

丛波,孙艺桃,刘艳杰,等.河北廊坊城市化进程对降水特征的影响[J].干旱气象,2014,32(5):738-743, [CONG Bo, SUN Yitao, LIU Yanjie, et al. Influence of Urbanization on Precipitation Characteristics in Langfang of Hebei Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(5):738-743], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0738

## 河北廊坊城市化进程对降水特征的影响

丛波,孙艺桃,刘艳杰,周贺玲

(河北省廊坊市气象台,河北 廊坊 065000)

**摘要:**利用1970~2012年廊坊市逐日降水观测资料 and 城市化发展资料,研究了城市化进程对廊坊地区降水特征的影响。结果表明:随着城市化的发展廊坊地区年降水量和汛期降水量分布格局发生明显改变,降水向城市化发展迅速的地区集中;城市化对降水的影响随降水强度增大而逐渐显著,且城市化发展愈迅速影响愈大;城市化使城区的降水量趋于集中,郊区的降水量趋于均化,这种趋势在未来一段时间内将持续。

**关键词:**城市化;降水;相对降水量;R/S分析

**文章编号:**1006-7639(2014)-05-0738-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-05-0738

**中图分类号:**P461.8

**文献标识码:**A

### 引言

近年来,随着全球气候变暖,极端天气频发,灾害性天气给广大人民的生命和财产造成巨大损失。已有研究<sup>[1-2]</sup>表明,目前的气候变化与人类活动有着密切的联系,其中城市化是人类活动最突出的表现之一,它是指人口向城市地区集中,致使城市区域不断扩大的过程<sup>[3]</sup>。随着人类活动的日益频繁,城市附近下垫面性质的变化也愈加明显,下垫面影响着对流层大气的水分和热量状况<sup>[4]</sup>,进而影响如温度、降水、能见度等气象要素的分布。

当前很多学者从不同的角度对城市化引发的气候问题进行了研究,如郭丽香等<sup>[5]</sup>利用地面观测和再分析2种不同气温资料,对比分析1979年以来城市化对长沙市气温的影响,发现城市化对气温增暖贡献显著;李天杰<sup>[6]</sup>、梁萍<sup>[7]</sup>、杨英宝<sup>[8]</sup>等发现市区降雨量大于郊区降雨量、市区和其下风向的降雨强度比郊区大,且城市暴雨雨日增多;王文等<sup>[9]</sup>发现北京地区年降水量呈下降趋势,且城区下降幅度比郊区明显,城市的热岛效应增加了变化幅度;廖镜彪等<sup>[10]</sup>研究表明城市化过程使得广州降水量增加趋势明显,城市化对广州城市降水增加的贡献率为44.7%;李娜等<sup>[11]</sup>在分析苏州城市化发展进程的特

点及1953~2000年降雨时间序列特征基础上,用同时期城区与郊区雨量横向对比、城市化发展不同时期同一站雨量纵向对比的方法,研究了城市化对该地区降雨量、降雨年内分配、降雨发生次数等的影响。廊坊市地处华北平原中部地区,距北京约74 km,是环首都经济圈的重要组成部分。近年来随着城市经济的快速发展及人口的急剧增长,廊坊地区的气候变化表现得尤为突出,暴雨、雷电等强对流天气频发,给当地造成了巨大的经济损失。然而随着研究的愈发深入和细化,城市化对廊坊地区的降水影响如何?是否与周边北京、天津等大城市的情况一致?目前尚未有相关方面的研究。因此,本文通过分析城市化对廊坊地区降水特征的影响,找出降水特征变化规律,为城市防灾减灾提供支持。

### 1 资料和方法

#### 1.1 资料

采用廊坊地区9个国家标准观测站1970~2012年逐日降水观测资料以及城市人口和国内生产总值GDP等城市化资料,其中城市化发展资料来自廊坊市统计年鉴,由于年鉴资料对人口数据并不是逐年统计的,因此只选取了具有代表性的年份。廊坊地处华北平原中部地区,地势平坦,9个标准观

