

近 40 年气候变化及其空间分异的多尺度研究 ——以内蒙古自治区为例

路云阁, 李双成, 蔡运龙

(北京大学资源环境地理学系土地科学中心地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 利用小波变换对内蒙古 27 个气象台站 40 年(1956~1995)的年平均气温和降水数据进行多尺度分析, 结果表明, 1956~1958 是 40 年中最冷的年份, 20 世纪 60 年代初和 90 年代初是两个主要的气温升高和降水增加时期。在大时间尺度上, 气温和降水基本处于相对高值, 气温有逐渐增加趋势, 部分气象台站的降水有减少趋势; 中小尺度上气温和降水变化具有更多的表现形式, 体现在气温冷暖变化和降水多少变化的频率和强度上。内蒙古气温变化的空间分布格局具有明显的沿纬度分布的特征, 降水变化基本上体现了一种沿经度分布的空间格局。对内蒙古 3~5 月气候干湿状况研究表明, 20 世纪 50 年代末和 80 年代初是两个相对湿润时期, 1994 年后气候最为干燥, 大时间尺度存在非常明显的气候由湿润到干燥的变化趋势; 中小尺度上干湿状况变化较频繁。

关键词: 气候变化; 小波变换; 多尺度分析; 分布格局; 空间分异; 内蒙古自治区

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2004)04-0432-07

有关全球气候变化的研究始于 20 世纪 80 年代, 至今在研究内容、研究方法及技术手段取得很多进展, 得到一些有意义的研究成果^[1-34]。研究跨越的时空尺度亦非常广泛, 时间尺度从地质年代到几十年, 空间尺度从全球一直到某一局部地区。中国相关领域的科研人员在气候变化研究方面也做了大量工作, 这些工作在研究思路主要集中在两方面: 其一是针对某一地区气温或降水的时间序列进行单一时间尺度或多时间尺度的分析(根据采用的技术手段), 得到气温或降水的变化幅度、变化周期以及查找突变点等等; 其二是针对某一较大区域, 通过研究区域内不同气象台站的气温、降水数据, 寻找气温、降水或与气候有关的某种现象在空间上的分布格局。

有关气候突变研究是全球气候变化研究中的热点问题, 姚檀栋认为气候突变表现为三种形式: 与气候变化幅度有关的气候突变、与气候变化频率有关的气候突变、与气候变化形式有关的气候突变^[23]。另外, 气候变化具有明显的区域特征^[35], 因此气候变化在空间上体现出的分布格局会随着研究的时间尺度和空间尺度变化而变化, 当气候变化的空间格局具备了突变的特征, 则这种变化可以

认为是气候突变的表现形式。因此, 对于气候变化在空间上表现形式的研究具有十分重要的意义。

本文针对内蒙古自治区 27 个气象台站的 40 年气温、降水逐月数据(1956~1995), 采用小波分析方法, 对这些数据进行大中小三个时间尺度的分析, 得到各台站年均气温、降水的变化特征, 据此进行相应分类, 通过普通克里金插值的方法表现内蒙古 40 年来的气候变化空间分异特征。同时, 由于 3~5 月份是北方沙尘暴的高发时期^[36], 且内蒙古是其源地之一。本文利用历年 3~5 月气温、降水数据计算出干燥指数时间序列, 对其进行小波分析, 得到内蒙古自治区全境尺度 3~5 月份气候干湿状况变化特征, 这对研究北方沙尘暴和防沙减灾具有一定参考作用。

1 资料及方法

1.1 资料准备

本文采用资料为 1956~1995 年内蒙古自治区 27 个气象台站逐月平均气温和降水数据, 据此计算得到 40 年的年均气温、降水、3~5 月平均气温和降水时间序列。各气象台站的分布如图 1 所示。

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2004-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998040816)。

