



基于 R/S 法分析福州城市发展对气候的影响

林琛琛

(福建师范大学地理科学学院, 福州 350108)

摘要: 运用重标极差分析 (rescaled range analysis, R/S) 方法对 1965 年至 2005 年福州市的气温、降水、日照百分率和相对湿度等气候因子的冬、夏和年平均值进行了分析计算, 结果表明: 各因子的 Hurst 指数 H 除冬季月降雨量的值小于 0.5 外, 其余均大于 0.5, 说明存在较明显的 Hurst 现象, 即福州市城市气候变化存在着持续性。其中, 近 40 年来福州市平均气温大致表现出上升趋势, 而降水、日照百分率和相对湿度基本呈现出不同程度的下降趋势, 说明福州城市化加剧在一定程度上影响着福州气候。

关键词: 环境气象学; 重标极差分析; 城市发展; 气候效应; 福州

中图分类号: P461.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2010)12-2489-7

R/S-based analysis of the effect of urban development upon the climate in Fuzhou city

LIN Chenchen

(College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: This paper analyzes the temperature, precipitation, relative humidity and sunshine percentage in winter and summer and their annual averages based on rescaled range analysis (R/S) analysis in Fuzhou city during recent 40 years from 1965 to 2005. The results are as follows: all the Hurst indexes in winter and summer and their annual averages are higher than 0.5 except monthly precipitation in winter, and the four climatic factors have the significant Hurst phenomena. Thus, it can be proven that such climate change in Fuzhou will be continued. The Hurst indexes of these climatic factors in summer are higher than those in winter. It can be concluded that the seasonal intensity of climatic change caused by urbanization in Fuzhou will be continued, and the temperature in winter and summer and its annual average will be continuously increased. However, there have been decreasing trends in precipitation, relative humidity, and percentage of sunshine duration in Fuzhou during recent 40 years.

Key words: environmental meteorology; rescaled range analysis; urban development; climatic effect; Fuzhou

0 引言

近百年来全球平均地面气温增暖了约 0.6°C , 中国近百年的温度变化趋势与北半球大致相似, 可以预测, 未来 100 年全球地表温度可能会升高 $1.6\sim 6.4^{\circ}\text{C}$ ^[1~2]。近一个世纪以来, 我国许多大城市气温有逐年上升的趋势, 且增温幅度明显大于同期全国平均值^[3~6]。而且随着城市人类活动的不断加剧, 其影响也呈不断增加的趋势。

我国学者自 20 世纪 90 年代开始逐渐重视对城市化增温现象的研究^[4~7]。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。张一平等^[7]利用由城市扩大而受城市化影响的地区和未受城市化影响的郊区气象站气象资料, 先后研究了北京、昆明和景洪地区的气压表附温的年变化和长期变化趋势, 北京、宁夏、兰州、石家庄、上海及青藏高原等地区城市化发展对局地气候的影响^[8~13], 也得出类似结果。但按照 LOWRY^[13]的意见, 这些方法大多都混有其他地

基金项目: 国家基础科学人才培养基金 (J0830521)

作者简介: 林琛琛 (1988—), 男, 本科生, 主要研究方向: 地理学. E-mail: lcc109022007030@126.com

理和自然变化的因子在内,不能充分说明城市化的影响。

福州属盆地地形,其东、西和北三面为中低山,南和东南面为丘陵,使盆地成为向东南开口的簸箕状地形。福州属于典型的亚热带季风气候,夏长冬短,霜冻少。近一个世纪来,我国大部分地区呈增暖趋势,但福州这种盆地地形的气温变化表现出了其地域特殊性。自改革开放以来,福州市的城市规模和工业迅速发展。与此同时,难透水的水泥和柏油路面急剧增加,出现高楼多树木少、裸地多草地少、水泥地面多透水地面少的“三多三少”现象。已造成了福州市区人群稠密、车辆骤增、道路拥挤、人为热源和二氧化碳排放增多等一系列环境问题^[14]。此研究在前人工作的基础上,采用 R/S 方法分析福州城市气候序列,以定量说明城市化效应的影响强度,为未来福州城市发展战略提供科学依据。

1 资料和分析方法

1.1 气候资料

根据福州中心气象台的气候资料,分别统计整理出福州市 1965 年至 2005 年气温、降水、日照百分率和相对湿度的冬季(12, 1, 2月)、夏季(6, 7, 8月)和年平均值作为分析因子进行 R/S 分析。这些数据均经过质量检验,可确保其准确性和精度误差。

