

张立杰, 胡天洁, 胡非, 等. 2009. 近30年北京夏季降水演变的城郊对比 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 63–68. Zhang Lijie, Hu Tianjie, Hu Fei, et al. 2009. Comparison of summer precipitation evolution over the last 30 years between urban and rural region of Beijing [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 14 (1): 63–68.

近30年北京夏季降水演变的城郊对比

张立杰^{1,3} 胡天洁² 胡非¹ 李磊^{2,3} 轩春怡²

1 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理与大气化学国家重点实验室, 北京 100029

2 北京市气象局北京市气候中心, 北京 100089

3 深圳市气象局深圳市国家气候观象台, 深圳 518040

摘 要 利用1975~2004年北京13个站的夏季降水资料, 对30年来北京城区与郊区降水的时空变化趋势进行了对比分析, 得出以下主要结论: 1) 无论是城区站还是郊区站, 北京的夏季降水量均呈明显下降趋势, 且城区站的夏季降水量总体上要小于郊区站。2) 从大兴、海淀和昌平3站夏季降水量的时间变化特征来看, 位于城区盛行风向下风向的昌平下降趋势最不明显, 在一定程度上表征了城市化对北京夏季降水的影响。3) 地形仍然是决定北京地区降水分布的主导因素, 但降水高值区存在向西南城区方向延伸或移动的趋势, 而城市化可能是造成这种变化的一个原因。

关键词 北京 夏季降水 城市化效应

文章编号 1006-9585 (2009) 01-0063-06 **中图分类号** P426.6 **文献标识码** A

Comparison of Summer Precipitation Evolution over the Last 30 Years between Urban and Rural Region of Beijing

ZHANG Lijie^{1,3}, HU Tianjie², HU Fei¹, LI Lei^{2,3}, and XUAN Chunyi²

1 *State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Beijing Regional Climate Center, Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089*

3 *Shenzhen National Climate Observatory, Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518040*

Abstract Based on the analysis of summer precipitation data from 13 weather stations in Beijing area, a comparison of the summer precipitation evolution tendencies between the urban and rural region of Beijing is performed over a period of 30 years (1975 to 2004). Some conclusions are drawn in the light of the analysis: 1) The summer precipitations in both rural and urban area had a descending tendency, and the precipitations in urban area were generally less than those in rural area over the 30 years. 2) The comparison among the summer precipitations at Daxing, Haidian and Changping weather stations shows that the descending rate of the summer precipitation at Changping station which is located in the downwind direction to the urban area is the slightest among the three ones, which can be taken as a token of the urbanization effect on the precipitation in Beijing. 3) Over the 30 years, the topography is

收稿日期 2007-07-12 收到, 2008-11-10 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40775018、40805004、40505002 和 40705039

作者简介 张立杰, 女, 1975 年出生, 博士, 从事城市气候研究。E-mail: lijie11@163.com

通讯作者 李磊, E-mail: lilei@mail.iap.ac.cn

still the determinative factor controlling the distribution of the precipitation in Beijing area, however, the zone with relatively abundant precipitation was moving or stretching toward the urban area over the 30 years. The impact of the rapid urbanization over the 30 years is a possible reason leading to the variation of the distribution of precipitation in Beijing area.

Key words Beijing, summer precipitation, urbanization effect

1 引言

自 1818 年英国人 Howard (1833) 提出伦敦有明显的城市热岛现象以来, 城市的气候环境效应便逐渐成为大气科学研究中的一个热点问题。近 30 年来北京的城市化进程非常迅速, 北京也因此成为国内城市气候研究重点关注的对象, 许多学者从不同角度研究北京的城市气候环境效应。然而, 城市热岛现象仍然是北京城市气候研究的核心问题 (张光智等, 2002; 林学椿等, 2005; 王喜全等, 2006; 王文杰等, 2006; 刘熙明等, 2006a), 关于城市化对北京地区降水的影响, 只在有限的一些研究中涉及。事实上, 城市化对降水的影响同样是一个重要的问题, 一些学者已经在这个领域进行了研究, 但关于城市化对降水量的影响是增加还是减少, 仍然存在争论。例如, 李天杰 (1995) 利用上海地区 5 年的降水资料分析了城市化对上海降水的影响, 得出结论认为城市化效应有一定的增雨作用。而 Kaufmann et al. (2007) 则指出, 城市化引起了珠江三角洲地区局地降水的减少, 一个可能的原因是城市下垫面的变化造成了地表径流和地气间水汽交换的变化。