作者简介: 路云阁(1976-), 男, 黑龙江大庆人, 博士研究生, 主要从事区域环境与土地科学及相关模型研究。E-mail: yglu@pku.edu.cn

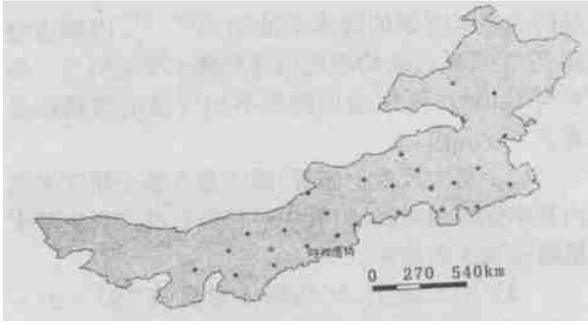


图 1 内蒙古各气象台站分布位置图

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Inner Mongolia

1.2 小波分析简介

小波分析是从傅立叶变换基础上发展起来的一个数学分支,在时域和频域同时具有良好的局部性质。其另一个重要性质就是可以把信号或图象等分解成交织在一起的多尺度成分,从而能聚焦到所研究对象的任意微小细节^[37]。设为母小波,则通过平移和伸缩变换得到小波序列为:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

其中, a 为伸缩因子, b 为平移因子。对于任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

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

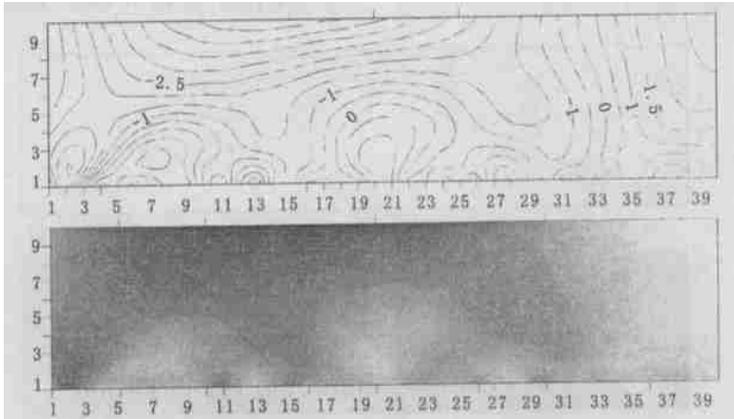


图 2 海拉尔气象站气温小波系数图象

Fig. 2 Wavelet coefficient figures of air temperature of Hailar meteorological station

通过对 27 个气象站点的气温小波系数图象的分析,可以得到如下气温变化规律:

(1) 总体上看,1956~1958 是在本次研究 40 年中最冷的年份,1960 年左右有一个相对的气温高值。进入 20 世纪 90 年代以后,气温有非常显著的增加,所有的气象台站小波系数图象中都以高亮

本文选用的母小波为墨西哥帽小波,其函数表达式为:

$$\psi(x) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{1/4} (1-x^2)^{-x^2/2} \quad (3)$$

根据母小波中心频率和相应小波尺度,可推算出该小波尺度所对应的实际周期。对于墨西哥帽小波,实际周期 T 和小波尺度 a 之间对应关系为:

$$T = 4a \quad (4)$$

2 结果分析

2.1 内蒙古各气象台站年均气温、降水变化特征

在数据的前处理工作上,由于各气象站点的气温、降水数据是逐月的,根据本文研究目的,即研究内蒙古气温、降水年际变化规律,所以对上述原始数据求出气温和降水的年均值,得到了各气象台站长度为 40 的气温、降水年均值时间序列。在此基础上,用墨西哥帽小波进行连续小波变换,根据求得的各台站气温和降水小波系数生成了相应的等值线图和灰度图。

2.1.1 气温变化特征

图 2 为海拉尔气象站气温小波系数图象。纵轴表示小波尺度,横轴表示相对时间(以 1956 年作为起始年份)。

状态表现了这种气温变化过程。这一结论与其它文献中提到的气温变化规律基本一致^[24,25]。

(2) 借助小波分析所具有的多尺度特性,可以看出在整个研究期内,所有的气象台站在大尺度上(32~36 年),其气温基本处于相对高值,并且具有气温逐渐增加的趋势,这种趋势的表现强度视气象

