

# 呼伦贝尔市 53 年气候变化特征分析

曲学斌<sup>1,2</sup>, 吴昊<sup>3</sup>

(1. 成都信息工程学院, 成都 610200; 2. 呼伦贝尔市气象局, 内蒙古 呼伦贝尔 021008; 3. 牙克石市气象局, 内蒙古 呼伦贝尔 022150)

**摘 要:** 利用呼伦贝尔市下属 16 个气象台站的逐月平均气温和降水观测数据以及距平分析、M-K 检验、Kriging 差值、Morlet 小波分析方法, 分析了呼伦贝尔地区 1960—2012 年气温、降水变化特征, 为水土保持、农业生产和环境保护提供科学的基础性研究成果。研究表明: 研究期呼伦贝尔市平均温度为  $-0.7^{\circ}\text{C}$ , 倾向率为  $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。各季节的平均温度均有增加趋势, 夏季增温最为显著, 冬季最差, 气温低的地方增长率越高。全市的平均降水量为 396 mm, 未发现有减少趋势, 降水从东向西依次递减, 主要表现在 10 a 和 26 a 时间尺度上的周期性变化。随着气温的升高, 10 a 尺度下的周期性变化趋于明显, 降水年际间差距将有所升高。

**关键词:** 呼伦贝尔市; M-K 检验; kriging 插值; Morlet 小波分析; 气候变化

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2014)01-0178-05

## Analysis of 53-Year Climate Change Characteristics of Hulun Buir City

QU Xue-bin<sup>1,2</sup>, WU Hao<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610200, China; 2. Hulun Beier Meteorological Bureau, Hulun Beier, Inner Mongolia 021008, China; 3. Yakeshi Meteorological Bureau, Hulun Beier, Inner Mongolia 022150, China)

**Abstract:** Mean monthly temperature and precipitation recorded in 16 meteorological stations subordinate to Hulun Buir city was analyzed. Anomaly analysis-K Mutation test, Kriging difference and the wavelet analysis method were used to analyze the temperature and precipitation change characteristics of Hulun Buir region from 1960—2012, to provide scientific fundamental research for conservation of water and soil, agricultural production and environmental protection. Result shows that: Hulun Buir city average temperature is  $-0.7^{\circ}\text{C}$  during the 53 years, linear growth rate is  $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ . Each season's average temperature presents increasing trend; the warming in summer is most significant, while the winter is the worst. The growth rate is higher in the place with low temperature. The average precipitation of the whole city is 396 mm with no decreasing trend. Precipitation decreasing from east to west in turn mainly displays in 10 years and 25 years periodical change of scale. As the temperature increases, the periodical scale change of 10 years tends to be obvious and the annual precipitation range is rising.

**Key words:** Hulun Buir City; M-K Mutation test; kriging interpolation; wavelet analysis; climate change

近百年来, 全球气候经历了一场以变暖为主的气候变化, 1906—2005 年, 全球地表平均温度升高  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 后 50 a 的倾向率为  $0.13^{\circ}\text{C}/\text{a}$ <sup>[1]</sup>。中国的平均气温也明显升高, 近 50 a 的气温倾向率为  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ <sup>[2]</sup>, 气候变暖带来的气温、降水等气象要素的变化直接影响了植物生长和生态平衡。给我国水土保持、粮食生产、生态环境保护等带来了严重挑战。因此, 明确某地区的气候变化特点, 可有效帮助水土保持、农业生产、环境保护相关部门及科研机构制定正确应对气候变化的政策和办法。

呼伦贝尔市地处内蒙古东北部, 面积 26.3 万  $\text{km}^2$ , 市境内拥有呼伦贝尔草原、大兴安岭、呼伦湖等丰富的自然生态资源。气候属温带半湿润大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 夏季炎热多雨。由于人口密度低, 地处偏远地区, 其气候变化特征少有研究, 气候变化所带来的诸如水土流失等问题经常被忽视。本研究以呼伦贝尔市 16 个气象台站观测数据为基础, 全面分析呼伦贝尔市受全球变暖影响下气温、降水的变化特征, 为更好地掌握呼伦贝尔市气温、降水的变化特征, 进一步制定应对政策提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 数据来源