1.2 分析方法

R/S 分析方法最早是由水文学家 HURST 于 1965 年提出的一种分析方法,后来 MANDELBROT 和 WALLIS 又在理论上对该方法进行了补充和完善,发展成为研究时间序列的分形理论^[1,3,14]。该方法的主要原理为:

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

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

极差为

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

标准差为

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

现考虑比值 $R(\tau)/S(\tau)$, 若存在如下关系:

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

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, 可以判断该时间序列是完全随机的抑或存在趋势性成分。趋势性成分表现为持续性 (persistence), 或是反持续性 (anti-persistence), HURST 等曾证明, 如果 $\{\xi(t)\}$ 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) $H=0.5$, 表明时间序列相互独立, 气候变化是完全随机性的。

2) $0.5 < H < 1$, 表明时间序列具有长期相关的特征, 即其过程具有持续性, 反映在气候因子上, 则表明未来的气候整体变化将与过去的变化趋势一致, 过去整体升温的趋势预示将来的整体趋势是升

温，反之亦然，而且 H 值越接近 1，持续性也就越强。

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，即其过程具有反持续性，在该情况下，未来的气候变化总体趋势将与过去相反，过去的增暖趋势预示着未来的变冷趋势，反之亦然。

Hurst 指数能很好地揭示出时间序列中的趋势性成分。因此，R/S 分析具有重要的应用意义，尤其在应用大量连续观测资料进行科学预报的工作中。根据上述方法，对福州市 1965 年至 2005 年的气温、降水、日照百分率和相对湿度等 4 个气候因子选取 41 个 τ 进行 R/S 分析（如图 1 所示）。并分别计算得到了各个因子在冬季、夏季和全年平均的 Hurst 指数（如表 1 所示）。