台站所处位置的不同而有所不同。海拉尔气象台站气温小波图象就表现出了这种明显的气温变化格局(图 2)。

(3) 在中尺度上(16~ 24 年), 各气象台站气温周期变化一般具有“冷- 暖- 冷- 暖”基本格局。在基本格局基础上, 还可以细分为更为详细的两类气温变化格局。一部分气象台站具有更为频繁、明显的冷暖周期变化, 这主要是源于 1976~ 1977 年附近的高气温; 另一部分台站在这一期间的气温并没有明显升高, 只能表现出这一尺度上的气温变化基本格局, 即在中尺度上相对低温持续时间较长, 在 1960 年以后气温逐步降低, 从 1976 年开始, 气温又逐渐升高, 到 20 世纪 90 年代后气温升高越来越明显。

(4) 在小尺度上(4~ 8 年), 各气象台站气温变化基本格局同中尺度类似。大部分气象台站(除去几个纬度相对较高的气象台站)相对低温持续时间较长; 部分气象台站具有较为明显的冷暖周期变化; 高纬气象台站以相对高温为主, 气温增高趋势明显。

2.1.2 降水变化特征

通过对 27 个气象站点降水小波系数的分析, 内蒙古各气象台站降水多尺度变化规律如下:

(1) 总体看, 20 世纪 60 年代初和 90 年代初是

两个相对明显的降水丰沛期间^[24- 26], 内蒙古全部 27 个气象台站均表现出这种降水变化特点。但 90 年代以后, 降水增加趋势不如气温增加趋势显著。

(2) 从大尺度上来看, 降水量在整个研究期间内基本保持相对高值, 其中一部分台站表现出降水量略有减少的趋势。

(3) 中尺度上, 年均降水量具有“多- 少- 多”基本格局。在基本格局的基础上, 同样可以细分出更为详细的两类降水变化格局, 一部分气象台站年均降水量具有更为频繁、明显的多少周期变化, 小波图象表明当地在 20 世纪 70 年代末和 80 年代初的几年中有一个较为丰沛的降水时期, 所以在中尺度上构成“多- 少- 较多- 少- 多”周期变化; 另一部分气象台站只表现出上述基本格局, 降水量相对低值持续时间较长, 在 1974~ 1977 年以前, 年均降水量逐渐减少, 此后呈现逐渐增加趋势。

(4) 小尺度上以降水量相对低值为主, 在中尺度上具有频繁、明显周期变化格局的气象台站在小尺度上同样表现出这种特点, 另一部分气象台站降水量低值持续时间较长。

为节省篇幅, 这里仅图示阿巴嘎旗气象台站的降水小波系数图象(图 3)。纵轴表示小波尺度, 横轴表示相对时间(以 1956 年做为起始年份)。

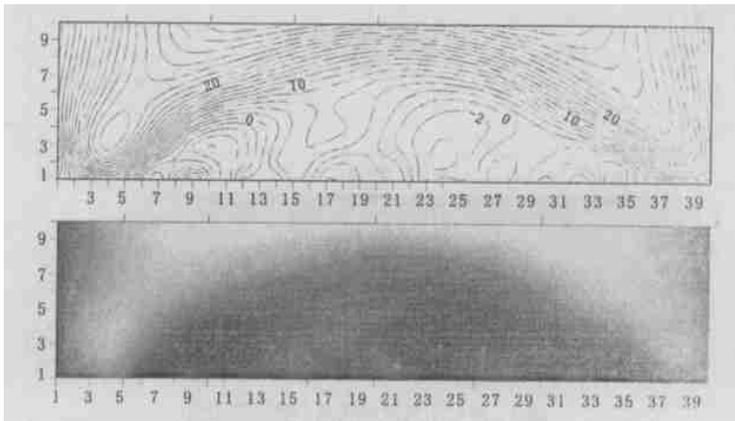


图 3 阿巴嘎旗气象站降水小波系数图象

Fig. 3 Wavelet coefficient figures of precipitation of Abag Banner meteorological station

