

文章编号: 1000-0585(2002)01-0054-07

# 温度与降水变化的小波分析及其环境效应解释 ——以东北农牧交错区为例

张军涛<sup>1</sup>, 李 哲<sup>2</sup>, 郑 度<sup>2</sup>

(1. 东北财经大学公共管理系, 大连 116025; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 中国东北农牧交错区属于环境变化的过渡区域和敏感区域, 是最容易感受气候变化的地带之一。该文运用小波分析方法, 对 50 年代以来东北农牧交错区典型站点的温度和降水变化情景进行了分析, 主要分析了其变化的多尺度特征和规律; 区域和样地分析结果表明, 降水与温度的时空变化是导致土地退化和环境变化的重要驱动力。

**关键词:** 农牧交错区; 温度与降水变化; 小波分析; 环境效应

**中图分类号:** P467; O174.22 **文献标识码:** A

在对全球气候和环境变化的分析中, 人们发现生态过渡带具有明显的生态相梯度和气候梯度, 在动力学上是不稳定的<sup>[1]</sup>。属于生态过渡带的中国东北农牧交错区是最容易感受气候变化的地带之一。本文运用小波分析方法, 对 50 年代以来东北农牧交错区温度和降水变化的特征和规律进行了分析, 并说明了其在区域土地退化和环境变化中所起的作用。

## 1 小波分析的基本方法

小波分析能反映时间序列的局部变化特征, 可以看到每一时刻在各周期中所处的位置, 能够更好地分析序列随时间的变化情况。小波分析是在傅里叶 (Fourier) 变换的基础上引入了窗口函数, 其变换公式为:

$$f(\tau, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} f(t) g\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$

其中,  $\tau$  是时间参数, 是相对于  $t$  时刻作了  $a$  长度的平移;  $a$  为子波数;  $1/a$  为频率;  $g(t)$  为小波母函数。通过小波分析可以得到时间序列在任一时刻的频率特征以及在时间—频率上的变化特征<sup>[2]</sup>。

小波变换基于仿射群的不变性 (平移和伸缩的不变性), 允许把一个时间序列分解为时间和频率的贡献, 它对于获取一个复杂时间序列的调整规律, 诊断出气候变化的内在层次结构, 分辨时间序列在不同尺度上的演变特征等是非常有效的。小波分析在研究气候变化的多尺度结构和突变特征等方面取得了十分明显的效果, 为客观地研究气候变化的层次规律和特征提供了新的方法。

为了分析全球环境变化宏观背景下, 中国东北农牧交错区代表性站点的温度和降水近

收稿日期: 2001-07-02; 修订日期: 2001-10-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助 (49731020)

作者简介: 张军涛 (1963-), 男, 河北省石家庄市人, 博士, 教授, 主要从事自然地理综合研究、区域经济与可持续发展等方面的研究, 已发表论文 30 多篇, 合作出版著作 4 部。E-mail: juntao.zhang@263.net

45 年来的变化趋势，本文采用了连续 Daubechies 变换分析。Daubechies 小波常记为  $\phi_D^N(N-2)$ ，它是通过重复一些离散滤波器建立的具有紧支集的规范正交小波， $\phi_D^N$  及其  $\phi_D^N$  没有显式解析式，具有不对称性，因此不具有线性相位，光滑性较差。要增加其光滑性，就得增加支集的长度  $N$ ，这样就增加了实际的运算量<sup>[3]</sup>。计算中所用的滤波器系数  $h(n)$  用数表给出，而  $g(n)$  则由下式计算：

$$g(n) = (-1)^{n-1} h(2N - n + 1) \quad n = 1, 2, \dots, 2N$$

其支集为：

$$SUPP \phi_D^N = [(N-1), N], SUPP \phi_D^N = [0, 2N-1]$$

## 2 小波分析结果

本文在 7 个不同尺度上对赤峰、四平、通辽、乌兰浩特、锡林浩特和彰武 1950 ~ 1995 年温度和降水（逐年逐月数值）的变化进行了分析（数据来自国家和各省市气象局），得出了这 6 个代表性站点降水和温度在时间系列上对应于不同尺度的结构特征和变化规律（受篇幅的限制，只列出两个典型站点降水与温度的小波分析图，见图 1、图 2）。