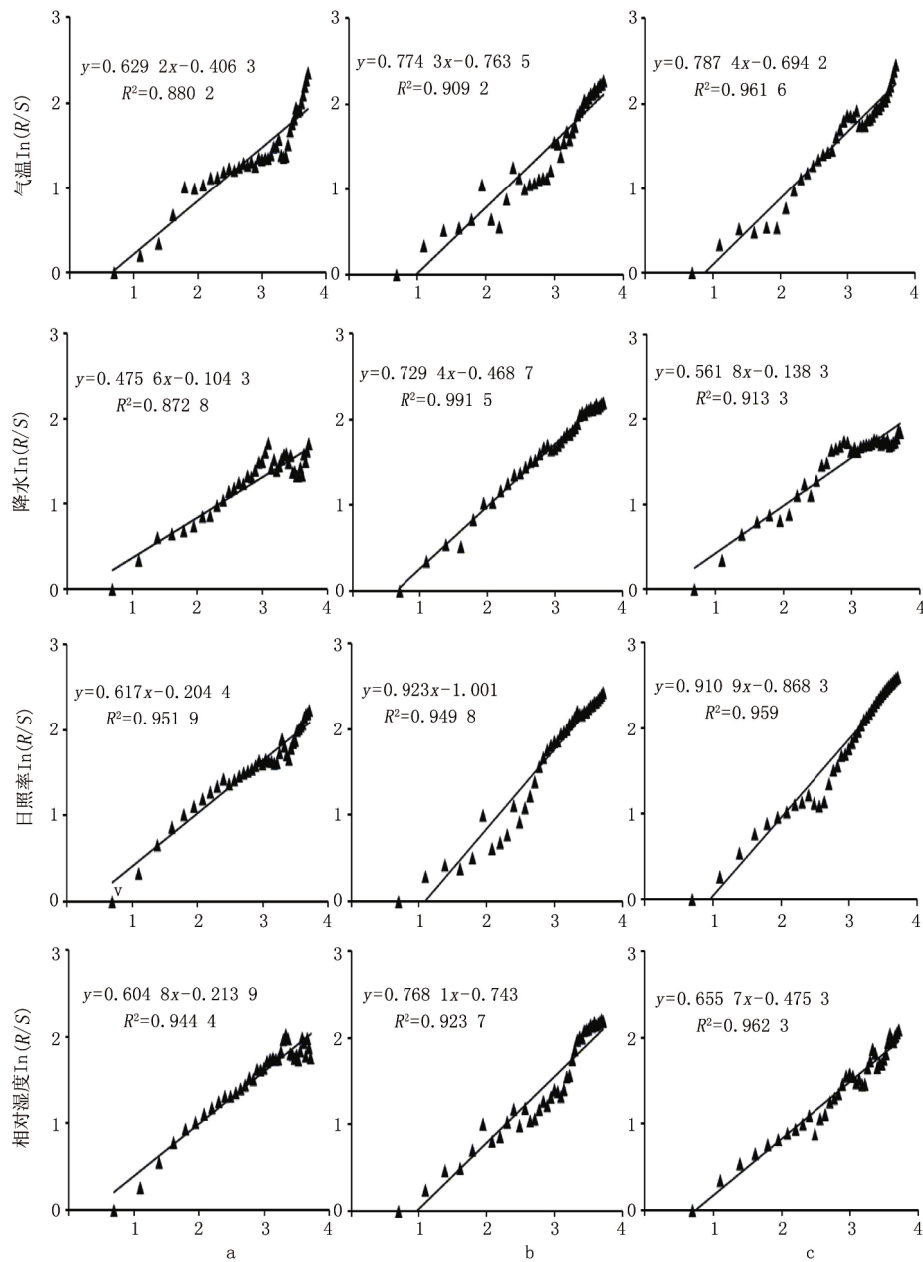


图 1 福州市气候因子的 R/S 分析结果

Fig. 1 R/S analysis of climate factors in Fuzhou city

a—冬季; b—夏季; c—年平均

a-Winter; b-Summer; c-Annual average

2 结果与分析

2.1 平均气温

由表 1 可以看出：福州市气温 H 值 0.787 (年平均) >0.774 (夏季) >0.629 (冬季)，表明未来福州市冬季、夏季及年平均气温气候整体变化将与过去的变化趋势一致。而福州市冬季、夏季和年平均气温均有升高趋势（如图 2 所示），进一步说明了福州市冬季、夏季和年平均气温随着在过去近 40 年中逐渐升高的趋势在未来可能仍将继续升高。而福州市年平均气温的 H 值 0.787 处于最大，表明福州市全年升温趋势总体而言很明显。而夏季平均气温的 H 值 0.774 要明显高于冬季值 0.629，则从定量角度说明夏季的升温趋势明显强于冬季的升温趋势，即夏季的城市化效应远高于冬季。另外，夏季平均气温 H 指数更接近年平均值，表明夏季气温变化趋势亦即城市化效应对全年平均气温的变化作用很大。由图 2 也可看出：冬季气温线性倾向率明显高于夏季和年平均，而造成冬季幅度大，增温从大背景分析可能主要是因为近十几年来实际影响我国的冷空气次数明显减少。而且福州冬季大幅度增暖的特点与城市热岛的作用特点也较为一致。另外，特殊的盆地地形对福州市气温也具有一定的影响，此种盆地地形特点是西、北和东面三方面地势较高，对冬季冷空气具有一定的阻挡作用。

表 1 福州市各气候因子的 Hurst 指数

项目	气温	降水	日照百分率/%	相对湿度
冬季	0.629	0.476	0.617	0.605
夏季	0.774	0.729	0.923	0.768
年平均	0.787	0.562	0.911	0.656

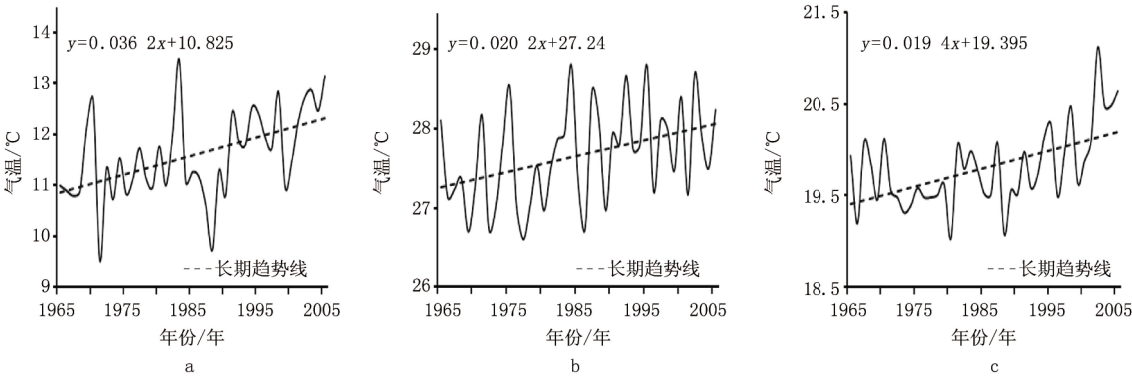


图 2 福州市冬季、夏季及年平均气温的时间变化序列
Fig. 2 Temporal series of temperature in winter and summer and its annual average in Fuzhou city
a—冬季; b—夏季; c—平均年
a-Winter; b-Summer; c-Annual average