关于北京城市化的降水效应也已有了一些研究, 吴息等 (2000) 通过对 1996 年自动站降水数据的分析, 明确了城市化效应对北京短历时降水的影响。刘熙明等 (2006b) 利用 1994~2003 年北京 11 个气象台站 7 和 8 月的常规地面观测资料, 对北京的夏季降水分布特征作了简要分析, 认为城市化进程对北京地区的夏季降水存在一定影响。这些研究初步证实了城市化对北京地区降水的可能影响, 但相关研究仍有待进一步深入, 尤其是需要进一步延长资料时间序列的长度, 从气候角度探讨城市化进程引起的降水分布特征的变化。另一方面, 虽然已有一些研究对北京降水的演变趋势做过长时间序列的分析 (谢庄等,

1994; 徐宗学等, 2006), 但又较少将降水的演变趋势与北京的城市化进程联系到一起。基于此, 本文利用近 30 年北京若干观测站的夏季降水资料, 通过对降水资料的城郊对比分析, 来探讨城市化进程与北京地区夏季降水时空演变趋势的关系。

2 资料简介

北京地处华北平原, 西部与北部分别属于太行山脉与燕山山脉的山地, 东南部为山前倾斜平原, 北京的主城区就座落在山地环抱的马蹄形盆地中。由于本文的目的是研究城市化进程与北京地区降水的关系, 因此选择北京主城区及其紧邻郊县的 13 个站点, 城区站为海淀、丰台、朝阳, 郊区站为通州、门头沟、大兴、房山、平谷、密云、怀柔、顺义、昌平和延庆, 具体分布情况如图 1 所示。所用的降水资料为 1975~2004 年夏季 (6~8 月) 的逐日降水资料。之所以用该时段的资料进行分析, 主要原因有两方面: 1) 这 30 年是北京快速城市化进程中比较有代表性的 30 年; 2) 北京市域内对城市气候有代表性的站点于 1975 年建立完毕, 从该年开始才有了数量足够多且位置较为固定的城区站点。

3 夏季降水的逐年变化

首先进行了降水时间序列的城郊对比分析。为了去除仅选用单站降水量数据进行分析所带来的不确定性, 分别统计 3 个城区站和 6 个郊区站夏季降水总量的平均值, 统计结果列于图 2。

夏季是北京地区的雨季, 全年大部分降水都集中在夏季。从图 2 夏季降水的变化趋势来看, 可发现从 20 世纪 70 年代中后期至 2004 年, 无论是城区站还是郊区站, 夏季降水量总体上均呈下降趋势。而郊区站的夏季降水量要大于城区站, 郊区站 30 年平均夏季降水量为 429.0 mm; 而城