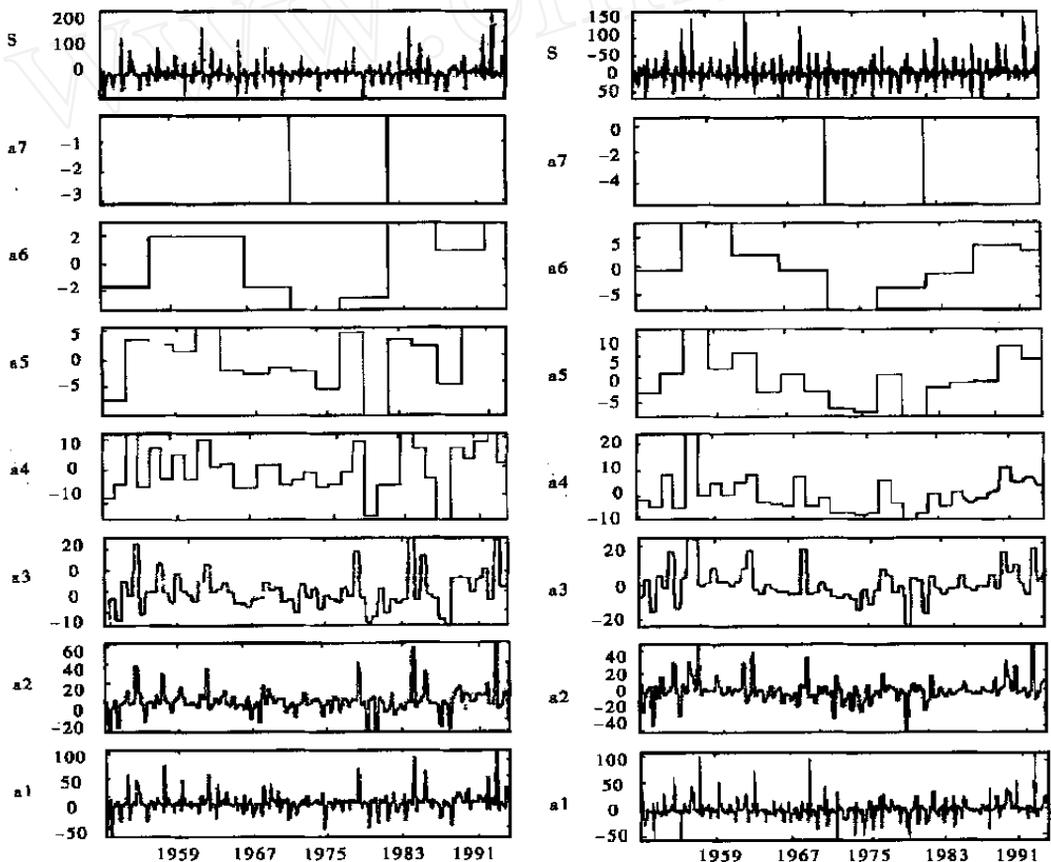


图 1 赤峰(左)、通辽(右)降水变化的小波分析

Fig. 1 Wavelet analysis of precipitation in Chifeng and Tongliao

图中 a1 ~ a7 分别是 6 个月、1 年、2 年、4 年、8 年、16 年和 32 年尺度的近似小波系数变化曲线；s 为原始数据距平值变化曲线；横坐标为年份。这里只对 32 年尺度、16 年尺度和 8 年尺度上降水和温度的变化情形进行分析，通过这 3 个尺度的分析可以看出它们各自的变化情况。而更小尺度的变化曲线则反映了大尺度背景下的详细变化过程。