收稿日期:2014-01-04;改回日期:2014-02-17

基金项目:河北省气象局科学技术研究项目(13KY27)资助

作者简介:丛波(1990-),男,助理工程师,主要从事短期预报与气候预测。E-mail:congbo8888@126.com

测站处于同一气候区,距离较近,因此排除地形可能造成的影响。

### 1.2 方法

#### (1) 标准化相对降水量

在讨论降水量空间差异时,多数研究通常比较不同站点的绝对降水量大小。然而降水量在不同的年代背景下具有明显的年代际变化,故绝对降水量的空间差异并不能很好地反映不同阶段降水量空间的改变。因此,本文采用基于空间样本的标准化相对降水量,研究廊坊地区城市化进程不同阶段降水空间差异的变化,计算公式如下:

$$R_{ni} = (P_{ni} - P_n) / \sigma_n$$

其中, $n$ 为年份( $n = 1970, 1971, \dots, 2012$ ); $i$ 为测站序号( $i = 1, 2, \dots, 9$ ); $R_{ni}$ 和 $P_{ni}$ 分别为 $n$ 年第 $i$ 个测站的相对降水量和实测降水量(单位: mm); $P_n$ 为年份为 $n$ 的所有站点平均降水量(单位: mm); $\sigma_n$ 为年份为 $n$ 的降水量标准差。

#### (2) R/S 分析法

R/S(Rescaled Range Analysis)分析法也称重标极差分析法,是水文学家 Hurst<sup>[12]</sup>基于大量实证研究的基础上提出的一种方法,后经 Mandelbrot 和 Wallis<sup>[13-14]</sup>逐步完善。R/S 分析法可判断时间序列是完全随机的抑或是存在趋势性成分,趋势性成分表现为持续性,还是反持续性。其基本原理<sup>[15]</sup>为:设在时刻 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 处取得的响应时间序列为 $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_n$ ,对于任意时间序列的跨度 $1 \leq \tau \leq n$ ,该时间序列的平均值可表示为:

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

物理量 $\xi$ 相对于其平均值 $\langle \xi \rangle_\tau$ 的累计偏差 $X(t, \tau)$ 表示为:

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

其中, $X(t, \tau)$ 不仅与 $t$ 有关,而且还与 $\tau$ 的取值有关。

把同一个 $\tau$ 值所对应的最大 $X(t)$ 值和最小 $X(t)$ 值之差称为极差,并记为 $R$ :

$$R(\tau) = \max X(t, \tau) - \min X(t, \tau) \quad (3)$$

Hurst 利用的标准偏差为:

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

$$R/S = (\tau/2)^H \quad (5)$$

式(5)中的 $H$ 为霍斯特指数( $0 < H < 1$ ),其中,当 $H = 0.5$ 时,即各项指标完全独立,无相互依赖,表现是随机的;当 $0.5 < H < 1$ ,表明时间序列具有长期正相关

性,即过程具有持续性,且 $H$ 值越接近1,持续性越强;当 $0 < H < 0.5$ ,表明时间序列具有负相关性,即过程具有反持续性,且 $H$ 越接近0,反持续性越强。

## 2 廊坊地区城市化进程

图1为廊坊地区代表年份的人口和GDP。可以看到,1990年代以前廊坊地区的人口基本维持在320万人以下,增长缓慢,同时期的GDP也不超过30亿元,增幅不明显;至1990年全市人口增至338.8万人,GDP也增至63.79亿元,随后2000年全市人口由381.6万人剧增至419万人,GDP也由366.99亿元跃增至1351.10亿元,增长显著。随着城市人口和经济的不断增长,城市中的工业建筑、居住建筑、道路等各项用地也相应增加,城区面积日益扩大。可见,1990年以后廊坊市城市化进程加快,城市化特征明显,因此将1970~2012年降水资料分成1970~1989年城市化发展缓慢和1990~2012年城市化发展迅速2个阶段。另外,根据廊坊市9个观测站的地理位置(图略)以及所在区域的经济状况(表略),选择三河站为城区(三河、香河、大厂)代表站,安次站为郊区代表站。