选用呼伦贝尔市境内 16 个气象台 1960—2012 年逐月平均气温、降水量等观测数据进行统计分析。

## 1.2 分析方法

1.2.1 距平分析 计算呼伦贝尔市年平均气温、各季度平均温度、各台站年平均气温的距平,建立回归方程进行分析,计算温度的线性增长率并加以分析,其中季节划分为:春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月,冬季 12—2 月。

1.2.2 Mann-Kendall 突变检验 用 Mann-Kendall 法对呼伦贝尔市年平均气温和降水量进行检验。此方法具有运算简便、对样本分布情况没有限制等特点,比较适合气候分析<sup>[3]</sup>。首先构造 53 a 温度(或降水量)的秩序列: $S_k = \sum_{i=1}^k r_i$ , ( $k=2, 3, 4 \dots \dots, n$ ), 其中  $r_i$  为  $i$  年温度(或降水量)不小于之前年份的个数累计数,  $n$  为样品数 53。在时间序列随即独立的假定下

得出统计量  $UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}}$  ( $k=1, 2, 3, \dots$ ,

$n$ ), 其中  $E(S_k) = \frac{n(n+1)}{4}$ ,  $\text{var}(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72}$ , 再按逆序列重复上述过程求出

$UB_k$ 。若  $UF_k$  值大于 0, 则表明序列呈上升趋势, 小于 0 则表明呈下降趋势, 当它们超过临界直线时, 表明上升或下降趋势显著。如果  $UF$  和  $UB$  两条曲线出现交点, 且交点在临界直线之间, 那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻<sup>[4-5]</sup>。

1.2.3 kriging 插值分析 根据各台站年平均温度、

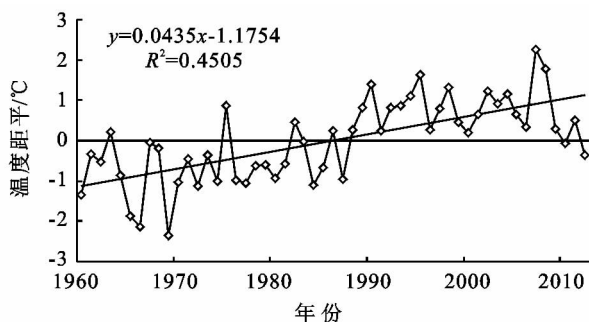


图 1 1960—2012 年呼伦贝尔市年平均温度距平及 M-K 突变检验

比较呼伦贝尔市 4 个季节平均温度在 53 a 间的变化情况(图 2)可知, 气温均有升高趋势, 春、夏、秋、冬的倾向率分别为 0.51℃/10 a, 0.45℃/10 a, 0.38℃/10 a, 0.55℃/10 a。冬季和春季增温较快, 夏

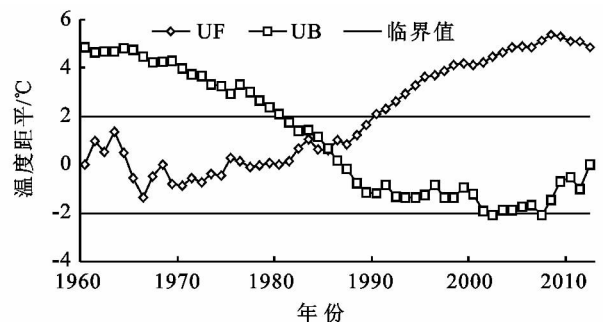
温度距平、降水量的分析结果和空间分布特征及相关程度的不同, 进行滑动加权平均, 以估测全市各地区年平均温度、温度距平和降水量的空间分布特征。其基本运算方式为:  $z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda z(x_i)$ 。其中  $\lambda$  为权重<sup>[6]</sup>。

