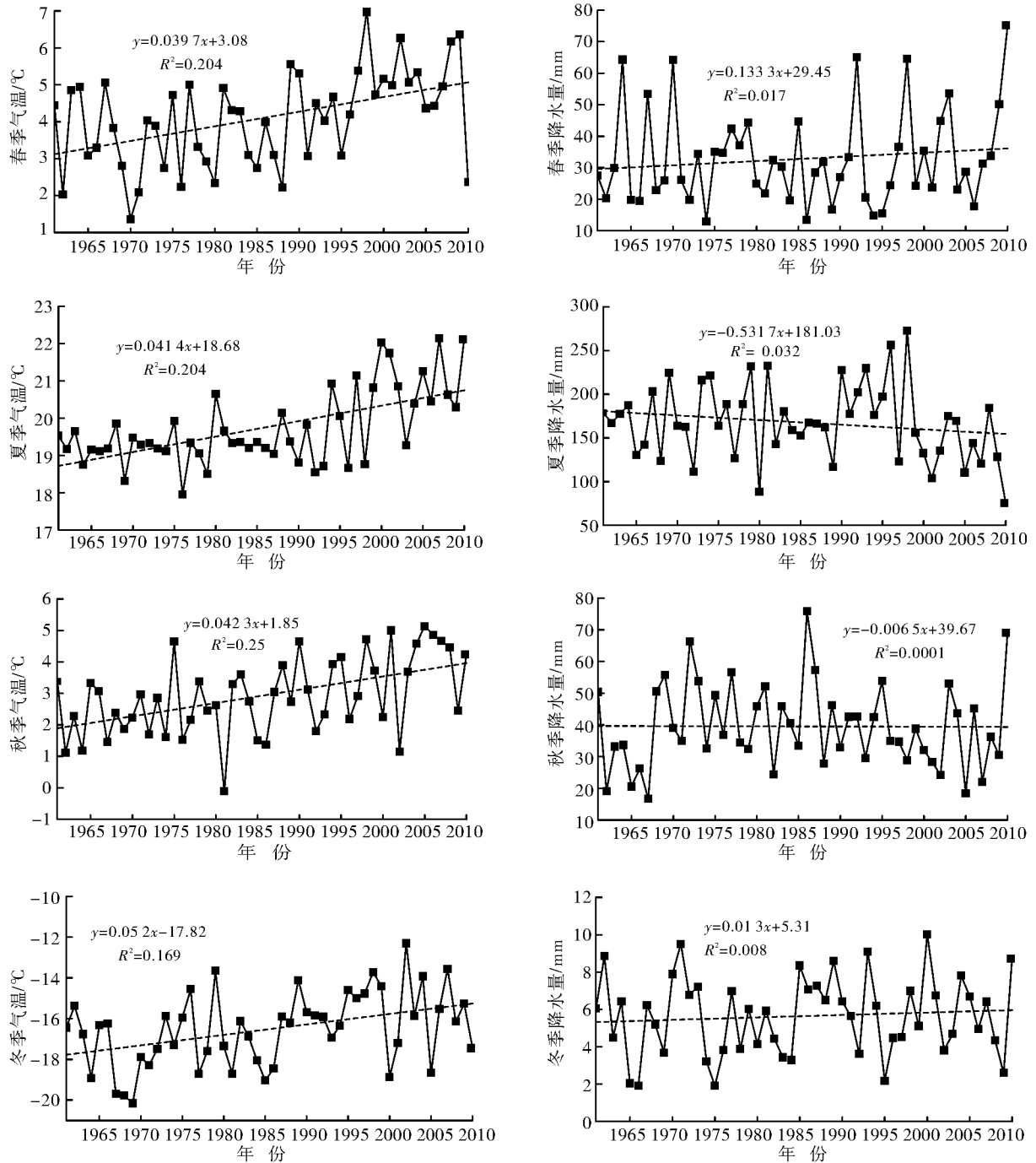


图 6 1961—2010 年锡林郭勒盟气温和降水量季节变化

(4) 从整个时段来看,锡林郭勒地区气候特征以气温上升和降水量下降相对应,导致该地区气候具有暖干化的特征,1961—2010 年气候变化有“冷干—冷湿—暖湿—暖干”的过程。

[ 参 考 文 献 ]

[1] Change I P O C. Climate change 2007: The physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.  
 [2] 丁一汇. 人类活动与全球气候变化及其对水资源的影响[J]. 中国水利, 2008, 2(8): 20-27.  
 [3] 张存厚, 王明玖, 李兴华, 等. 近 30 a 来内蒙古地区干湿

状况时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 70-76.  
 [4] 慈龙骏. 全球变化对我国荒漠化的影响[J]. 自然资源学报, 1994, 9(4): 289-303.  
 [5] 白美兰, 郝润全, 邸瑞琦, 等. 内蒙古东部近 54 a 气候变化对生态环境演变的影响[J]. 气象, 2006, 32(6): 31-36.  
 [6] 张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近 30 a 来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 47-58.  
 [7] 殷永元. 全球气候变化对区域持续发展的影响: 研究方法探讨[J]. 大气科学学报, 1999(S1): 465-471.

