

利用 R/S 方法分析兰州城市化气候效应^①

赵 晶 杨淑华 王乃昂

(兰州大学资源环境学院,兰州 730000)

提 要

运用 R/S 方法,对 1951~1997 年兰州市城市气候的温度、水汽压、相对湿度和日照百分率等指标的冬(1月)、夏(7月)及年平均值进行了分析计算,各项指标的 Hurst 指数 H 均大于 0.5,说明它们存在明显的 Hurst 现象,反映出兰州市过去 47 年来气候变化存在趋势性成分,即持续性的城市化增暖。至于各项指标的 Hurst 指数在冬、夏及年平均值间有差异,分析证明这是兰州城市化气候效应强度季节不同所造成。

关键词: R/S 分析 城市化效应 Hurst 现象

引 言

近一个世纪以来,北半球的气候明显变暖,我国许多大城市的气温也有逐年上升的趋势,且增温幅度明显大于同期全国平均值的增加幅度。许多学者通过各种手段对这种增温趋势进行了研究。很显然,这种增暖趋势是与近几十年来我国城市的快速发展分不开的。由于城市人口增长,建筑物密度增大,工业飞速发展,排污量增加以及冬季燃煤取暖,使作为区域性气候之一的城市气候的变化,不仅受大尺度的自然气候因子影响,更受到中、小尺度的城市化因子的作用,即人类活动的影响,二者共存于长期的城市气候序列之中^[2]。如何评价城市化过程对气候的影响,当前大都采用同期的城乡对比或城市上风、下风区差等方法,但是按照 Lowry^[3]的意见,这些方法都混有其它地理和自然变化的因子在内,不能充分说明城市化的影响。

兰州市区座落于黄河河谷盆地,周围环山,空气湿度小,静风频率高。随着兰州城市规模和经济的发展,城市气候效应愈加显著。由于兰州市所处的地理位置及其特殊的气象条件,使城市化效应对气候的影响与其他城市相比更加明显。本文拟在过去工作^[4]的基

础上,采用 R/S 方法分析兰州城市气候序列,以定量说明城市化效应的影响强度。

1 资料和方法

1.1 气候资料

我们主要选取兰州市 1951~1997 年温度、水汽压、相对湿度和日照百分率的冬季(1月)、夏季(7月)及年平均值为分析指标,进行 R/S 分析。这些资料来源于兰州中心气象台,可确保其准确性和精度误差。

1.2 分析方法

R/S 分析法最早是由 Hurst 在总结尼罗河的多年水文观测资料时提出的一种分析方法,后来 Mandelbrot and Wallis 又在理论上对该方法进行补充和完善^[5,6],近些年该方法在分形研究中得到许多应用,其主要原理为:

考虑一个时间序列 $\{\xi(t)\}$, $t = 1, 2, \dots$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 定义均值序列:

$$\langle \xi \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (1)$$

累积离差为:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (\xi(u) - \langle \xi \rangle_{\tau}) \quad (2)$$
$$1 \leq t \leq \tau$$

极差为:

^① 甘肃省自然科学基金资助项目

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \\ \tau = 1, 2, \dots \quad (3)$$

标准差为:

$$S(\tau) = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\xi(t) - (\bar{\xi})_{\tau})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \tau = 1, 2, \dots \quad (4)$$

现考虑比值 $R(\tau)/S(\tau) \stackrel{\Delta}{=} R/S$, 若存在如下关系:

$$R/S \propto \tau^H \quad (5)$$

则说明所分析的时间序列存在 Hurst 现象, H 称为 Hurst 指数。 H 值可根据计算出的 $(\tau, R/S)$ 的值, 在双对数坐标系 $(\ln \tau, \ln R/S)$ 中用最小二乘法拟合式(5)得到。根据 H 的大小, 我们可以判断该时间序列是完全随机的抑或是存在趋势性成分。趋势性成分是表现为持续性(Persistence)还是反持续性(Antipersistence)^[7]。

Hurst 等人曾证明, 如果 $\{\xi(\tau)\}$ 是相互独立、方差有限的随机序列, 则有 $H = 0.5$ 。对应于不同的 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$, 存在以下几种情况:

(1) $H = 0.5$, 如上所述, 即各项气候指标完全独立, 相互没有依赖, 气候变化是随机性的。

(2) $0.5 < H < 1$, 说明时间序列具有长期相关的特征, 即过程具有持续性(Persistence)。反映在气候指标上, 则表明未来的气候整体变化将与过去的变化趋势一致, 如过去整体升温的趋势预示将来的整体趋势还是升温, 反之亦然。且 H 值越接近 1, 持续性就越强。

(3) $0 < H < 0.5$, 表明时间序列具有长期相关性, 但将来的总体趋势与过去相反, 过程具有反持续性(Antipersistence)。在这种情况下, 气候环境演化的未来总体趋势将与过去相反。过去的变暖趋势预示着未来的变冷趋势, 而过去的变冷趋势使未来可能出现变暖趋势。

从上可以看出, Hurst 指数能很好地揭示出时间序列中的趋势性成分, 并代表了趋势性成分的强度^[8]。我们按照上述步骤, 对兰州市温度、水汽压、相对湿度和日照百分率各

指标进行了 R/S 分析(图 1), 每项指标都选取 47 个 τ 值进行计算(得到表 1), 由表 1 可见兰州市各气候指标都存在明显的 Hurst 现象。

表 1 兰州市各气候指标的 Hurst 指数

项目	气温	水汽压	相对湿度	日照百分率
1月	0.85	0.80	0.74	0.89
7月	0.68	0.73	0.72	0.62
年平均	0.80	0.64	0.78	0.91

2 结果分析与讨论

2.1 平均气温

从表 1 可以看到, 兰州 1 月平均气温的 H 值 0.85 远大于 7 月值 0.68, 年平均气温的 H 值则介于两者之间。图 2 是兰州市 1 月、7 月和年平均气温 5 年滑动平均值随时间的变化曲线, 从中可以看出兰州冬季(1 月)和年平均气温具有增高趋势, 夏季(7 月)气温却呈下降的趋势。虽然此方法能揭示城市化气候变化的特点, 但却不能定量分析城市化气候效应的强度。而 R/S 分析结果一方面说明兰州冬季及年平均气温随着在过去 47 年中逐渐升高的趋势在未来可能仍将逐渐升高, 夏季气温可能会继续降低; 另一方面, 由于 0.85 远大于 0.68, 则从定量角度说明冬季的升温趋势明显强于夏季的降温趋势, 即冬季的城市化效应远高于夏季。以此我们对上述城市化增暖效应的定性分析给予了一个量化的指标。其中年平均气温的 Hurst 指数更接近冬季(1 月)值, 表明冬季气温变化趋势, 亦即城市化效应对全年平均气温的变化有更大的作用。

至于造成这种城市化气候效应季节差异的原因, 可以从两方面来解释。首先, 兰州是高原河谷盆地城市, 上空存在较多的大气污染物, 其大量吸收太阳辐射和大气辐射能, 且特殊的地形和气象条件使得冬季城市上空形成了很厚的逆温层, 阻挡城市热量的扩散, 夏季上空的逆温层变得很薄, 热量相对而言则比较容易扩散^[8]。因此兰州冬季热岛强度明显高于夏季, 这在其他一些大城市中也有所反映。其次, 兰州冬季居民燃煤取暖使城市热量大量增加, 也是导致冬季升温显著的一个重要因素。