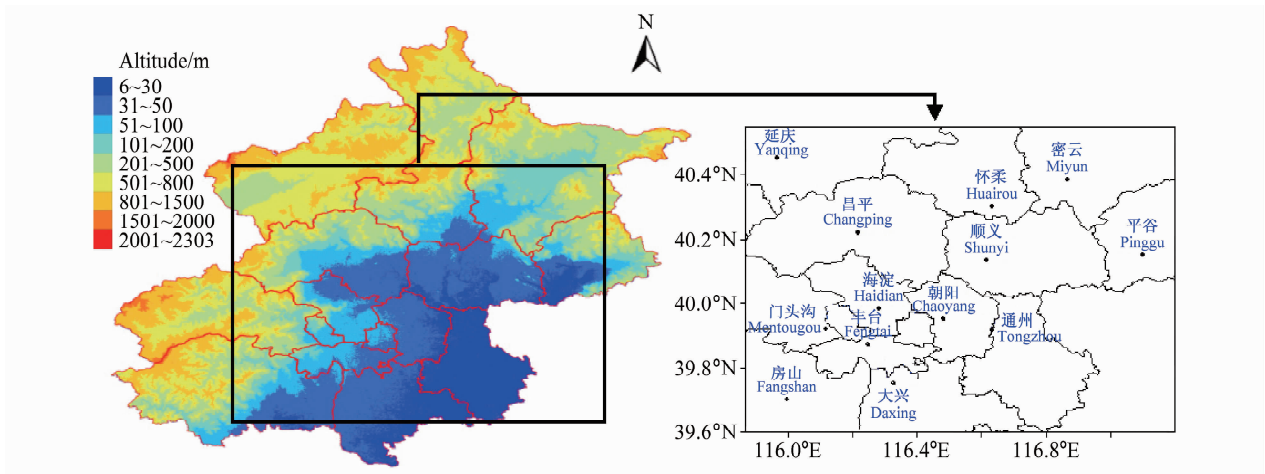


图 1 北京地区的地形及站点分布

Fig. 1 Terrain of the Beijing region and the distribution of weather stations

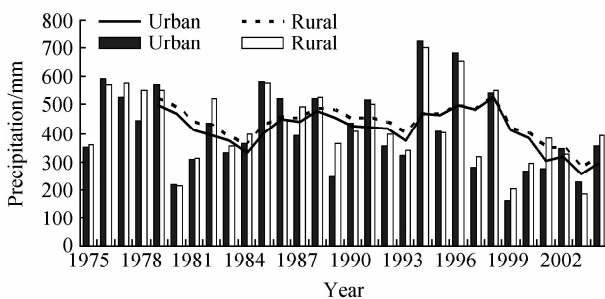


图 2 1975~2004 年北京城区站与郊区站夏季降水量的对比。实线和虚线为 5 年滑动平均

Fig. 2 Comparison of the summer precipitation between at rural and urban stations from 1975 to 2004. Solid and dashed lines are 5-year running mean

区站仅为 409.5 mm。

为分析城市化对北京地区降水的影响，图 3 进一步给出了城区站与郊区站夏季降水量的差值（城区减郊区）。由图 3 可知，在 1975~2004 年的 30 年中，郊区站点的夏季降水量大于城区站点的有 19 年，而城区站点大于郊区站点的有 11 年。5 年滑动平均曲线表明，夏季郊区站点的降水量总体上要大于城区。值得注意的是，在 1975~1989 年这 15 年中，只有 4 年是城区站点的夏季降水量大于郊区的；而在 1990~2004 年的 15 年中，城区站点的夏季降水量大于郊区的则达到了 7 年，城郊之间夏季降水量的对比已发生了一定变化。参考周丽英等（2001）在分析上海降水时所采用的方法，对城郊夏季降水时间序列进一步做了双尾配对 t 检验，结果为 0.03，表明城郊之间夏季

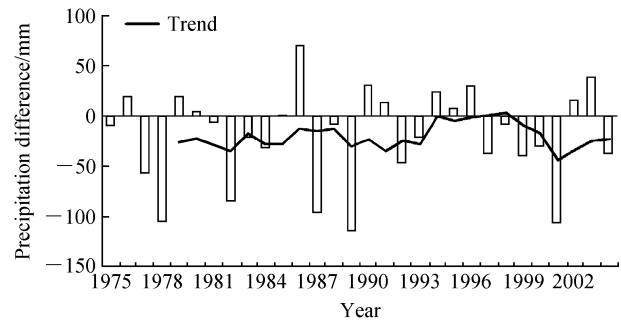


图 3 1975~2004 年北京城区站与郊区站夏季降水量的差别。实线为 5 年滑动平均

Fig. 3 Difference of precipitation between urban and rural stations in summers from 1975 to 2004. Solid line is 5-year running mean

降水量的均值存在一定差异，但并不明显。

对于北京地区降水空间分布有一个共识，即地形是控制北京降水空间分布的一个主要控制性因素，燕山、太行山迎风坡前一直是一个降水量的高值区（徐宗学等，2006），因此城郊站点的夏季降水量的差异应该主要是因北京地区的地形特征造成的。由于地形造成的城郊间夏季降水的差异很有可能掩盖了城市化造成的差异，因此，仅根据时间序列的分析尚无法完全确认城市化对夏季降水量的影响。