(下转第 351 页)

部的气温普遍要比东北部、东南部和西南部高;其次为渝中平行岭谷的低山丘陵区;而渝东北和渝东南地区气温空间分布的异质性更大,气温随海拔高度变化较大;渝东北城口县的平均气温最低。空间分布的变化方面为:绝大部分地区的年平均气温均呈现增加趋势,增幅幅度方面为:渝东南>渝东北>渝西地区。

(4) 从三维的空间分布来看,无论是近 40 a 的年平均气温还是不同年代际的均温均随海拔高度的分布特征明显。本文虽然构建气温的三维模拟图能够较好的体现出起伏地形下重庆市气温的空间分布特点,但 ArcScene 主要适合于小区域空间数据的三维场景刻画,对于像重庆市这样一个较大区域内的气温的三维模拟,在模拟的细节部分还有待不断改进和完善,例如,山尖部分过于尖锐,如何考虑叠加遥感影像以及河流、交通等矢量数据以更加形象和直观的方式突出气温的空间分布特征等。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 孙卫国. 气候资源学[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [2] 翁笃鸣,罗哲贤. 山区地形气候[M]. 北京:气象出版社,1990:1-10.
- [3] 傅抱璞. 关于山地气候资料的推算问题[C]// 山地气候文集. 北京:气象出版社,1984:23-34.
- [4] 李军,黄敬峰. 山区气温空间分布推算方法评述[J]. 山地学报,2004,22(1):126-132.
- [5] Hubert H, Katarina M, Richard P. Validating daily climate interpolations over complex terrain in Austria[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 119 (1/2): 87-107.
- [6] Chung U, Seo H, Hwang H, et al. Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006,137(1/2):15-24.
- [7] Bellasio R, Maffei G, Scire J S, et al. Algorithms to account for topographic shading effects and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models[J]. Boundary Layer Meteorology, 2005,114(3),595-614.
- [8] 翁笃鸣. 大寨大队沟、梁、坡地的小气候分析[J]. 南京气象学院学报,1978(1):68-80.
- [9] 卢其尧. 山区年月平均气温推算方法的研究[J]. 地理学报,1988,45(3):213-222.
- [10] 史舟,王人潮,吴宏海. 基于 GIS 的山区年均温分布模拟与制图[J]. 山地研究,1997,15(4):264-268.
- [11] 陈晓峰,刘纪远,张增祥,等. 利用 GIS 方法建立山区温度分布模型[J]. 中国图象图形学报,1998,3(3):234-238.
- [12] 张洪亮,倪绍祥,邓自旺,等. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报,2002,20(3):360-364.
- [13] 杨昕,汤国安,王春,等. 基于 DEM 的山区气温地形修正模型:以陕西省耀县为例[J]. 地理科学,2007,27(4):525-530.
- [14] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-955.
- [8] 王海梅,李政海,韩国栋,等. 锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律[J]. 生态学报,2010,30(23):6538-6545.
- [9] 包姝芬,马志宪,崔学明. 近 50 a 锡林郭勒盟的气候变化特征分析[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2011,32(3):157-160.
- [10] 王海梅,李政海,阎军,等. 锡林郭勒草原不同生态地理区降水周期变化特征的小波分析[J]. 水土保持通报,2010,30(5):46-49.
- [11] 辛志远,史激光,刘雅琴,等. 锡林郭勒地区降水时空分布特征及变化趋势[J]. 中国农学通报,2012,28(2):312-316.
- [12] 春喜,丹丹,毕力格,等. 阿拉善高原近 60 a 的气候变化[J]. 水文,2013,33(2):43-50.
- [13] 李森,夏军,陈社明,等. 北京地区近 300 年降水变化的小波分析[J]. 自然资源学报,2011,26(6):1001-1011.
- [14] 尤卫红. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技术方法研究[M]. 北京:气象出版社,1998.
- [15] 范泽孟,岳天祥,陈传法,等. 中国气温未来情景的降尺度模拟[J]. 地理研究,2011,30(11):2043-2051.

(上接第 345 页)