2.2 内蒙古年均气温降水变化的空间分异

借助小波分析, 讨论了内蒙古各个气象台站在不同时间尺度上的气温变化格局。由于气候变化所具有的区域特征, 在本次研究过程中, 通过对比全部气象台站气温和降水在小尺度(4~ 8 年)、中

尺度(16~ 24 年)和大尺度(32~ 36 年)上的具体变化特点, 可将 27 个气象台站分成若干类型。表 1 和表 2 分别列出气象台站根据气温和降水三个尺度变化特征进行分类后的结果, 需要说明的是, 表 1 和表 2 第三栏中提到的中小时间尺度上的气

表 1 根据气温变化特征得到的内蒙古气象台站分类

Table 1 Sorting of meteorological stations according to air temperature

气温标识	气象台站	气温变化特征描述
10	牙克石市博克图, 海拉尔, 科尔沁右翼前旗阿尔山	大尺度上有明显的由冷变暖的气温变化特征; 中小尺度上以相对高温为主, 具有频繁、明显的冷暖周期变化
6	阿巴嘎旗, 多伦, 东乌珠穆沁旗, 锡林浩特, 西乌珠穆沁旗	大尺度上以相对高温为主, 略有增暖趋势; 中小尺度上具有较为频繁、明显的冷暖周期变化
3	巴林左旗林东, 达尔罕茂明安联合旗百灵庙, 化德, 林西, 二连浩特	大尺度上以相对高温为主, 略有增暖趋势; 中小尺度上以相对低温为主, 有不太明显的冷暖周期变化。
2	敖汉旗宝国图, 阿拉善左旗吉兰泰, 包头, 赤峰, 东胜, 鄂托克旗, 呼和浩特, 集宁, 临河, 苏尼特右旗朱日和, 通辽, 乌兰浩特, 乌拉特中旗海流图, 扎鲁特旗鲁北	大尺度上以相对高温为主, 略有增暖趋势; 中小尺度上以相对低温为主, 没有明显的冷暖周期变化

表 2 根据降水变化特征得到的内蒙古气象台站分类

Table 2 Sorting of meteorological stations according to precipitation

降水标识	气象台站	降水变化特征描述
10	阿拉善左旗吉兰泰, 鄂托克旗, 乌拉特中旗海流图	大尺度上以降水高值为主, 略有由多到少的变化趋势; 中小尺度上有频繁、明显的降水多少周期变化
6	阿巴嘎旗, 包头, 东胜, 呼和浩特, 集宁, 临河, 二连浩特, 锡林浩特	大尺度上以降水高值为主, 部分台站略有由多变少的趋势; 中小尺度上有较为频繁、明显的降水多少周期变化
5	敖汉旗宝国图, 巴林左旗林东, 赤峰, 达尔罕茂明安联合旗百灵庙, 化德, 海拉尔, 林西, 苏尼特右旗朱日和, 乌兰浩特	与降水标识为 6 的气象台站的降水变化特征基本相同, 只是在中小尺度上的降水周期变化表现得相对弱一些
2	多伦, 东乌珠穆沁旗, 通辽, 西乌珠穆沁旗, 扎鲁特旗鲁北	大尺度上以降水高值为主, 部分台站略有“多-少-多”的变化格局; 中小尺度上没有明显的降水多少周期变化

温冷暖和降水多少周期变化(明显或不明显), 指的是在 20 世纪 60 年代初至 80 年代末这段时间内的气温和降水变化特征。

表 1 和表 2 中第一栏分别列出气温标识和降水标识, 这是作者针对气象台站气温和降水在不同时间尺度上的变化特征给出的一种量化标度, 将其作为气象台站的第三维属性, 从而能把气候变化与其对应的空间分布联系起来。将气温标识和降水标识连同气象台站的经纬度坐标导入 GIS 中, 借助 GIS 对空间数据的分析表现能力, 探讨内蒙古近 40 年来气候变化的空间分布格局。