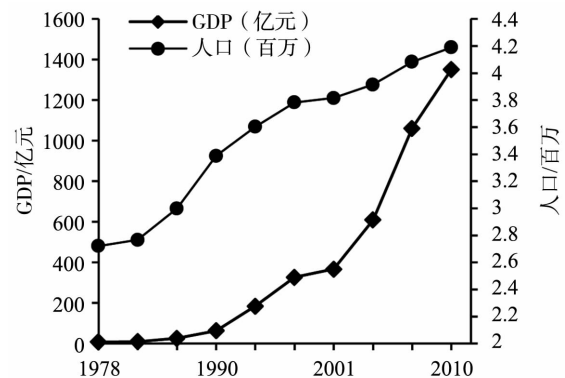


图1 廊坊人口、GDP变化曲线

Fig. 1 The change of population and GDP in Langfang from 1978 to 2012

## 3 廊坊地区降水量变化特征

将廊坊地区9个国家观测站1970~2012年的降水量进行统计平均(图2a),发现近43a来廊坊地区无论年降水量还是汛期降水量均呈现波动性的减少趋势。另外从年降水日数序列上看(图略),其降水日数也呈现出减少的趋势。可见,廊坊地区降水逐年减少,这与周连童<sup>[16]</sup>发现的华北地区趋于干旱的结论较一致。

廊坊地区全年降水量呈现出明显的“单峰型”(图2b),降水量主要集中在汛期6~9月,7月降水

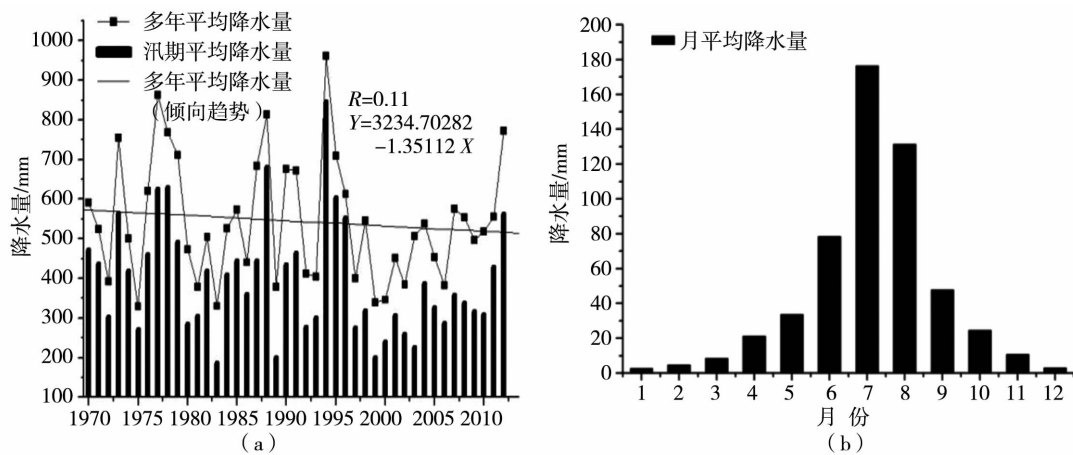


图2 廊坊地区降水量的年(a)和月(b)变化特征

Fig. 2 The annual (a) and monthly (b) changes of average precipitation in Langfang