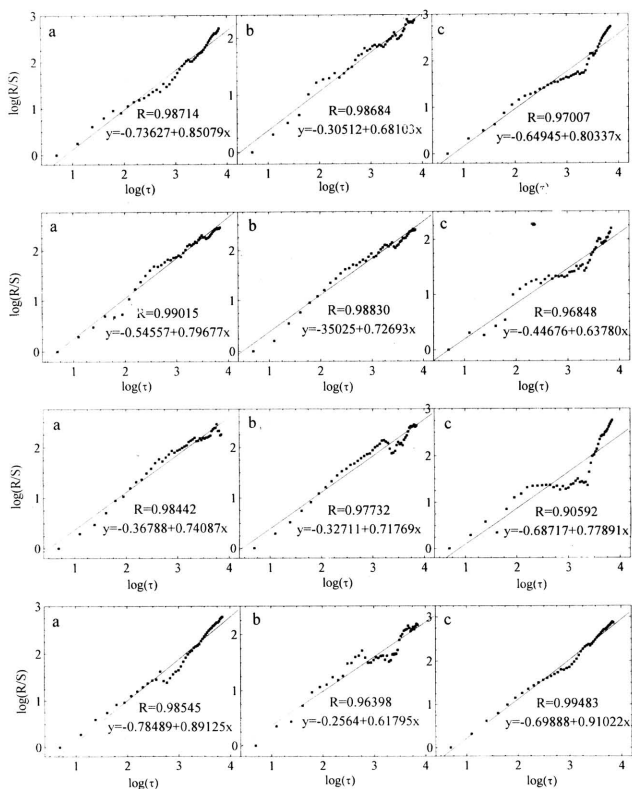


图 1 兰州市气候指标的 R/S 分析结果

a: 1 月, b: 7 月, c: 年平均

2.2 平均水汽压

从水汽压随时间变化的趋势曲线图(图 3)可以看到,兰州市 1 月水汽压呈上升趋势,7 月和年平均水汽压值则呈下降趋势。根据 R/S 分析,由于冬、夏及年平均的 Hurst 指数均大于 0.5,故随着过去增高(冬季)和降低(夏季及年平均)的趋势,兰州市平均水汽压在未来可能仍会呈现冬季增高、夏季降低的趋势,且由于冬季 H 值大于夏季平均水汽压的 H 值,故 1 月水汽压增高趋势将强于 7 月

的降低趋势。造成这一变化的原因,是兰州城市发展的影响。由于城区冬季热岛强度逐年增大,因湍流扰动向近地层输送的水分增多,同时随着工业发展,人口增多,工业生产及居民冬季生活取暖所排放的大量“人为”水汽也对 1 月水汽压的增高起了很大作用。另一方面,随着城区不透水面积增大,夏季降雨很快流入下水管道,使城市下垫面蒸散到空气中的水分减少,城区 7 月水汽压相对降低。

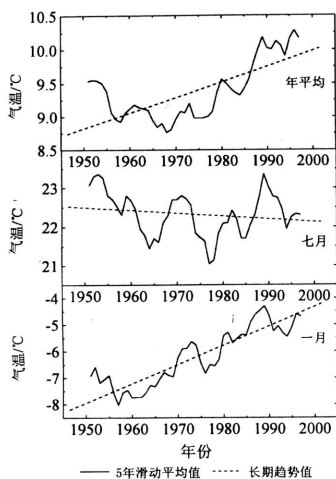


图2 兰州市1月、7月及年平均气温的年度变化曲线(1951~1997)

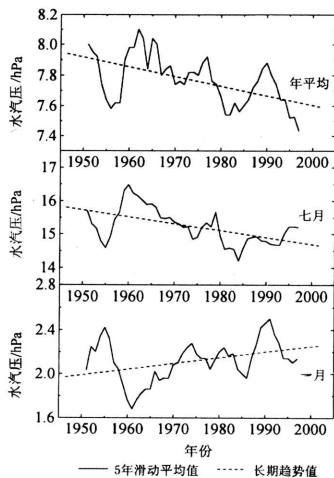


图3 兰州市1月、7月及年平均水汽压的年度变化曲线(1951~1997)

2.3 相对湿度

由图4,1月和年平均相对湿度下降幅度高于7月,根据 H 值 $0.78(\text{年平均}) > 0.74(\text{冬}) > 0.72(\text{夏})$,故而一方面冬、夏及年平均相对湿度仍将呈波动性下降,另一方面,冬季(1月)和年平均相对湿度下降的趋势将强于夏季(7月)。根据上文城市化对平均气温和水汽压的影响分析,兰州市平均气温和水汽压在冬季的增高趋势均强于夏季的降低趋势,且冬季(1月)城市化对气温的影响强于对水汽压的影响,夏季(7月)则相反(表1)。由以上两方面而导致相对湿度在冬季的下降趋势显著强于夏季。具体言之,冬季相对湿度的降低主要是热岛效应所致,夏季相对较弱的降低趋势却是水汽压的降低所致。

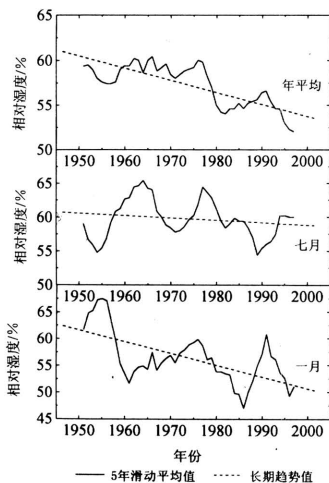


图4 兰州市1月、7月及年平均相对湿度的年度变化曲线(1951~1997)