2.2 月平均降水量

福州市冬季和年平均月降水量具有升高趋势，夏季月降水量却呈下降趋势（如图 3 所示），而由表 1 可以看出：其月降水量 H 值 0.729 (夏季) >0.562 (年平均) >0.476 (冬季)，其中冬季 H 值小于 0.5。由此可见，福州市夏季和年平均月降水量过去近 40 年中分别呈现逐渐下降的趋势和升高趋势，且这一趋势在未来可能仍将继续延续，而冬季月降水量逐渐上升的趋势未来有可能趋于下降。由于夏季月平均降水量 H 值远高于年平均，所以夏季的降水减少趋势很大程度上将强于年平均的增加趋势。而冬季月降水量 H 值 0.476 较接近 0.5，表明未来冬季月降水量趋势下降的强度不大。

对于造成夏季降水减少趋势加强及未来冬季可能呈现降水减少趋势，城市化影响不容忽视。随着城市化的加剧，植被覆盖减少，而城区下垫面不透水面积扩大，使蒸发蒸散量降低，局地环流受到影响，对降水形成起到一定影响。另外，城区大气气溶胶等污染物也会吸收大气中的水汽，影响成云致雨，最终造成降水的减少。

2.3 日照百分率

由表 1 可以看出：福州市日照百分率 H 值 0.923 (夏季) >0.911 (年平均) >0.617 (冬季)，三

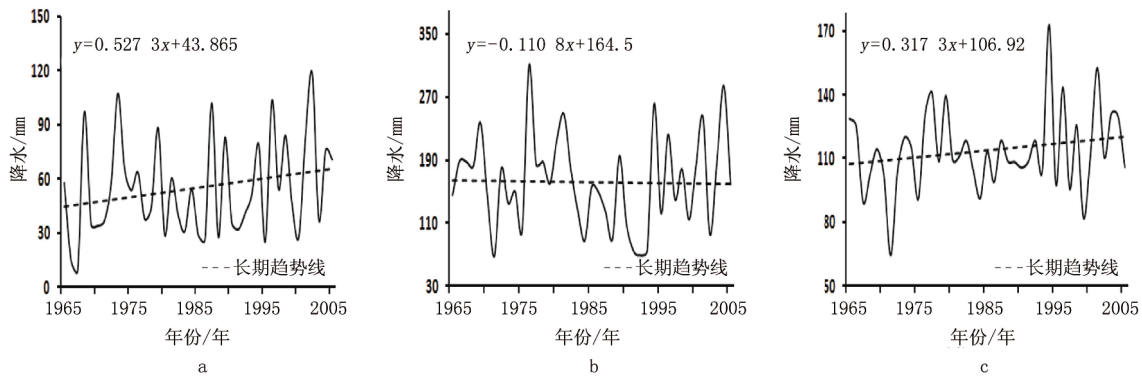


图3 福州市冬季、夏季及年平均月降水量的时间变化序列

Fig. 3 Temporal series of monthly precipitation in winter and summer and its annual average in Fuzhou city
a—冬季; b—夏季; c—年平均
a—Winter; b—Summer; c—Annual average

者均大于 0.5, 而近 40 年来福州市冬季、夏季和年平均日照百分率呈现出逐渐下降的趋势 (如图 4 所示)。说明了福州市冬季、夏季和年平均日照百分率随着在过去逐渐下降的趋势在未来可能仍将保持。而夏季日照百分率的 H 值 0.923 要明显高于冬季值 0.617, 说明夏季日照百分率的下降趋势明显强于冬季的下降趋势。另一方面, 夏季日照百分率 H 值 0.923 十分接近年平均日照百分率 H 值 0.911, 说明夏季日照百分率变化趋势对全年平均的日照百分率作用更大。