量最高,高达 170 mm,而 1~4、11~12 月的降水量较少,普遍低于 20 mm,其中冬季降水量最少。

## 4 城市化对降水的影响

### 4.1 相对降水量的空间变化特征

图 3 给出廊坊地区 1970~1989 年城市化发展缓慢期和 1990~2012 年城市化发展快速期和汛期平均的标准化相对降水量空间分布。对比前后 2 个时期的降水量分布发现,在城市化进程缓慢时期(图 3a、图 3c),年降水量和汛期降水量的空间分布均表现为北部偏多、中部偏少的空间分布特征。然而在城市化进程快速增长时期(图 3b、图 3d),相对降水量的正负各占一半,空间分布表现为北部偏多、南部偏少,且降水量由北至南逐渐减少。可见廊坊地区降水量随着城市化的发展向北京周边县(市)集中。另外,结合廊坊地区各县城市化发展情况(表略):北部北京周边的三河、大厂、香河城市化发展最快,中部固安、安次、永清发展略慢,而南部 3 个县发展最慢,城市化水平最低。由此可见,城市化使得廊坊地区年降水量和汛期降水量分布格局发生改

变,降水向城市化发展迅速的地区集中。

### 4.2 城郊不同时期各类型降水日数对比

分别将城区三河站和郊区安次站 1970~2012 年日降水量按雨强分为小雨( $P < 10$  mm)、中雨( $10 \text{ mm} \leq P < 25$  mm)、大雨( $25 \text{ mm} \leq P < 50$  mm)、暴雨( $50 \text{ mm} \leq P < 100$  mm)、大暴雨( $100 \text{ mm} \leq P < 250$  mm) 5 个等级,统计城市化进程缓慢、快速 2 个时期各种类型降水的雨日数(表 1)。可以看出,小雨雨日数在城市化发展缓慢期和快速期 2 站比值接近 1,说明城市化对小雨的影响不明显,这可能由于廊坊地区雨量  $< 10$  mm 的降水一般发生在非汛期的 10 月至次年 4 月,此期间的降水大多为一般性降水,城市下垫面变化所造成的影响不显著而难以发挥效应;中雨、大雨雨日数 2 站比值在 2 个时期均  $> 1$ ,且城市化发展快速期的比值更大,城市化影响显现;暴雨雨日数 2 个时期 2 站比值变化不大,而大暴雨的 2 站比值增长显著,说明城市化对大暴雨影响显著。总体而言城市化对不同类型降水的影响随降水量增大而逐渐显著,且城市化发展愈快影响愈大。

表 1 三河站和安次站不同时期各类型降水日数对比

Tab. 1 Comparison of precipitation days with different rainfall intensities between Sanhe and Anci stations during the slow and quick developments of urbanization process

时段	雨量站	雨日/d				
		小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
1970~1989	三河	1 012	203	95	42	4
	安次	1 018	174	92	34	6
	2 站比值	0.994	1.167	1.033	1.235	0.667
1990~2012	三河	1 180	247	97	43	6
	安次	1 118	199	89	35	5
	2 站比值	1.055	1.241	1.090	1.229	1.200