2.4 日照百分率

在表1中,1月和年平均日照百分率的Hurst指数分别为0.89和0.91,明显大于7月值0.62。根据上述结果及图5我们可以推断,未来冬季(1月)日照百分率减小的趋势将强于夏季(7月)减小的趋势,而且年平均

日照百分率也将趋于下降。究其原因,主要是兰州冬季贴地逆温最深厚。频率最大,热岛效应强于夏季。并且随着城市的发展、工业化及燃煤取暖使兰州冬季大气污染物浓度高,污染物难以扩散而大量吸水,在近地层相对湿度较低(1月)的情况下形成“浊雾”,使冬季日照时数明显低于夏季之故。同时,这一R/S分析结果也验证了兰州城市化效应冬季强于夏季。

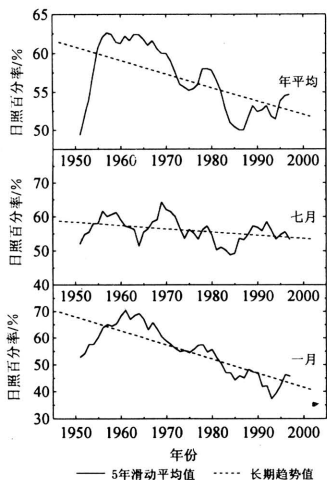


图5 兰州市1月、7月及年平均日照百分率的年际变化曲线(1951~1997)

3 结论

(1)对兰州城市气候指标温度、水汽压、相对湿度和日照百分率等进行的R/S分析表明,主要气候要素的H值均大于0.5,存在明显的Hurst现象,即兰州城市气候变化存在着持续性。

(2)各气候指标的冬季、夏季和年平均的

H值存在差异,且一般情况下均是冬季大于夏季,由此说明兰州城市化气候效应在一年中所产生的影响强度不同,即冬季的城市化效应远远高于夏季。

(3)传统的城市气候研究多是对气候变化进行城郊对比分析,本文一方面从统计学上对城市气候变化的持续性给予了证明,另一方面也对这种持续性成分的强度进行了定量的比较。

(4)上述研究说明分形方法是一种有用的数学工具,由此方法,城市气候研究可望进入更高层次的确定性解释。我们的工作只是一种初步尝试,今后还应当进行更深入的探讨。

参考文献

- 1 吴息,王少文,吕丹苗.城市化增温效应的分析.气象,1994,20(3):7~9.
- 2 余晖,罗哲贤.气温长期演变趋势中城市化的可能影响.中国西北干旱气候研究,北京:气象出版社,1997.
- 3 Lowry W P. Empirical estimation of urban effects on climate; A Problem Analysis. J. Appl. Meteorol., 1997,16:129~135.
- 4 王乃昂,赵晶,高顺尉.东亚季风边缘区气候代用指标的分形比较及其意义.海洋地质与第四纪地质,1999,19(4):59~65.
- 5 Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long-run properties of geophysical records. Water Resource Research, 1969a, 5(2):321~340.
- 6 Mandelbrot B B, Wallis J R. Robustness of the rescaled ranged R/S in the measurement of noncyclic long-run statistical dependence. Water Resource Research, 1969b, 5(5):967~988.
- 7 梅丽明,沈正,陈伯海等.海浪波高序列的长期相关性及其自仿射结构.海洋学报,1995,17(4):11~22.
- 8 周厚云,余素华等.西昆仑山甜水海钻孔氧化铁指标的分形分析及其意义.冰川冻土,1999,21(2):136~140.

(下转第15页)

The Analysis of Urbanization Effect on Climate in Lanzhou by the Method of R/S

Zhao Jing Yang Shuhua Wang Nai'ang

(School of Resources & Environments, Lanzhou University 730000)

Abstract

Based on R/S analysis on mean temperature, water vapour pressure, relative humidity and sunshine percentage in winter (January), summer (July) and annual mean from 1951 to 1997 in Lanzhou city, the Hurst exponents of all the targets are beyond 0.5, which indicate that all the targets have evident Hurst phenomena. The results show that climate changes have a trend component and a persistent urbanization calefaction in the past 47 years in Lanzhou. The difference of the Hurst exponents among January, July and annual mean is considered to be the result of different intensity of urbanization-climate effect on season in Lanzhou.

Key Words: R/S analysis urbanization effect Hurst phenomenon