由于 6 个站点选自不同的地区，因此，可以用来说明东北农牧交错区温度与降水的变化趋势。

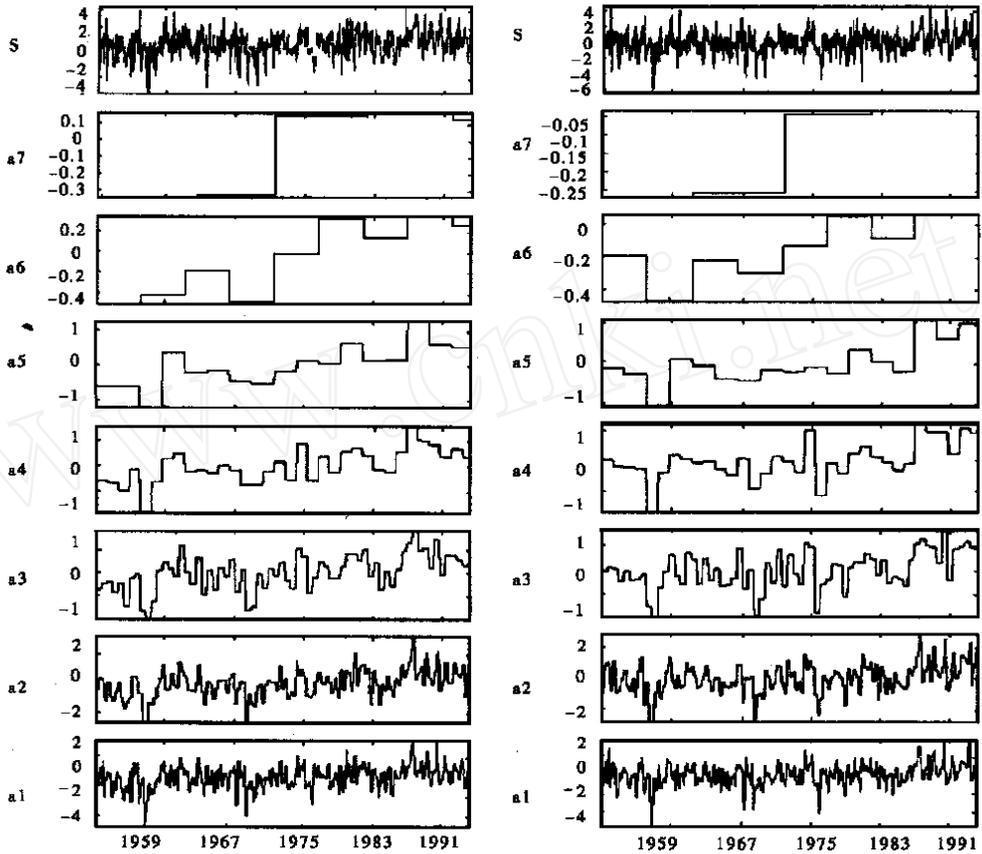


图 2 赤峰 (左)、通辽 (右) 温度变化的小波分析

Fig. 2 Wavelet analysis of temperature in Chifeng and Tongliao

### 2.1 降水变化趋势分析

为了对照图形进行分析，首先说明赤峰与通辽两个站点降水的变化情景。(1) 赤峰：在 32 年尺度上表现出 1961 ~ 1969 年为一相对高值期，从 1970 ~ 1982 年为一低值期。此后，降水又趋于增加。16 年尺度上，从 1951 ~ 1967 年为降水由少到多逐渐增加的时期；1968 ~ 1977 年表现为降水减少的变化趋势；在 1977 年以后降水又趋于增多，在 1988 ~ 1992 年又出现一个向下的波动变化。在 8 年尺度上，可以反映出较小尺度上多雨期和少雨期的变化情形，并表现为高值期和低值期相间分布。但是在总体上看不出明显的变化趋势。(2) 通辽：在 32 年尺度上的表现是 1951 ~ 1956 年为降水低值期，1957 ~ 1971 年为

高值期, 1972~1977 年为低值期。在 16 年尺度上表现出了两个多雨时期和两个少雨时期, 它们是相间分布的。1956 年之前和 1967~1987 年为降水低值期, 其中在 1972~1977 年达到了极端低值期。1956~1961 年和 1987~1992 年为高值期。在 8 年尺度上, 呈现出由低 高 低 高的动态变化。可以反映出较小尺度上降水量的高低变化情形。同时还反映出 1991 年以后的降水量要高于 1964~1971 年期间的降水量。