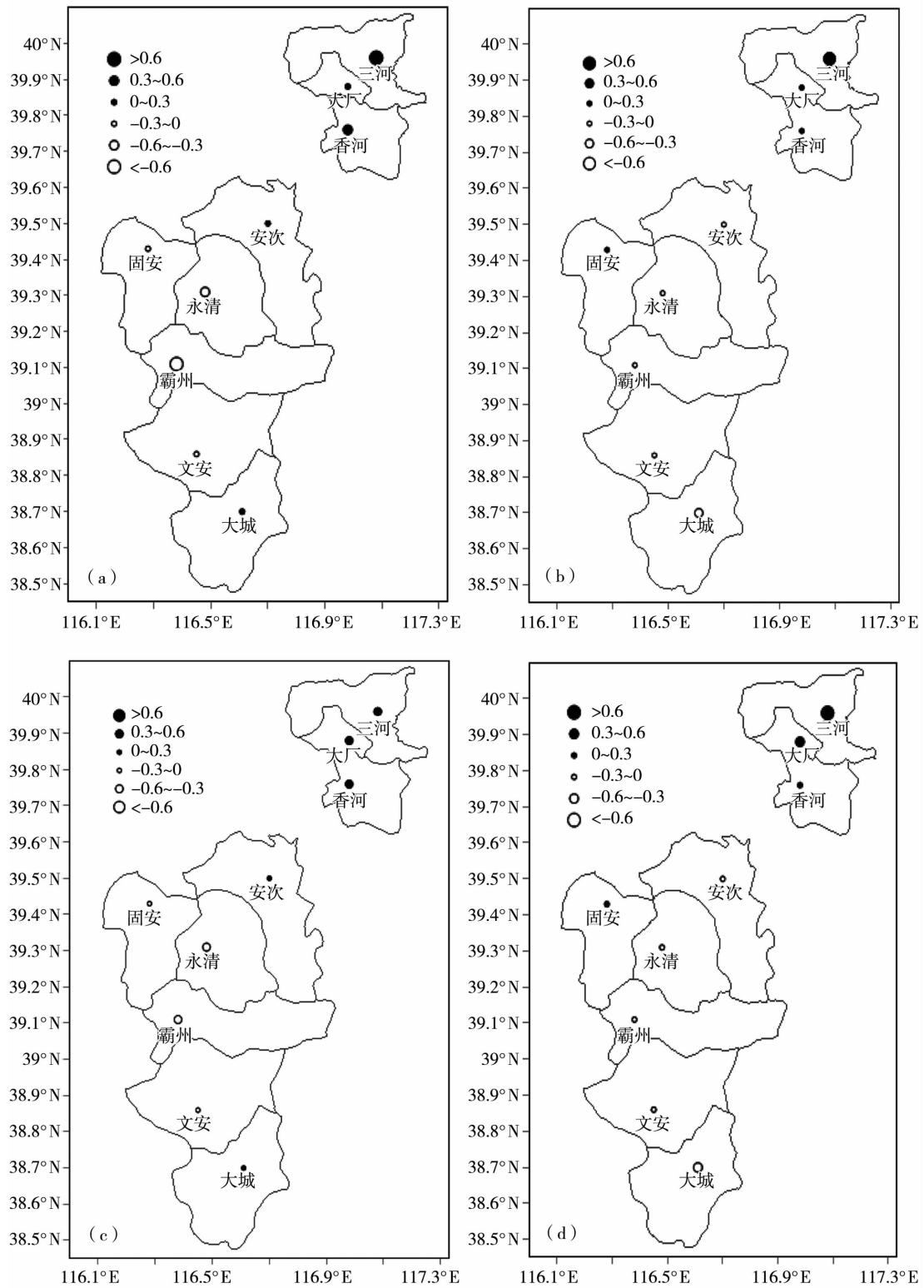


图 3 廊坊市城市化进程缓慢期(a,c)和快速期(b,d)的年(a,b)及汛期(c,d)标准化相对降水量分布(实心圆表示降水偏多,空心圆表示降水偏少)

Fig. 3 Distribution of annual (a,b) and flood seasonal(c,d) normalized relative precipitation during the slow (a, c) and quick (b, d) development of urbanization process in Langfang

(Solid circle indicates more precipitation, hollow circle represents less precipitation)

### 4.3 城郊不同时期各类型降水负荷对比

降水负荷可以反映一个地区降水的集中程度。定义某一降水等级的年降水量占年降水总量的百分比为此降水等级的降水负荷。表 2 统计了三河站和安次站各降水等级的年降水负荷。同时期横向对比发现,在城市化发展缓慢时期中小雨、暴雨量级的负荷安次站要小于三河站,而大雨和大暴雨量级的负荷安次站要大于三河站。然而,随着城市化进程的加快至城市化发展快速期三河站的中小雨负荷明显低于安次站,大雨、暴雨的负荷大于安次站。另外从城市化发展不同时期同一站雨量纵向对比看到,随着城市化进程的加快,三河站中小雨负荷降低,大雨、暴雨和大暴雨的负荷增加;安次站则相反,中小雨负荷增加,大雨、暴雨、大暴雨的负荷降低,且变化幅度明显大于三河站,说明随着城市的发展,尽管华北地区降水逐年减少,但强降水向城市化发展迅速的地区集中,城区发生局地极端降水天气的可能性增大。