北京夏季盛行风向为偏南风，一般认为城市化对降水的影响在城区的盛行风向下风向不远处最明显，许多城市的研究表明在城区盛行风向下风向往往存在降水的高值区（周丽英等，2001）。而大兴、海淀和昌平 3 个站的分布刚好比较符合从南到北且横跨城区的条件，大兴位于城区上风

向, 海淀正位于城区, 而昌平则位于城区的下风向, 因此这 3 个站的夏季降水的时间序列很有可能包含了城市化影响的信息。为进一步探讨城市化对夏季降水量的影响, 本文选择了以上 3 个站的夏季降水资料进行了对比分析。

由图 4 可知, 3 站之间降水量的差别要大于图 3 中城郊之间降水量的差别, 这说明将城区站与郊区站的数据分别平均后进行分析, 有可能平滑和掩盖了一些本来存在的差异。图 4 同时给出了 3 个站夏季降水时间序列的线性变化趋势, 尽管 3 站夏季降水时间序列的变化趋势显然并非线性, 但这样处理减少了问题的复杂性, 有助于直观地展示城市化对降水的影响。从 3 站的线性变化趋势来看, 在 30 年中, 3 站的降水量都呈下降趋势, 但趋势线的斜率各有不同: 大兴、海淀和昌平站的斜率分别为 -7.52 、 -4.76 和 -3.12 。这说明, 在华北持续干旱的大气候背景下, 30 年中大兴站的夏季降水量下降趋势最明显, 海淀站次之, 位于城区主导风向下风向的昌平站最不明显, 而城市化地区对下风向地区的增雨效应在一定程度上可以帮助解释这种现象。

4 夏季降水年代际变化的城郊对比

对降水量空间分布的年代际变化进行分析, 能减少数据逐年变化所带来的不确定性, 有助于讨论城市化进程对降水的影响。为了分析北京地区夏季降水的年代际变化, 将本文研究的时间段分为 3 个 10 年, 分别是北京快速城市化之前和早期的 1975~1984 年、快速城市化中期的 1985~

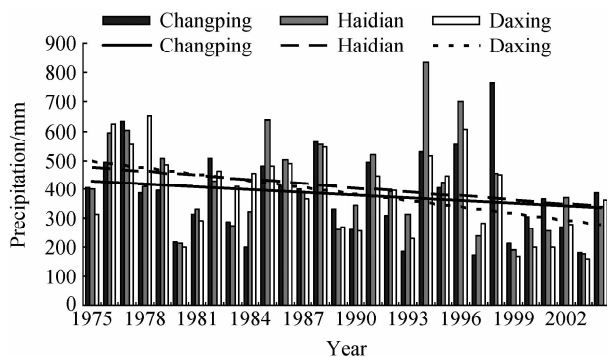


图 4 1975~2004 年大兴、海淀、昌平站夏季降水量的对比
Fig. 4 The summer precipitation of Daxing, Haidian and Changping stations from 1975 to 2004

1994 年以及快速城市化近期的 1995~2004 年。根据不同年代, 绘制北京城区及近郊夏季平均降水量的空间分布, 如图 5 所示。图中雨量的空间分布, 是根据 13 个站点的夏季雨量资料进行空间克里格插值 (常文渊等, 2004) 得到的。

从图 5 可看出, 在 3 个 10 年中, 夏季降水总量多年平均值的等值线基本上都是维持东北—西南走向, 延庆周边始终是一个降水量的低值区, 这与北京的地形特征有较好的对应关系。图 5a 是 1975~1984 年的结果, 从中可看出, 在夏季怀柔