1.2.4 Morlet 小波分析 首先构造一簇小波函数系  $\phi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi(\frac{t-b}{a})$ , 其中  $\phi_{a,b}(t)$  为子小波,  $\psi(t)$  为基小波函数,  $a$  为尺度因子,  $b$  为平移因子。然后利用这一函数对呼伦贝尔市的温度、降水量函数  $f(x)$  进行连续的小波变换  $W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{\mathbb{R}} f(t) \bar{\psi}(\frac{t-b}{a}) dt$ , 其中  $\bar{\psi}(\frac{x-b}{a})$  为  $\psi(\frac{x-b}{a})$  的复共轭函数。 $W_f(a,b)$  为小波变换系数<sup>[7-10]</sup>。最后根据小波系数绘制等值线图, 对其时间尺度进行分析, 并预测未来走势。

## 2 结果与分析

### 2.1 平均温度时空分析

2.1.1 距平分析 1960—2012 年这 53 a 间, 呼伦贝尔市平均气温呈现明显的上升趋势, 所有台站年平均气温平均值中的最低值为 1969 年的 -3℃, 最高值为 2007 年的 -1.6℃。温度距平变化及 M-K 检验如图 1 所示, 年平均气温共增加了 2.3℃, 倾向率为 0.435℃/10 a。并通过 0.01 水平显著性检验。UF 在 1980 年之前呈现波动, 未达到显著上升(或下降)趋势, 1980 年至今均呈现出上升趋势, 1990 年之后 UF 超过临界线, 气温呈现从冷到暖的显著显著上升趋势, UF 与 UB 在 1985 年附近相交且交点位于两临界线之间, 为突变开始时间。



季和秋季较慢。夏季通过 0.01 水平显著性检验 ( $>0.354$ )。春、秋两季通过 0.05 水平显著性检验 ( $>0.273$ )。冬季未通过显著性水平检验, 表明冬季气温年际波动较大, 增温趋势不显著。