表 2 三河站和安次站城市化  
不同时期各类型降水负荷对比

Tab. 2 Comparison of precipitation loads  
between Sanhe and Anci stations during the slow  
and quick developments of urbanization process

时段	雨量站	降水负荷/%			
		中小雨	大雨	暴雨	大暴雨
1970 ~ 1989	三河	47.86	26.89	21.11	4.15
	安次	47.05	27.35	18.62	6.99
1990 ~ 2012	三河	46.76	27.35	21.68	4.21
	安次	55.34	23.09	15.69	5.88

从表 2 中还可以看到,城市化发展缓慢期城区三河站的大雨以上降水负荷为 52.14%,郊区安次站为 52.95%;城市化发展迅速期城区三河站的大雨以上降水负荷为 53.24%,郊区安次站为 44.66%,城郊大雨以上降水负荷差由 -0.81% 上升至 3.57%,说明极端降水有向城区集中的趋势。另外,利用 R/S 分析计算得到城郊极端降水负荷差的 Hurst 指数为 0.798,  $H$  介于 0.5 和 1 之间,即过程具有持续性,表明随着城市化的发展,在未来一段时间内,廊坊地区城郊极端降水负荷差可能会继续增加,城区“增雨效应”仍然较明显。

## 5 结 论

(1) 廊坊地区无论年降水量还是汛期降水量在

过去的 43 a 中均呈波动性的减少趋势,说明廊坊地区降水逐年减少,趋于干旱。

(2) 在城市化进程中,廊坊地区年降水量和汛期降水量的空间分布由北部偏多、中部偏少转变为北部偏多、南部偏少格局,降水量也变为由北至南逐渐减少。城市化使得廊坊地区降水向城市化发展迅速的地区集中。

(3) 就降水日数而言,城市化对小雨雨日影响不明显;对大雨、暴雨雨日影响开始显现,对暴雨、大暴雨雨日影响显著。总之,城市化对不同类型降水的影响随降水量增大而逐渐显著,且城市化发展愈迅速影响愈大。

(4) 通过城郊雨量站不同类型降水负荷横纵向对比发现,随着城市的发展,尽管华北地区降水逐年减少,但强降水向城市化发展迅速的地区集中,城区发生局地极端降水天气的可能性增大。

(5) 廊坊地区城郊极端降水负荷差的 Hurst 指数为 0.798,表明随着城市化的发展,在未来一段时间内,廊坊地区城郊极端降水负荷差可能会继续增加,城市“增雨效应”仍然较明显。

本文重点分析了廊坊地区城市化对降雨特征的影响,并简略阐述了其影响的可能原因。由于影响降水的因素非常复杂,即受大气环流、天气系统、大气层结不稳定等自然因素的影响,还与人类活动有关,对于该地区降水的发生机制有待今后进一步的探讨和分析。

### 参考文献:

- [1] 常月明,张卫青,王考,等. 气候变化和人类活动对沙尘暴发生日数的影响[J]. 国土与自然资源研究,2009(1):64-65.
- [2] 任国玉,许红梅,张永山. 人类干预下的气候资源演变[J]. 环境保护与循环经济,2010(1):72-74.
- [3] Lazaro T R. Urban Hydrology[M]. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1979.
- [4] 刘娇妹,杨志峰. 北京市冬季不同景观下垫面温湿度变化特征[J]. 生态学报,2009,32(6):41-52.
- [5] 郭丽香,章新平,吴华武,等. 城市化对湖南长沙气温的影响[J]. 干旱气象,2012,30(3):380-386.
- [6] 李天杰. 上海市区城市化对降雨的影响初探[J]. 水文,1995(3):34-41.
- [7] 梁萍,丁一汇,何金海,等. 上海地区城市化速度与降水空间分布变化的关系研究[J]. 热带气象学报,2011,27(4):475-483.
- [8] 杨英宝,江南. 近 50a 南京市气温和热岛效应变化特征[J]. 气象科学,2009,29(1):88-91.
- [9] 王文,张薇,蔡晓军. 近 50 a 来北京市气温和降水的变化[J]. 干旱气象,2009,27(4):350-353.
- [10] 廖镜彪,王雪梅,李玉欣,等. 城市化对广州降水的影响分析[J]. 气象科学,2011,31(4):384-390.