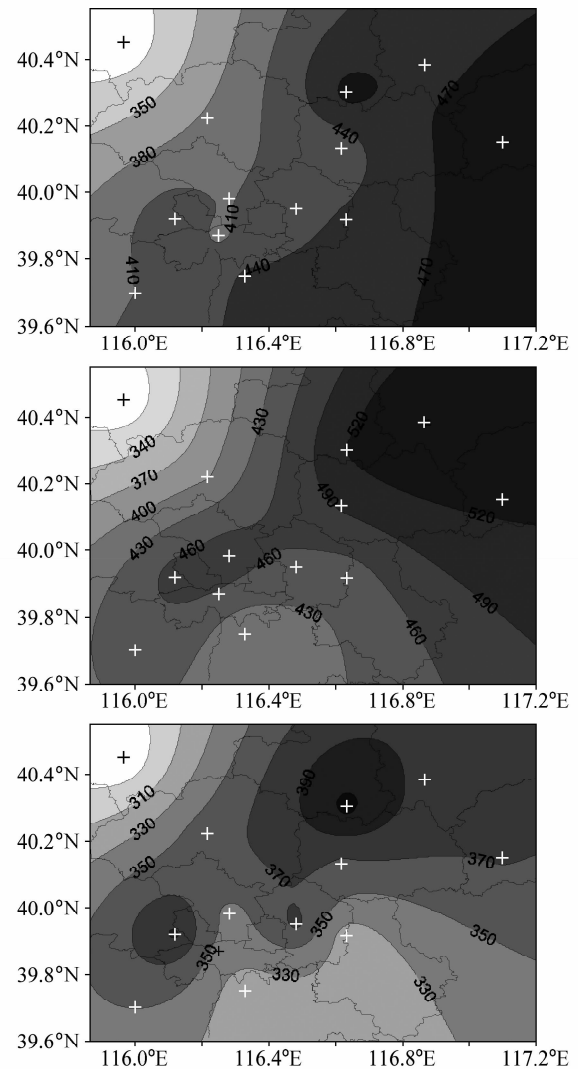


图 5 北京城区及近郊夏季降水量空间分布: (a) 1975~1984 年; (b) 1985~1994 年; (c) 1995~2004 年 (单位: mm, + 表示观测站点)

Fig. 5 Spatial distribution of the average precipitation in the summer of Beijing: (a) 1975—1984; (b) 1985—1994; (c) 1995—2004 (units: mm, + indicate the stations)

周边仍然是降水的一个高值区,而海淀、丰台区周边的降水量则相对较少。图 5b 是 1985~1994 年的情况,由图可见,在这 10 年中,夏季降水量的极值区由怀柔转移到了密云,而另一个值得注意的特点是降水高值区向西南城区方向有所延伸,覆盖了海淀、石景山和门头沟一带。图 5c 是快速城市化近期 10 年的结果,这一时期夏季降水量的多年平均值比上一个 10 年下降较多,这与华北的大气候背景有关。从降水的空间分布来看,尤其值得注意的是,西南门头沟附近的城区及东部朝阳城区也已发展成为降水的相对高值区。

从不同年代、不同季节的降水年代际变化来看,地形仍然是北京城区周边降水空间分布的主要控制性因素——降水量的分布与周边的地形特征有较好的对应关系,而与城区位置及主导风向的对应关系较弱。然而,降水量年代际变化的分析表明,夏季降水带有向西南城区方向延伸或移动的趋势,北京近 30 年来的快速城市化进程是降水量分布出现这种变化的一个可能原因。

5 结论与讨论

本文利用 1975~2004 年北京 13 个站的降水资料,对北京城区及周边的降水特征进行了城郊对比分析,通过分析可得出以下主要结论:

北京地区的城区站和郊区站,夏季降水量在过去 30 年中均呈明显下降趋势,且城区站与郊区站的变化趋势差别不大,城区站的夏季降水量总体上始终小于郊区站。对大兴、海淀和昌平 3 站的夏季降水量进行了分析,结果表明位于城区主导风向下风向的昌平在 30 年中线性下降的趋势最不明显,而城市化对降水的影响有助于解释这种现象。将 1975~2004 年 30 年分为 3 个年代,对比 3 个年代降水的空间分布趋势,发现地形仍然是决定北京地区降水空间分布的主导因素,但城市的影响日益明显,夏季降水带的高值区存在向西南城区方向延伸或移动的趋势。

城市化进程对降水的影响有着非常复杂的物理机制,而对于城市化是否一定有利于局地降水的生成还存在一定争议,因此尚不能断言城市化进程是造成北京降水时空分布特征发生变化的主要原因。但前人的分析认为,城市热岛环流加强

了城区的对流,城市污染物的排放给空气带来更多的凝结核,从而有助于城区上空降水的生成。这在一定程度上可以解释北京地区夏季降水带空间分布发生变化的原因。

参考文献 (References)