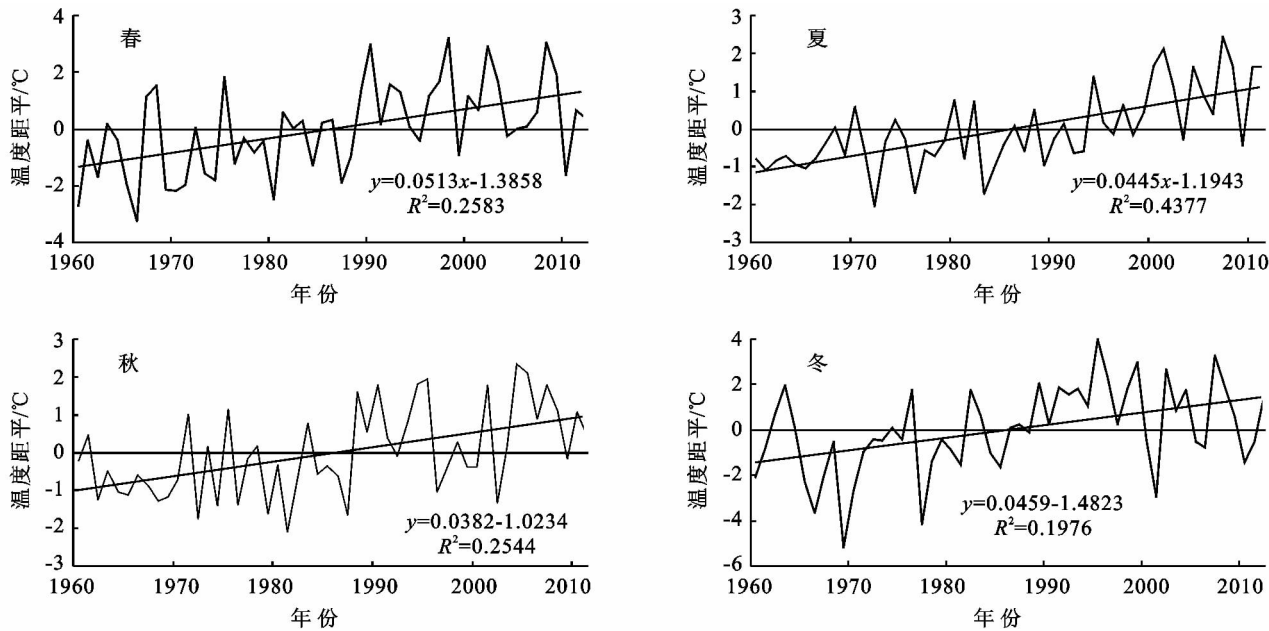


图 2 1960—2012 年呼伦贝尔市四季气温距平

呼伦贝尔市境内各气象台站年平均气温及倾向率如表 1 所示,除博克图外均达到 0.05 水平上的显著相关,普遍增温显著。年平均气温变化范围为

—4.5℃~3.2℃,最高为扎兰屯,最低为图里河。气温倾向率变化范围为 0.27℃/10 a 至 0.61℃/10 a,最高为根河,最低为博克图。

表 1 1960—2012 年呼伦贝尔市各观测台站温度变化

台站名称	年平均 气温/℃	气温倾向率 (℃/10 a)	Pearson	台站名称	年平均 气温/℃	气温倾向率 (℃/10 a)	Pearson
阿荣旗	2.6	0.57	0.606**	满洲里	—0.7	0.34	0.283*
博克图	—0.5	0.27	0.248	莫力达瓦旗	2	0.44	0.467**
陈巴尔虎旗	—1.6	0.56	0.493**	图里河	—4.5	0.35	0.346*
额尔古纳市	—2.5	0.37	0.316*	小二沟	—0.2	0.49	0.486**
鄂伦春旗	—1	0.54	0.548**	新巴尔虎右旗	1.1	0.39	0.367**
鄂温克旗	—1.5	0.44	0.382**	新巴尔虎左旗	0.2	0.39	0.384**
根河	—4.2	0.61	0.583**	牙克石	—2.2	0.37	0.357**
海拉尔	—1	0.44	0.377**	扎兰屯	3.2	0.39	0.404**

2.1.2 空间分布特征 根据各气象台年平均气温和气温倾向率,结合呼伦贝尔市行政区划图及台站地理信息,使用 kriging 插值方式绘制全市平均气温分布图和气温倾向率图。如图 3 所示,年平均温度随纬度