对 6 个典型站点近 45 年来降水变化的小波分析表明, 在 32 年尺度上, 赤峰、通辽和乌兰浩特在 1961~1969 年为降水的高值期, 1972~1977 年为低值期; 锡林浩特和彰武在 1963~1973 年为降水低值期, 1974~1983 年则为降水高值期; 四平而降水变化类似于锡林浩特和彰武, 而不同于其它三个地点。在 16 年尺度上, 除彰武之外的其它地点在 50 年代到 60 年代初为降水增加时期或高值期; 四平、赤峰和锡林浩特在 60 年代到 70 年代为降水量减少的趋势, 通辽和乌兰浩特降水量减少的趋势则从 60 年代一直延续到了 80 年代; 赤峰、四平在 80~90 年代呈现出降水量逐渐减少趋势, 其它地点则是增加趋势; 各个地点的变化情形具多样化。在 8 年尺度上表现出降水高值期和低值期相间分布的情形, 高低变化的周期和幅度各有不同, 但是都没有一种明显的总的变化趋势。

总之, 各个地点的降水量均呈现出一种动态变化过程, 降水量的相对高值期和低值期是相间分布的。从近 45 年来的变化情形看, 没有表现出一种明显的增加或减少的趋势。这与降水量受多种因素的影响以及具有错综复杂的关系直接相关。

## 2.2 温度变化趋势分析

从图中可以看到赤峰与通辽两个站点温度变化的情景。(1) 赤峰: 在 32 年尺度上, 1961~1971 年为一低温时期, 1972~1983 年为一高温期; 在 1992 年之后有一个小的波动。但是, 在整体上具有逐渐增加的趋势。在 16 年尺度上, 可以反映出 1971 年以前气温为高低变化情形, 其中, 在 1967~1971 年为一明显的低温时期。此后, 气温逐渐上升。当然, 在这期间也有波动性的变化, 但降低幅度不是很大。在 8 年尺度上曲线的起伏变化更加明显, 在 1971 年之前为低温期, 从 1956~1958 年为一个极端低温期, 紧跟着便出现了 1958~1961 年的升温期。1971 年以后, 气温逐渐升高, 在 1988~1990 年达到近 45 年来的最高值期。此后, 出现一个向下的变化, 但幅度并不大。(2) 通辽: 在 32 年尺度上的变化情况是 1961~1971 年期间为低温期, 1972~1983 年间为高温期。在 16 年尺度上, 波形的变化与前两者有所不同, 但在总体上仍呈现出逐渐增温的趋势。1951~1961 年期间气温呈下降的趋势, 1956~1960 年为一低温期。在此之后气温呈上升趋势, 然而在这种情形下也有高低起伏的变化。在 8 年尺度上, 波形的变化类似于前两者, 其中 1956~1960 年为明显的低温期, 1987~1990 年为明显的高温期。在此之后, 虽有向下的波动, 但高于 1987 年以前的年份。

各个地点不同尺度上温度变化的小波分析曲线显示, 在 32 年尺度上, 6 个地点具有相同的变化趋势, 即 1961~1971 年为相对低温期, 1972~1983 年为相对高温期, 1992 年之后均有小的波动。在 16 年尺度上, 各个地点的小波分析曲线产生了差别, 反映了不同的气温变化周期和幅度。其中锡林浩特波形的变化与赤峰、通辽、四平和乌兰浩特的不同, 表明了高值期与低值期变化的差别; 而彰武则是在 1957~1962 年的气温变化不同于其它几个地点。在 8 年尺度上, 更清楚地反映出了各个地点不同的小周期变化。然而各地点在多种变化情形下均表现出一种逐渐增温的趋势。

通过对 6 个地点近 45 年来气温变化情况的分析表明, 在周期性的高低变化情况下(分析的尺度越小, 这种变化表现的越明显), 总体上均呈现出一种气温逐渐升高的趋势。