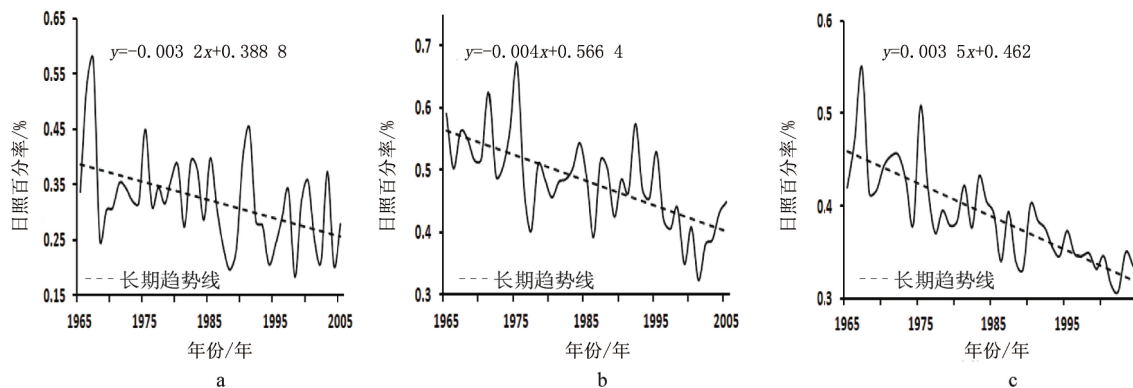


图4 福州市冬季、夏季及年平均日照百分率的时间变化序列

Fig. 4 Temporal series of sunshine percentage in winter and summer and its annual average in Fuzhou city
a—冬季; b—夏季; c—年平均
a—Winter; b—Summer; c—Annual average

对于近 40 年来福州市冬季、夏季和年平均日照百分率呈现出逐渐下降的原因, 可能是随着城市的发展、城市污染日趋严重, 水溶性硫化物气溶胶和降尘含量也日趋增多。这样就促使水汽凝结加强, 灰霾天气出现频率增加, 削弱太阳辐射, 使日照时数明显降低。

2.4 相对湿度

由表 1 可以看出, 福州市相对湿度 H 值 0.768 (夏季) > 0.656 (年平均) > 0.605 (冬季), 三者均大于 0.5。而福州市冬季相对湿度具有升高趋势, 夏季和年平均相对湿度却呈下降趋势 (如图 5 所示)。由此可见, 过去近 40 年中福州市冬季相对湿度逐渐升高的趋势以及夏季和年平均相对湿度逐渐下降的趋势在未来可能仍将一致。由于夏季相对湿度 H 值远高于冬季值, 所以夏季的相对湿度下降趋势可能将很大程度上强于冬季的增加趋势。

夏季相对湿度的降低趋势可能与近年来福州夏季降水减少趋势不断加强有关^[1,3]。另外有研究^[8]也

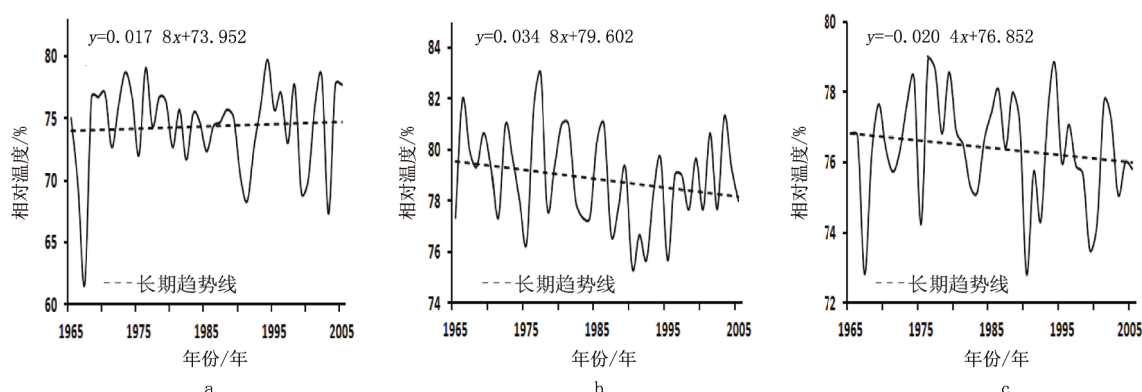


图5 福州市冬季、夏季及年平均相对湿度的时间变化序列
Fig. 5 Temporal series of relative humidity in winter and summer and its annual average in Fuzhou city
a—冬季; b—夏季; c—年平均
a—Winter; b—Summer; c—Annual average

表明:城区相对湿度的下降,可能与城区人类活动密集、城市化程度高,从而导致城区温度升高有关。

3 结论

福州市近40年的平均气温、降水量、日照百分率和相对湿度等气候因子的R/S分析结果表明:除冬季月降雨量的Hurst指数 H 小于0.5外,其余均大于0.5。说明存在较明显的Hurst现象,即福州市城市气候变化存在着持续性。其中,冬季、夏季和年平均气温大致表现出上升趋势。而降水、日照百分率和相对湿度基本呈现出不同程度的下降趋势,说明近40年来福州城市化加剧已经对福州气候产生重要影响。另外,各气候因子的冬季、夏季和年平均的 H 值存在季节性差异,都是夏季大于冬季,说明了福州夏季的城市化气候效应影响要高于冬季。关于R/S分析如何滤除大区域气候因素对城市气候的影响,还有待更深入地对其进行探讨和研究。