的升高而降低。温度倾向率整体呈现随纬度升高而升高的趋势,其中 3 个高值区分别位于陈巴尔虎旗、鄂温克旗附近,鄂伦春附近和根河附近,低值区位于扎兰屯、牙克石附近。

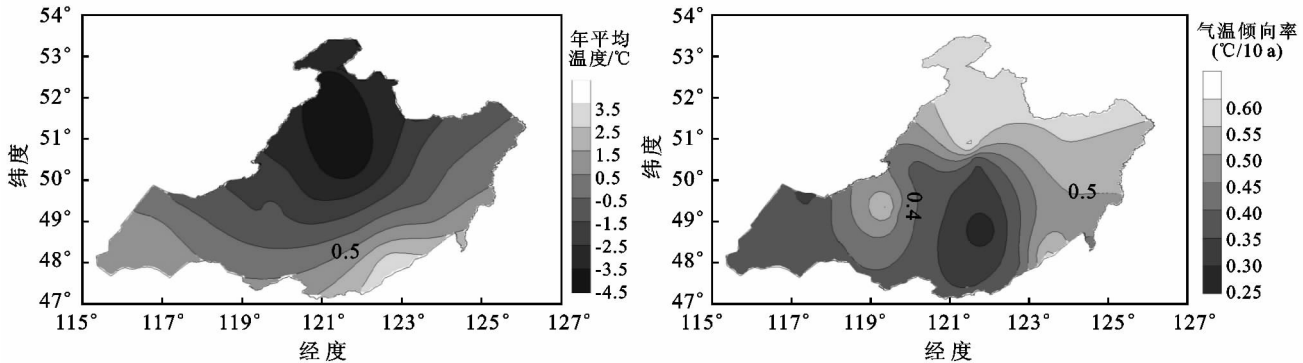


图 3 1960—2012 年呼伦贝尔市年平均气温及气温倾向率

2.1.3 小波分析 对全市年平均温度进行小波变换,根据小波系数的实部作年份与时间尺度的等值线

图和方差曲线,如图 4 所示。其中,虚线为负值表示温度升高,实线为正值表示温度降低。由图 4 可知,

年平均气温存在 3 个明显的时间尺度特征,不同时间尺度所对应的温度变化结构不同,小尺度的变化表现为嵌套在较大尺度下的较为复杂的结构。在 20~25 a 的时间尺度上,周期震荡显著,经历了冷暖交替的 3 个周期,且 2012 年 20 a 尺度上的小波系数等值

线尚未闭合,在未来几年中温度将处于由暖变冷的过渡期。在 8~10 a 尺度也有近 6 次周期性变化,5~6 a 尺度的冷暖交替循环较多。从方差分析可以看出,以 20~25 a 周期最为突出,对波动的贡献率最大,5~6 a 为次周期。

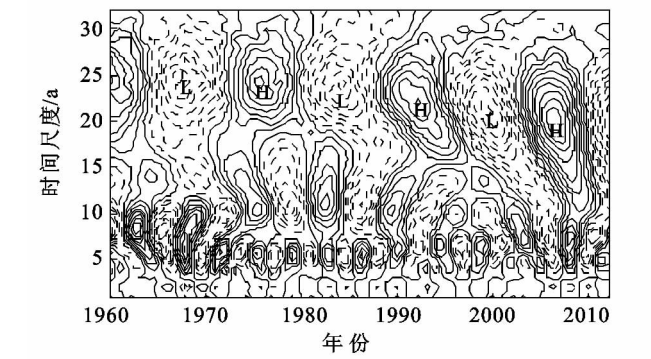


图 4 1960—2012 年呼伦贝尔市年平均温度 Morlet 小波变换系数等值线及方差

## 2.2 年平均降水量时空分析

2.2.1 降水年变化及 Mann-Kendall 突变检验 呼伦贝尔市 53 a 的降水变化如图 5 所示,降水量经历了 1960—1982 年  $UF<0$ ,1982—2003 年  $UF>0$ ,2003—

2012 年  $UF<0$  这 3 个阶段。其中 1965 年、1968 年、1969 年  $UF<-1.98$ ,气温呈现显著下降趋势;1998 年  $UF>1.98$ ,气温呈现显著上升趋势,其他年份均未达到显著水平。