### 3 降水、温度的时空变化与区域土地退化和环境变化

在气候因素中降水的波动性和集中性在区域土地沙漠化过程中起着非常重要的作用。本区气候的稳定性差, 干燥、少雨、多风, 降水的季节分配不均<sup>[4]</sup>。夏季东南季风是形成本区降水的主要因素, 并且主要集中在 6、7、8 三个月; 夏季降水占全年降水的 70% 以上(有的站点约 70%), 冬季仅占全年降水量的 0.8~1.7%。表 1 显示了几个代表性站点降水在一年中的分配。

降水的另一个特点是年际变化大, 多雨年降水量可为少雨年的 2~3 倍, 甚至更高。降水量的年际、多年变化的波动性和跃变性会导致东北农牧交错区这种过渡性生态系统波动变化。对赤峰、通辽、乌兰浩特和锡林浩特四个站点 1951~1990 年的降水资料进行分析, 可以看到其降水的年际变化很大, 波动系数均 >20; 赤峰和通历年降水量的最大值是最小值的 2.72 倍和 2.98 倍; 乌兰浩特和锡林浩特则分别是 3.12 倍和 3.83 倍(表 2)。降水量的这种波动性实质上是一种跃变性的变化, 降水量的跃变性决定了该区域生态环境具有脆弱和易发生灾变的特征。降水的这一变化特征与其它环境要素结合在一起, 导致了区域土地的退化和区域生态系统结构和功能的变化。

表 1 典型站点降水时间分配 (mm)

Tab. 1 Temporal distribution of precipitation in typical sites (mm)

地点	春			夏			秋			冬		全年	
	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月		2月
扎鲁特旗	4.2	7.4	23.9	71.5	129.7	95.2	30.8	18.5	3.3	1.4	0.8	1.6	388.3
翁牛特旗	4.8	9.7	28.3	59.4	109.6	95.8	36.5	16.2	3.8	1.5	1.4	2.4	369.4
开鲁	4.6	8.5	24.4	59.5	114.5	70.8	29.4	20.3	3.1	1.4	1.1	1.8	339.4
赤峰	5.6	14.8	33.4	71.3	96.8	81.7	36.1	16.2	4.1	1.3	1.5	3.1	365.9
通辽	6.1	13.7	31.8	71.6	112.5	83.6	36.2	22.0	4.5	1.7	1.3	3.3	388.3

注: 扎鲁特旗和开鲁的资料为 1953~1990 年, 翁牛特旗的资料为 1957~1990 年, 赤峰和通辽的资料为 1951~1995 年。

表 2 典型站点年降水量的波动变化 (mm)

Tab. 2 Fluctuation of annual precipitation in typical sites (mm)

地 点	平均值	标准差	波动系数	最大值	年 份	最小值	年 份	最大/最小
赤 峰	358.8	91.4	25.5	564	1954	207	1951	2.72
通 辽	388.9	85.8	22.1	592.2	1956	198.7	1980	2.98
乌兰浩特	430.3	119.7	27.8	747.1	1990	239.7	1967	3.12
锡林浩特	284.3	78.1	27.5	561.4	1959	146.7	1980	3.83

另一方面, 降水量的年变化还通过影响地表植物的生长, 来影响区域系统的结构和功能, 从而引起土地的沙漠化发生。从波动性的角度考虑, 则地上生物量的波动性变化是降

水量波动性变化的进一步反映。在内蒙古奈曼生态网络实验站进行的沙地草场样方调查数据<sup>[5]</sup>和同时期（1986~1992年）降水量的对比表明，一年生植物、多年生植物、灌木和总生物量的波动系数均大于年降水量的波动系数，其放大倍数分别是1.56、1.24、1.03和1.18。这说明降水量的年变化影响地上植物的生长，地上植物的生长状况影响土壤的结构和功能，并影响到地下水的移动和传输过程。

此外，对两个不同时期、同一时段（1992年8月和1995年8月）的遥感图像的分析结果显示，地表覆被状况的变化和发展趋势与温度、降水的时空变化有很大的相关性。通过对典型样地 NOAA/AVHRR 归一化植被指数 (NDVI) 的月平均值与月平均降水量和月平均温度的相关性分析，可以得知 NDVI 与月平均降水量的相关系数在 0.871~0.953 之间，与月平均温度的相关系数在 0.823~0.895 之间。这些结果均表明降水和温度的时空变化是导致土地退化和环境变化的重要驱动力。