[参考文献] (References)

- [1] 车慧正, 张小曳, 李杨, 等. 近50年来城市化对西安局地气候影响的研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29 (1): 53-58.
CHE H Z, ZHANG X Y, LI Y, et al. Effect of urbanization on local climate in Xi'an city in recent 50 years[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(1): 53-58. (in Chinese)
- [2] IPCC. Climate change 2001: the scientific basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [3] 赵晶, 王乃昂, 杨淑华. 兰州城市化气候效应的R/S分析[J]. 兰州大学学报, 2000, 36 (6): 122-128.
ZHAO J, WANG N A, YANG S H. R/S analysis of urbanization effect on climate in Lanzhou[J]. Journal of Lanzhou University, 2000, 36(6): 122-128. (in Chinese)
- [4] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 791-798.
TANG G L, REN G Y. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4): 791-798. (in Chinese)
- [5] 何慧, 覃志年, 李艳兰, 等. 广西月平均温度异常的时空特征及其变化[J]. 气候变化研究进展, 2007 (2): 95-99.
HE H, QIN Z N, LI Y L, et al. Spatial and temporal characteristics of abnormal monthly mean temperature and their changes in Guangxi province[J]. Advances in Climate Change Research, 2007(2): 95-99. (in Chinese)
- [6] 程胜龙, 王乃昂. 近70年来兰州城市气温的变化[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (4): 558-563.
CHENG S L, WANG N A. Study on air temperature change in Lanzhou city in recent 70 years[J]. Arid Land Geography, 2004, 27(4): 558-563. (in Chinese)
- [7] 张一平, 何云玲, 马友鑫, 等. 中国不同地区城市化对室内外气温影响的比较研究[J]. 地理科学, 2003, 23 (1):

- 42-48.
- ZHANG Y P, HE Y L, MA Y X, et al. A comparative study about effect of urbanization on the indoor and outdoor air temperature on different cities of China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(1): 42-48. (in Chinese)
- [8] 葛向东, 赵咏梅. 城市化对上海的增温效应[J]. *云南地理环境研究*, 1999, 11 (1): 44-50.
- GE X D, ZHAO Y M. The effects of the urbanization on the temperature increasing in Shanghai[J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1999, 11(1): 44-50. (in Chinese)
- [9] 李凤琴, 谭华. 近 50 年来城市化对银川市局地气候的影响[J]. *宁夏工程技术*, 2009, 8 (4): 303-305, 309.
- LI F Q, TAN H. Urbanization effects on local climate in Yinchuan in recent 50 years[J]. *Ningxia Engineering Technology*, 2009, 8(4): 303-305, 309. (in Chinese)
- [10] 连志鸾. 石家庄极端冷暖天气气候事件及其与气候变暖[J]. *气象科技*, 2004, 32 (2): 76-80, 85.
- LIAN Z L. Cold and warm extreme events in Shijiazhuang and climate warming[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2004, 32(2): 76-80, 85. (in Chinese)
- [11] 王堰, 李雄, 缪启龙. 青藏高原近 50 年来气温变化特征的研究[J]. *干旱区地理*, 2004, 27 (1): 41- 46.
- WANG Y, LI X, MIAO Q L. Analyses on variety characteristic of temperature in Qinghai-Tibet plateau in recent 50 years[J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(1): 41-46. (in Chinese)
- [12] LOWRY W P. Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis[J]. *J. Applied Meteorology*, 1997, 16(2): 129- 135.
- [13] 林志垒. 福州市热岛效应动态分析研究[J]. *四川测绘*, 2001, 24 (3): 140-143.
- LIN Z L. A research on dynamic analysing Fuzhou city heat island[J]. *Surveying and Mapping of Sichuan*, 2001, 24(3): 140-143. (in Chinese)
- [14] 罗隆诚, 冯新灵, 刘鹏, 等. 近 50 年来南充气候变化的 R/S 分析[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35 (13): 3928-3929.
- LUO L C, FENG X L, LIU P, et al. R/S analysis on climate changes in Nanchong in recent 50 years[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 2007, 35(13): 3928-3929. (in Chinese)