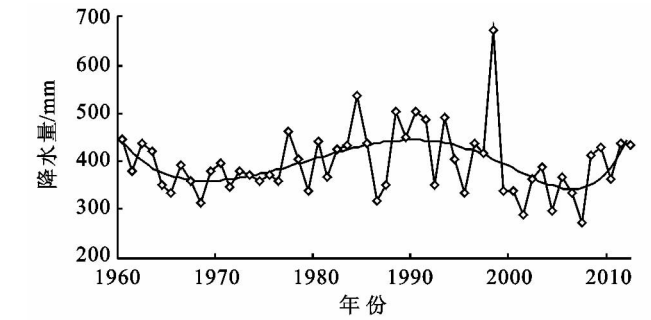
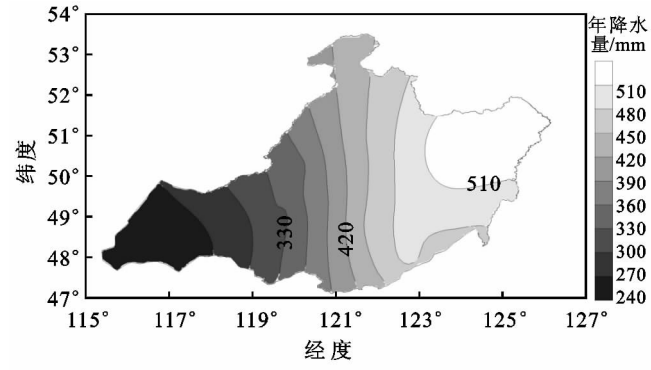
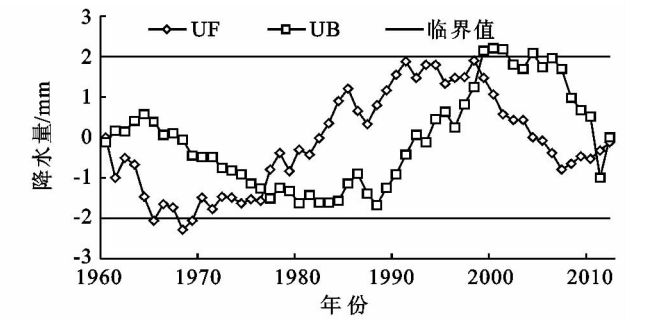


图 5 1960—2012 年呼伦贝尔市年降水变化及 M-K 突变检验

2.2.2 空间分布特征 统计境内各站的年降水量情况,全市平均降水量为 396 mm,最多为鄂伦春的 532 mm,最少为新巴尔虎右旗的 240 mm,最高降水量为最低值的 222%,地区差异较大。53 a 来全市年均降水量空间分布情况如图 6 所示,由于受到大陆性气候的影响,水汽主要由东向西输送,所以平均年降水量等值线与经线平行。



2.2.3 小波分析 对全市年平均降水量进行小波变换,如图 7 所示。可以清楚地看到年平均降水量变换过程中存在两个明显的时间尺度特征。28~25 a 尺度最为明显,出现了干—湿交替的准 3 次震荡,且 2012 年 25 a 尺度正值等值线尚未闭合,表明将来一段时间内属于降水由少变多的时期。在 11~10 a 时间尺度上存在准 6 次震荡,主要集中在 20 世纪 80 年代之后。从方差分析可以看出,28~25 a 周期较为明显,贡献率最高,其次为 10~11 a 尺度,这与准 11 a 的周期与太阳活动的准 11 a 周期相吻合。

## 3 结论

(1) 呼伦贝尔市年平均气温为  $-0.7^{\circ}\text{C}$ ,从南向北依次递减,1960—2012 年间,全市的平均气温倾向率为  $0.47^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,1980 年之后气温开始升高,1990 年之后气温升高开始显著;气温增长率以冬季为最快,春夏季次之,秋季略慢;以 20~25 a 尺度为主要

