

刘伟东, 尤换苓, 任国玉, 等. 2014. 北京地区精细化的降水变化特征 [J]. 气候与环境研究, 19 (1): 61–68, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12142. Liu Weidong, You Huanling, Ren Guoyu, et al. 2014. Subtle precipitation characteristics in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (1): 61–68.

北京地区精细化的降水变化特征

刘伟东¹ 尤换苓² 任国玉³ 杨萍⁴ 张本志¹

1 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

2 北京市气象服务中心, 北京 100089

3 国家气候中心, 北京 100081

4 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081

摘要 应用 2007~2010 年北京地区 123 个数据质量较好的自动气象站逐时降水数据, 分析了该地区夏季不同级别降水的空间特征和 4~10 月降水的时间变化特征。结果表明, 北京地区 2007~2010 年自动站年平均夏季降水量分布与 1978~2010 年常规站多年平均夏季降水量分布较一致, 夏季总降水小时数明显高值中心在北部山区和城区以西山区, 小时雨强以东北部、城区为高值中心, 自东向西趋势递减, 7 月城区小时雨强最强。

关键词 降水量 降水小时数 降水强度 自动站 北京

文章编号 1006-9585 (2014) 01-0061-08

中图分类号 P463.1

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12142

Subtle Precipitation Characteristics in Beijing Area

LIU Weidong¹, YOU Huanling², REN Guoyu³, YANG Ping⁴, and ZHANG Benzhi¹

1 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

2 Beijing Meteorological Service Center, Beijing 100089

3 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

4 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081

Abstract Based on the hourly precipitation data from 123 automatic weather stations (AWS) during the period of 2007–2010 over Beijing area, the variations in summer precipitation amount, precipitation hours, and precipitation intensity of different categories were analyzed. Furthermore, the monthly precipitation characteristics from April to October were also studied. The results indicate that the AWS precipitation distribution in the summer of 2007–2010 is similar to the precipitation distribution from ordinary stations for the summer of 1978–2010. In summer, the center of the distribution of precipitation hours was located in the north and west mountainous area. The center of the most intensive hourly precipitation was located over an urban area and the northeast of Beijing. The shortly intensive precipitation is stronger in July than other months.

Keywords Precipitation amount, Precipitation hours, Precipitation intensity, Automatic weather station, Beijing

揭示城市气候规律具有重要作用。早在 20 世纪 70 年代, 美国 METROMEX 试验利用高时空分辨率的降水观测数据研究大城市对中尺度对流天气的影响 (Changnon et al., 1971; Changnon and Huff,

1 引言

自动气象站网高时空分辨率的气象信息对于

收稿日期 2012-08-12 收到, 2013-05-30 收到修定稿

资助项目 中国科学院战略性先导科技专项 XDA05090202, 国家自然科学基金项目 40975066、41375069

作者简介 刘伟东, 男, 1973 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为城市气候、城市遥感等。E-mail: wdlIU@ium.cn

1986)。该研究发现, 大城市下垫面影响对流天气出现的次数, 影响城区及城市下风方向的降水量分布, 并认为这主要是城市热岛和粗糙度的影响。Huff and Changnon (1973) 研究了美国 9 个城市的降水情况, 发现其中有 7 个城市由于城市导致降水明显增加, 降水增加的区域主要位于城区和城市中心下风方向 80 km 范围。在我国, 吴息等 (2000) 对北京城区和郊区的自动气象站小时降水量进行了分析, 发现中到大雨时城市效应对下风区的短历时降水量增加影响最明显, 而在市中心短历时降水的发生概率和强度增加最显著。李建等 (2008) 分析了北京地区夏季降水的日变化特征, 发现降水量与降水频次表现出明显的一致性, 夏季降水频次在午后至次日清晨为高峰期, 最容易降水, 而中午前后降水量和降水频次最少。孙继松等 (2006)、孙继松和舒文军 (2007) 及孙继松和杨波 (2008) 分析了北京地形、城市热岛效应、城市环流等对北京地区降水的影响, 发现地形与城市热力过程相互作用造成的中尺度暴雨多发于傍晚前后或凌晨前后。