表 1、表 2 中的 27 个气象台站的气温标识和降水标识做为原始数据, 同时因气候变化的区域特征, 采用地统计学中常用的普通 kriging 插值方法, 得到内蒙古气候变化的空间分布格局(图 4)。

图 4a 表现沿纬度分布的变化格局。总体来说, 从中、小时间尺度来看, 随纬度的升高, 气温的冷暖周期变化越来越频繁和明显, 同时也表现出一定的增暖趋势; 从大时间尺度来看, 图 4a 说明气温增暖趋势随纬度的升高表现得更明显。另外图 4a 中, 温度标识为“2”的气温变化类型在内蒙古西部和内蒙古东部的纬度分布位置并不完全一致, 且随

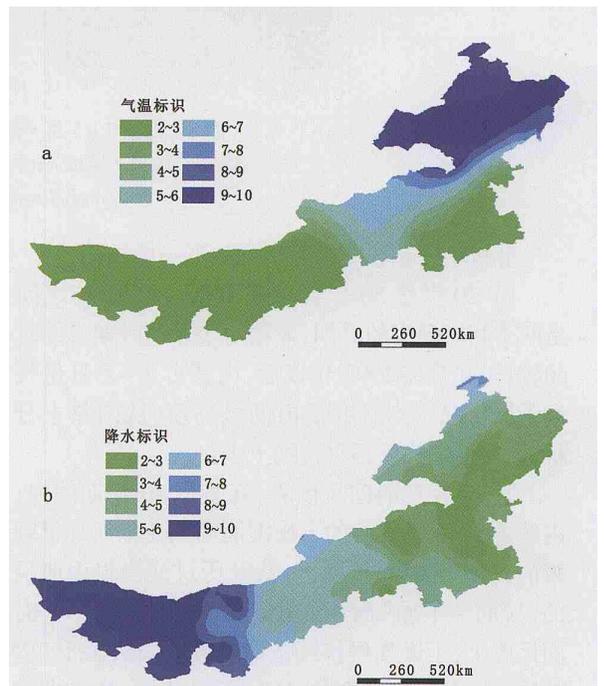


图 4 内蒙气候变化空间分布格局(a. 气温; b. 降水)

Fig. 4 Spatial pattern of climate change in Inner Mongolia

(a) air temperature; (b) precipitation

着经度的东移, 其分布有向高纬移动的趋势, 在 116°E 以东, 各种温度标识的气温变化类型随着经

度东移都有较明显的向高纬移动的趋势。说明相同纬度上(主要集中在 $41^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ 间), 内蒙古西部气温变化较东部更频繁和明显^[27]。

图 4b 基本表现出一种沿经度分布的降水变化格局, 在 116°E 以西更明显。总体说, 图 4b 更多表现出降水在中、小时间尺度上一种变化趋势, 即随着经度西移, 年均降水多少的周期变化更频繁和明显; 从大时间尺度上观察, 年均降水量在内蒙古西部略有减少趋势, 但表现并不明显。在 116°E 以东, 年均降水变化的空间分布格局有一点散乱, 略呈现出环状的空间结构特征, 但在局部地区仍旧存在沿经度变化的特点。

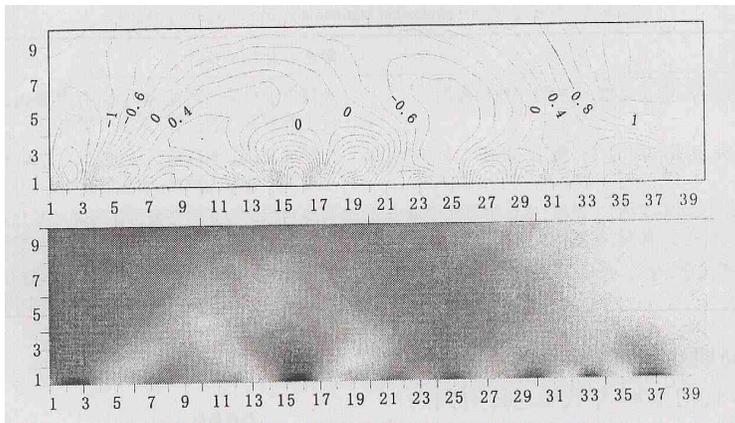


图 5 内蒙 3~5 月干燥指数距平值小波系数图象

Fig. 5 Wavelet coefficient figures of drought index anomalies of

Inner Mongolia in March–May

分析小波系数图象后得到如下一些结论:

1) 20 世纪 50 年代末和 1980~1982 年之间是两个相对湿润的时期, 而相对干燥的时期持续时间较长, 并且在 1994 年以后, 内蒙古 3~5 月份气候干燥状况达到研究期内的最高值, 从图象上分析, 这种干燥气候还将持续下去。

2) 从小的时间尺度看, 在整个 40 年期间内, 内蒙古 3~5 月气候的干燥湿润周期变化还是很频繁的, 在中等时间尺度上, 共经历过两次较为明显的“湿润-干燥”周期变化。总的来看, 在中小时间尺度上, 干燥气候持续的时间较长, 而湿润气候持续时间较短。从大的时间尺度上分析, 存在非常明显的气候由湿润到干燥的变化趋势。

3) 对内蒙古 3~5 月份气温和降水距平值时间序列进行小波分析, 从大的时间尺度看, 20 世纪 80 年代以后, 气温和降水都经历了增加过程, 但相比较而言, 气温增加趋势更显著; 降水在 1993 年后

2.3 内蒙古 3~5 月气候干湿状况

本次研究中, 笔者将 27 个气象台站每年 3~5 月气温、降水数据进行累积并求均值, 根据参考文献^[25]列出的计算干燥指数的公式^[38], 得到内蒙古 40 年来 3~5 月份气候干燥指数时间序列。干燥指数计算公式:

$$I = \frac{T}{\log(P)} \quad (5)$$

其中, I 为干燥度指数, T 为温度, P 为降水量。

用墨西哥帽小波对 3~5 月干燥指数距平值的时间序列进行连续小波变换(图 5), 纵轴表示小波尺度, 横轴表示相对时间(以 1956 年作起始年份)。

已经呈现出减少的趋势。就内蒙古自治区全境尺度而言, 20 世纪 80 年代以后的 3~5 月气候干湿状况可以确定为“暖干”。

3 结论与讨论

1) 总体上看, 1956~1958 是在本次研究 40 年中最冷的年份, 而 20 世纪 60 年代初和进入 90 年代以后是两个主要的气温升高和降水增加时期。从大的时间尺度上考察, 气温和降水基本处于相对高值, 气温有逐渐增加的趋势, 部分气象台站的降水有减少的趋势; 而在中小尺度上, 气温和降水变化具有更多的表现形式, 这主要体现在气温冷暖变化和降水多少变化的频率和强度上。

2) 内蒙古气温变化的空间分布格局具有明显的沿纬度分布的特征; 而降水变化的空间分布格局基本上体现了一种沿经度分布的特征。

3) 对于 40 年来内蒙古 3~5 月的气候干湿状

况, 20 世纪 50 年代末和 1980~1982 年间是两个相对湿润的时期, 1994 年以后气候最为干燥。从大的时间尺度上分析, 存在非常明显的气候由湿润到干燥的变化趋势; 在中小尺度上, 干湿状况变化较为频繁。

4) 有关地理现象的格局、过程和尺度的研究是地学研究中的前沿问题^[39~41], 至今还没有形成统一、成熟的科学研究范式。本文借助小波变换所具有的多分辨率分析的特点, 描述气候变化的多尺度特征, 并将这种特征通过赋予数值属性的方式实现某种程度的定量化, 然后采用空间插值的方式“映射”到空间平面上, 就能够描述由于时间尺度上的推绎——即从小时间尺度一直变化到大的时间尺度——所引起某种地理现象在空间上的格局变化, 从而能够更为深刻和精细地刻画地理现象的时空变化过程。从研究途径上而言, 本文更多的是提供了一个思路而远非一个成熟稳健的研究方法。这是因为对于如何将时间尺度的变化特征映射到空间分布上, 文中所采用的“赋予属性值”是一种“定性化”而非“定量化”研究方法, 或者说是一种“半定量化”的研究方法。这种方法最大的问题就是在赋值过程中不得进行尺度上的离散化以及忽略许多其它重要细节, 并且研究者的主观判断对于获得客观公正的研究成果构成某种程度上的损害。尽管如此, 作者认为本文还是提供了一个可行的研究方法, 即在地理现象的时间尺度和空间格局之间建立了一个联系的纽带, 并且得到了一些有意义的结论。