- 常文渊,戴新刚,陈洪武. 2004. 地质统计学在气象要素场插值的实例研究 [J]. 地球物理学报, 47 (6): 982-990. Chang Wen-yuan, Dai Xingang, Chen Hongwu. 2004. A case study of geostatistical interpolation to meteorological fields [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 47 (6): 982-990.
- Howard L. 1833. Climate of London Deduced from Meteorological Observations (3rd ed) [M]. London: Harvey and Darton.
- Kaufmann R K, Seto K C, Schneider A, et al. 2007. Climate response to rapid urban growth: Evidence of a human-induced precipitation deficit [J]. J. Climate, 20: 2299-2306.
- 李天杰. 1995. 上海市区城市化对降水的影响初探 [J]. 水文, (3): 34-41. Li Tianjie. 1995. A preliminary study on the effect of urbanization on the precipitation in Shanghai area [J]. Hydrology (in Chinese), (3): 34-41.
- 林学椿,于淑秋. 2005. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应 [J]. 地球物理学报, 48 (1): 39-45. Lin Xuechun, Yu Shuqiu. 2005. Interdecadal changes of temperature in Beijing region and its heat island effect [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 48 (1): 39-45.
- 刘熙明,胡非,李磊. 2006a. 北京市夏季城市热岛特征及其近地层气象场分析 [J]. 中国科学院研究生院学报, 23 (1): 70-76. Liu Ximing, Hu Fei, Li Lei. 2006a. Analyses on the characteristics of Beijing summer urban heat island and its meteorological fields [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science (in Chinese), 23 (1): 70-76.
- 刘熙明,胡非,李磊,等. 2006b. 北京地区夏季城市气候趋势和环境效应的分析研究 [J]. 地球物理学报, 49 (3): 689-697. Liu Ximing, Hu Fei, Li Lei, et al. 2006b. Summer urban climate trends and environmental effect in the Beijing area [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 49 (3): 689-697.
- 王文杰,申文明,刘晓曼,等. 2006. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究 [J]. 环境科学研究, 19 (2): 44-48. Wang Wenjie, Shen Wenming, Liu Xiaoman, et al. 2006. Research on the relation of the urbanization and urban heat island effect changes in Beijing based on remote sensing [J]. Research of Environmental Sciences (in Chinese), 19 (2): 44-48.
- 王喜全,王自发,郭虎. 2006. 北京“城市热岛”效应现状及特征 [J]. 气候与环境研究, 11 (5): 627-636. Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu. 2006. The study of the urban heat island in Beijing city [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (5): 627-636.

- 吴息, 王晓云, 曾宪宁, 等. 2000. 城市化效应对北京市短历时降水特征的影响 [J]. 南京气象学院学报, 23 (1): 68 - 72. Wu Xi, Wang Xiaoyun, Zeng Xianning, et al. 2000. The effect of urbanization on short duration precipitation in Beijing [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 23 (1): 68 - 72.
- 谢庄, 王桂田. 1994. 北京地区气温和降水百年变化规律的探讨 [J]. 大气科学, 18 (6): 683 - 690. Xie Zhuang, Wang Guitian. 1994. The changes of temperature and precipitation in Beijing during last 100 years [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 18 (6): 683 - 690.
- 徐宗学, 张玲, 阮本清. 2006. 北京地区降水量时空分布规律分析 [J]. 干旱区地理, 29 (2): 186 - 192. Xu Zongxue, Zhang Ling, Ruan Benqing. 2006. Analysis on the spatiotemporal distribution of precipitation in the Beijing region [J]. Arid Land Geography (in Chinese), 29 (2): 186 - 192.
- 张光智, 徐祥德, 王继志, 等. 2002. 北京及周边地区城市热岛特征及其演变 [J]. 应用气象学报, 13 (特刊): 41 - 49. Zhang Guangzhi, Xu Xiangde, Wang Jizhi, et al. 2002. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13 (Special issue): 41 - 49.
- 周丽英, 杨凯. 2001. 上海降水百年变化趋势及其城郊的差异 [J]. 地理学报, 56 (4): 467 - 476. Zhou Liying, Yang Kai. 2001. Variation of precipitation in Shanghai during the last one hundred years and precipitation differences between city and suburb [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 56 (4): 467 - 476.