由于观测资料密度所限, 先前的研究多采用数值模拟或利用有限的降水观测资料对降水特征进行分析, 对城区和近郊区气象要素的细微差异以及城市内部气象要素的日变化特征等还缺乏详细分析。因此, 本文采用 2007~2010 年数据质量较好的北京地区 123 个加密自动气象站数据, 分析北京地区降水的精细时空分布特征, 研究结果对于了解

北京地区降水分布特征与城市防汛等具有一定的参考价值。

2 资料与方法

杨萍等 (2011) 插补和构建了北京地区 2007~2010 年自动站逐时降水资料数据集。本文选取其中记录连续性较好、空间分布相对均匀的 123 个自动站的数据 (图 1), 分析北京地区精细的降水变化特征。因多数自动气象站在冬季不能对固态降水观测, 本文主要对 4~10 月和夏季 (6~8 月) 的降水进行分析。本研究中, 夏季降水量为 2007~2010 年夏季年平均的大于等于 0.1 mm/h 的累计降水量, 降水小时数为 2007~2010 年夏季平均的累计降水小时数, 降水强度为降水量与降水小时数的比值。根据小时降水强度 R , 将降水分为 4 级, 分别为 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 、 $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 、 $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 、 $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 。

3 结果与分析

3.1 北京地区夏季降水分布特征

北京地区夏季总降水量分布以东北部、城区及城西部近郊为高值中心, 自东向西呈递减趋势, 东北部最大降水量大于 350 mm (图 2a)。 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水在各级别降水中降水量最大,