参考文献:

- [1] 张志强, 孙成权. 全球变化十年新进展[J]. 科学通报, 1999, 44(5): 464~477.
- [2] IGBP. IGBP in Action: Work Plan 1994-1998[R]. IGBP Report No. 28, 1994.
- [3] 林海. 中国全球变化研究的回顾与展望[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 19~25.
- [4] 邓慧平, 李爱贞, 刘厚凤, 等. 气候波动对莱州湾地区水资源及极端旱涝事件的影响[J]. 地理科学, 2000, 20(1): 56~60.
- [5] 陈敬安, 万国江, 陈振振, 等. 洱海近代气候化的化学记录[J]. 地理科学, 2000, 20(1): 83~87.
- [6] 骆高远. 我国对厄尔尼诺、拉尼娜研究综述[J]. 地理科学, 2000, 20(3): 264~269.
- [7] 曹建廷, 王苏民, 沈吉, 等. 近千年来内蒙古岱海气候环境演变的湖泊沉积记录[J]. 地理科学, 2000, 20(5): 391~396.
- [8] 杨保, 康兴成, 施雅风. 近 2000 年都兰树轮 10 年尺度的气候变化及其与中国其它地区温度代用资料的比较[J]. 地理科学, 2000, 20(5): 397~402.
- [9] 龚道溢, 王绍武. 北半球冬季纬向平均环流的结构及对我国气候的影响[J]. 地理科学, 2001, 21(2): 108~112.
- [10] 张一平, 李佑荣, 彭贵芬, 等. 昆明城市发展对室内外平均气温影响的研究[J]. 地理科学, 2001, 21(3): 272~277.
- [11] 王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 利用树木年轮资料重建祁连山中段春季降水的变化[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 373~377.
- [12] 杨保, 施雅风. 近 2000 年古里雅冰芯气候变化的子波分析[J]. 地理科学, 2001, 21(6): 488~492.
- [13] 赵昕奕, 张惠远, 万军. 青藏高原气候变化对气候带的影响[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 190~195.
- [14] 吴正方. 东北地区植被过渡带生态气候学研究[J]. 地理科学, 2002, 22(2): 219~225.
- [15] 孙力, 安刚, 丁立. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究[J]. 地理科学, 2002, 22(3): 311~316.
- [16] 张玉兰, 杨永兴. 中全新世以来黑龙江同江地区的孢粉组合与植被、气候演化[J]. 地理科学, 2002, 22(3): 426~429.
- [17] 曹建廷, 金章东, 沈吉, 等. 近 800 年来内蒙古岱海地区古气温的定量重建[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 298~303.
- [18] 邵晓华, 汪永进, 孔兴功, 等. 南京葫芦洞石笋生长速率及其气候意义讨论[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 304~309.
- [19] 吴正方, 靳英华, 刘吉平, 等. 东北地区植被分布全球气候变化区域响应[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 564~570.
- [20] 杨学明, 张晓平, 方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学, 2003, 23(1): 101~106.
- [21] 张金屯. 全球气候变化对自然土壤碳、氮循环的影响[J]. 地理科学, 1998, 18(5): 463~471.
- [22] 杨保, 施雅风. 近 2000 年古里雅冰芯气候变化的子波分析[J]. 地理科学, 2001, 21(6): 488~492.
- [23] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 2000, 35(1): 98~106.
- [24] 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[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431~439.
- [25] 陈龙勋, 朱文勤, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257~271.
- [26] 王绍武, 蔡静宁, 慕巧珍, 等. 中国西部年降水量的气候变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 415~422.
- [27] 廉毅, 高枞亭, 任红玲, 等. 20 世纪 90 年代东北地区荒漠化的发展与气候区域变化[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 730~736.
- [28] 姜逢清, 朱诚, 胡汝骥. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 669~672.
- [29] 王张华, 陈中原, 寇莹, 等. 太湖流域 960 年以来的气候干湿变化研究[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 546~551.
- [30] 王红亚, 汪美华, 谢强, 等. 泥河湾盆地东部中全新世晚期的干/冷干事件与中全新世湿润状况的结束[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 557~562.
- [31] 何云玲, 张一平, 刘玉洪, 等. 昆明城市气候水平空间分布特征[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 724~729.
- [32] 王翠花, 李雄, 缪启龙. 中国近 50 年来日最低气温变化特征