## 4 结 论

我国的一些学者曾经从不同的时空尺度对东北农牧交错区的环境演变进行了研究，并着重探讨了历史时期的环境演变规律和气候变化对历史上农牧过渡带的影响<sup>[6~8]</sup>。而本文则针对近45年来全球环境变化背景下该区域的温度与降水的变化情景进行了分析，从中可以看到主要环境要素的变化趋势。因为，气候变量中的趋势成分将直接影响生态系统，并影响到区域生态系统的演变方向。东北农牧交错区在气温不断升高的情况下，叠加上不稳定的降水变化以及其它的自然力和人为力的作用，必将对东北农牧交错区这种脆弱生态地理区域系统的结构和功能产生重要影响，并加剧该区域的土地退化和环境变化。

### 参考文献：

- [1] Martin Kent, Wendy J G, Ruth EW *et al.* Landscape and plant community boundaries in bio-geography. *Progress in Physical Geography*, 1997, 21(3): 315~353.
- [2] 崔锦泰. 小波分析导论. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.
- [3] 李建平主编. 小波分析与信号处理—理论、应用及软件实现. 重庆: 重庆出版社, 1997.
- [4] 黄锡畴, 孟宪玺主编. 东北地区西部生态环境脆弱带研究. 北京: 科学出版社, 1996.
- [5] 常学礼, 等. 科尔沁地区降水对沙地草场地上生物量的影响. *中国沙漠*, 1998, 18(增刊2): 18~21.
- [6] 张军涛, 等. 东北农牧交错区水分条件及其对植被分布的影响. *地理科学*, 2001, 21(4): 297~300.
- [7] 满志敏, 等. 气候变化对历史上农牧过渡带影响的个例研究. *地理研究*, 2000, 19(2): 141~147.
- [8] 韩茂莉. 2000年来我国人类活动与环境适应以及科学启示. *地理研究*, 2000, 19(3): 324~331.

## Wavelet analysis of temperature and precipitation changes and their environmental effects

ZHANG Jun-tao<sup>1</sup>, LI Zhe<sup>2</sup>, ZHENG Du<sup>2</sup>

(1. Department of Public Administration, Northeast Finance and Economics University, Dalian 116025, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The vulnerability of eco-environment and its sensitivity to global environmental change characterize the transitional area of farming and pasturing in Northeast China. The moisture regime is a principal factor, by which the spatial differentiation and variation of the physiographical environment are influenced directly.

The temperate and precipitation changes in the last 45 years (1951 ~ 1995) were analyzed using wavelet analysis method, mainly on the multi-scale properties and law of the changes. The result of the wavelet analysis indicates that changes of the precipitation at each sampling site were dynamic and the distribution of the relative higher and the lower period was in alternation. During the 45 years, the variation trend of the precipitation was palpable. The temperature changed periodically but rose gradually in the 45 years.

An important reflection to regional environmental change is desertification. The relation between the temporal and spatial distributions of precipitation and the plant growth also was analyzed. The result shows that the fluctuation coefficient of plant output is greater than that of precipitation. This phenomenon has a significant effect on the structure and the function of the regional system and the expansion of desertification. By using the vegetation index (NDVI), the result of comparison of land cover for two periods of time indicates that under the impact of the natural conditions and the human activities, regional change of land cover is obvious. The seasonal change of NDVI values of different vegetations shows that the correlation between monthly average NDVI and precipitation is 0.871 ~ 0.953, and the correlation between monthly average NDVI and the temperature is 0.832 ~ 0.895. For the study area, the trend of land desertification and salinization did not change at all from the 1950s to the 1990s. The vulnerable soil parent materials, strong wind force as well as concentrated precipitation and its great annual variations have effective impact on the desertification in the area. So the temperature and precipitation change is the major driving force for the land degradation and the environmental change.

**Key words:** transitional area of farming and pasturing; temperature and precipitation change; wavelet analysis; environmental effect