图 6 1960—2012 年呼伦贝尔市年平均降水量分布

变化周期。到2012年为止,此震荡周期的负值等值

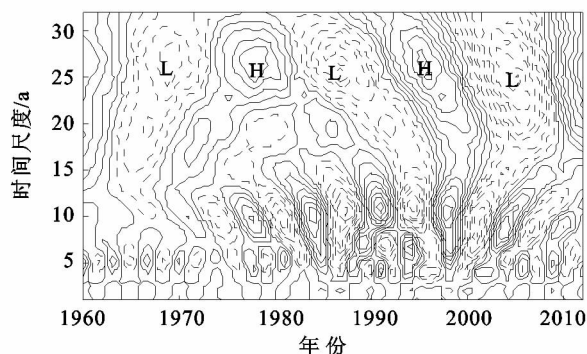


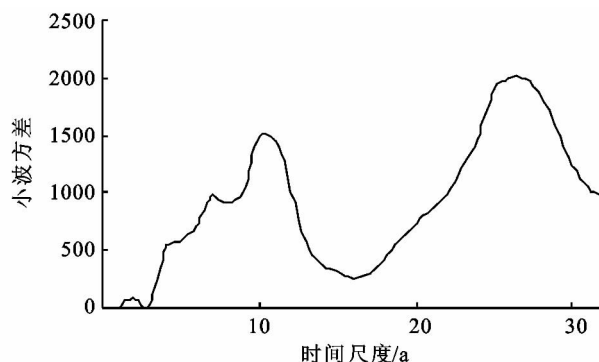
图7 呼伦贝尔市1960—2012年降水量Morlet小波变换系数等值线及方差

(2)1960—2012年间,全市的年平均降水量为396 mm,由东向西依次递减,这符合大陆性气候的基本特点,除1965年、1968年、1969年、1998年外没有显著上升或下降趋势,始终以周期震荡,主要表现25~28 a时间尺度和11~10 a时间尺度上的周期性变化,其中10~11 a时间尺度的周期变化还主要集中在1980s后期。到2012年为止,25 a尺度上的正值等值线未闭合,全市未来几年处于丰雨期。

#### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The physical science basis, summary for policy maker[R]. Geneva: IPCC, 2007.
- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 2-3.
- [3] 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, 1997: 69-72.

线未闭合,全市未来几年将处于由暖变冷的阶段。



- [4] 陈华, 郭生练, 郭海晋, 等. 汉江流域1951—2003年降水气温时空变化趋势分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 340-345.
- [5] 刘德林. 郑州市近60年来降水变化特征及突变分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 236-238.
- [6] 徐天献, 王玉宽, 傅斌. 四川省降水空间分布的插值分析[J]. 人民长江, 2010, 41(10): 9-12.
- [7] 秦丽, 张立凤, 骆凯. 近48a台北市气温的小波分析[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(2): 59-62.
- [8] 宋涛, 沙晋明. 基于小波变换的福州市降水量变化研究[J]. 西南民族学院学报: 自然科学版, 2010, 36(3): 397-401.
- [9] 郭圳勉, 黄先伦, 唐钱奎, 等. 广东阳江夏季降水的气候特征分析[J]. 成都信息工程学院学报, 2011, 26(2): 203-206.
- [10] 杨再禹, 龙先菊. 黔东南地区近49年的气候变化特征[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 338-345.

(上接第177页)

- [14] 邓飞, 全占军, 于云江. 20年来乌兰木伦河流域植被覆盖变化及影响因素[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 137-152.
- [15] 张翀, 任志远, 袁鑫. 西北地区NDVI对水热条件年内变化的响应及其空间特征[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2356-2361.
- [16] Potter C S, Brooks V. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI[J]. International Journal of Remote Sensing, 1988, 19(15): 2921-2948.
- [17] 张学霞, 葛全胜, 郑景云. 北京地区气候变化和植被的关系: 基于遥感数据和物候资料的分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 499-506.
- [18] 彭代亮, 黄敬峰, 王秀珍. 基于MODIS-EVI区域植被季节变化与气象因子关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(5): 983-989.
- [19] 毕晓丽, 王辉, 葛剑平. 植被归一化指数(NDVI)及气候因子相关起伏型时间序列变化分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 284-288.
- [20] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响[J]. 地理学报, 1995, 50(5): 402-410.
- [21] 邹厚远. 陕北黄土高原植被区划及与林草建设的关系[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 98-101.
- [22] 陈彦光, 刘继生. 基于引力模型的城市空间互相关和功率谱分析: 引力模型的理论证明、函数推广及应用实例[J]. 地理研究, 2002, 21(6): 742-752.