- 研究[J]. 地理科学, 2003, 23(4): 442~ 448.
- [33] 赵景波. 关中地区全新世大暖期的土壤与气候变迁[J]. 地理科学, 2003, 23(5): 554~ 559.
- [34] 闫敏华, 邓伟, 陈泮勤. 三江平原气候突变分析[J]. 地理科学, 2003, 23(6): 661~ 667.
- [35] 史培军, 王静爱, 谢云, 等. 最近 15 年来中国气候变化、农业自然灾害与粮食生产的初步研究[J]. 自然资源学报, 1997, 12(3): 197~ 203.
- [36] 邱新法, 曾雁, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316~ 322.
- [37] 林振山. 气候建模、诊断和预测的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [38] 刘洪滨, 邵雪梅, 黄磊. 中国陕西关中及周边地区近 500 年来初夏干燥指数序列的重建[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 220~ 229.
- [39] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology[J]. Ecology, 1992, 73: 1943~ 1967.
- [40] Stein A, Riley J, Halberg N. Issues of scales for environmental indicators[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000, 87(2): 215~ 232.
- [41] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

Multiscale Studies on Climatic Change and It's Spatial Heterogeneity in Recent 40 Years: a Case Study in Inner Mongolia

LU Yun-Ge, LI Shuang-Cheng, CAI Yun-Long

(Department of Resources and Environmental Geosciences/ The Center for Land Study, Peking University, Beijing 100871;
Laboratory for Earth Surface Processes, the Ministry of Education, Beijing 100871)

Abstract: After analyzing average annual temperature and precipitation of the 27 meteorological stations in Inner Mongolia from 1956 to 1995 using wavelets transformation, the authors draw following conclusions. (1) The coldest period was from 1956– 1958 and there were two main accretion periods of both air temperature and precipitation at the beginning of the 1960s and 1990s. Observed from large scale of time, i. e. between 36 years and 40 years, both air temperature and precipitation were in the state of relatively high values. Meanwhile, temperature had an increasing trend while some meteorological stations' precipitation was gradually decreasing. On the moderate scale and small scale of time, i. e., between 16 years and 20 years and between 4 years and 8 years, air temperature and precipitation both had more varying forms embodied in their changing frequency and fluctuation intensity. (2) Based on multiscale characters of air temperature and precipitation respectively, the authors use some numeric numbers to describe those characters and sort the meteorological stations as four types. This paper shows the spatial patterns of air temperature and precipitation change using the ordinary Kriging interpolating method. The spatial pattern of air temperature change of Inner Mongolia has the trend of varying with latitude while the spatial pattern of precipitation change has the rough trend of varying with longitude. (3) In the end, the dry-humid features from March to May of Inner Mongolia are studied in this article that include two humid periods happened at the end of the 1950s and in 1980– 1982 and a driest period happened after 1994. On the large scale, a clear trend of turning from humidity to dryness can be detected. On the moderate scale and small scale, the change between humidity and dryness are relatively frequent.

Key words: climatic change; wavelets transformation; multiscale analysis; distribution pattern; spatial heterogeneity; Inner Mongolia