- [11] 李娜,许有鹏,陈爽. 苏州城市化进程对降雨特征影响分析[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(3):335-339.
- [12] 黄勇,周志芳,王锦国. R/S 等分析法在地下水动态分析中的应用[J]. 河海大学学报,2002,30(1):83-87.
- [13] Mandelbrot B B, Wallis J R. Some long-run properties of geophysical record[J]. *Water Resource Research*,1969,5(2):321-340.
- [14] Mandelbrot B B, Wallis J R. Robustness of the rescaled ranged R/S in the measurement of noncyclic long-run statistical dependence[J]. *Water Resource Research*, 1969,5(5):967-988.
- [15] 潘雅婧,王仰麟,彭建,等. 基于小波与 R/S 方法的汉江中下游流域降水量时间序列分析[J]. 地理研究,2012,31(5):811-820.
- [16] 周连童. 华北地区夏季降水的年际变化特征[J]. 大气科学学报,2009,32(3):412-423.

## Influence of Urbanization on Precipitation Characteristics in Langfang of Hebei Province

CONG Bo, SUN Yitao, LIU Yanjie, ZHOU Heling

(*Langfang Meteorological Observatory of Hebei Province, Langfang 065000, China*)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data during 1970-2012 and the population and GDP data in Langfang, the influence of urbanization on the precipitation characteristics was studied. The results showed that the spatial distribution pattern of annual and flood seasonal precipitation had obvious changes in Langfang with the development of urbanization, and the rainfall focused on the rapid urbanization areas. The effect of urbanization on precipitation was more obvious with the increase of rainfall intensity and the rapid development of urbanization. Furthermore, the urbanization made the precipitation concentrated on urban areas and homogenized on suburban areas, this trend will continue for some time.

**Key words:** urbanization; precipitation; relative precipitation; R/S analysis

(上接第 732 页)

## Study of the Critical Meteorological Evaluation Indexes for the General Airport Site Selection in the Northwest China

CUI Yang<sup>1,2</sup>, CHANG Zhuolin<sup>1</sup>, ZUO Hejiang<sup>1,2</sup>, SUN Yinchuan<sup>1,2</sup>

(1. *Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China*; 2. *Ningxia Climate Center, Yinchuan 750002, China*)

**Abstract:** Based on investigating the connections between the various meteorological elements and the general airport site selection, the key meteorological evaluation indexes for general airport site selection in northwest China and the important extent of these indexes were analyzed. Then, the Shahu general airport proposed site was evaluated by using the observational data from Pingluo weather station during 2000-2009 and the temporary weather station observational data from 2011 to 2012 in the proposed site. The results show that wind speed, wind direction, visibility, cloud amount, cloud form and cloud height are the important meteorological elements that need to be considered in site selection of the general airport in northwest China. Meanwhile, the meteorological evaluation indexes of the general airport site selection can be roughly divided into six categories. Among them, the indexes of class I-III are the critical indexes which decide whether or not to build the general airport on the proposed site, and the indexes of class IV and V are the important reference indexes for the proposed site's operation efficiency evaluation, engineering design and the investment calculation, while the class VI is mainly used in the special proposed site evaluation. The Shahu general airport proposed site has the prevailing wind direction, low wind speed, excellent visibility conditions and the less thunderstorm, gale, hail and sand storms, while there is less low cloud in the sky, and the percentage of the cumulostratus, cumulonimbus and cumulus fractus is just 24.9% in all of the low cloud. Meanwhile, the monthly precipitation is little, and the monthly variation of maximum temperature difference is also small. Considering the above factors, the Shahu general airport proposed site has the good weather conditions as a general airport site.

**Key words:** general airport site selection; key meteorological evaluation index; wind direction and wind speed; visibility