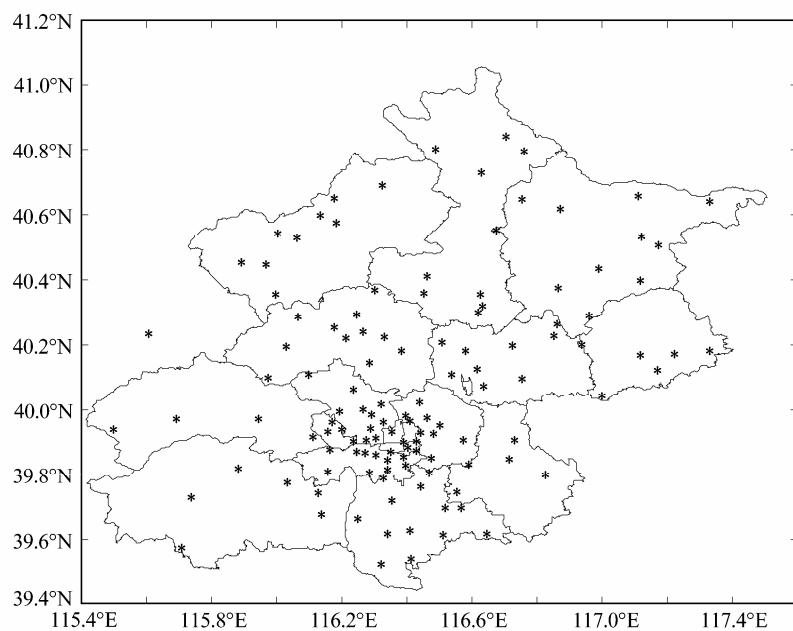


图 1 本研究所用自动气象观测站分布

Fig. 1 The distribution of automatic weather stations involved in this study

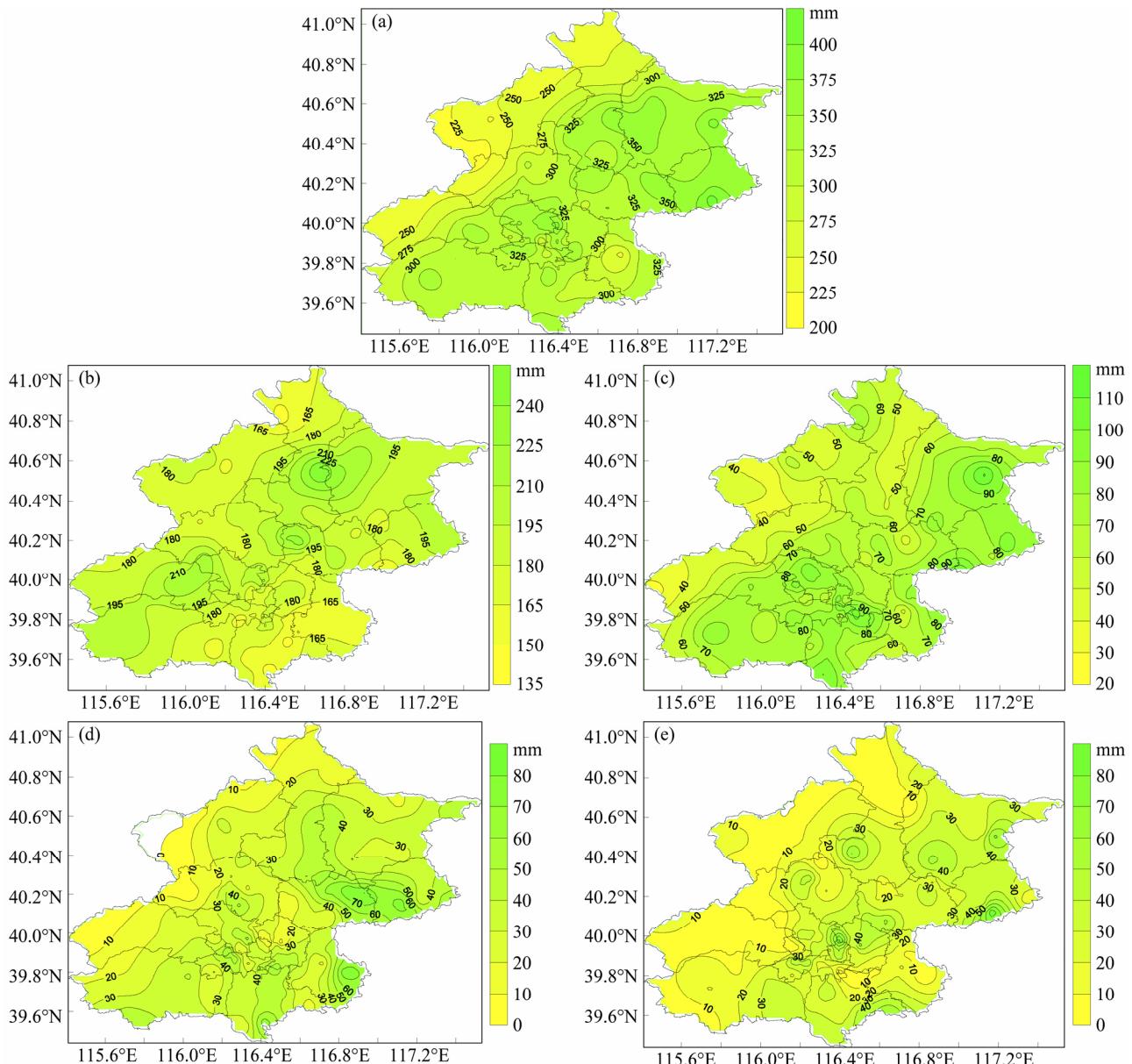


图2 北京地区2007~2010年多年平均夏季不同级别累计降水量(单位: mm)分布: (a) $R \geq 0.1 \text{ mm/h}$; (b) $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$; (c) $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$; (d) $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$; (e) $R \geq 30 \text{ mm/h}$

Fig. 2 Annual accumulated precipitation amount (mm) distributions of different precipitation categories over Beijing area in summer from 2007 to 2010: (a) $R \geq 0.1 \text{ mm/h}$; (b) $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$; (c) $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$; (d) $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$; (e) $R \geq 30 \text{ mm/h}$

占夏季总降水量一半以上, 降水量高值中心分别位于北部地区和城西部近郊(图2b); $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 等级降水量和夏季总降水量分布最相近, 高值中心在东北部和城区及城区西部近郊(图2c); $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 等级降水量高值中心在东部地区, 城区附近降水量值也较高, 但中心不明显(图2d); $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 等级降水量高值中心分布规律不明显, 西部山区较小, 东部、北部、东北、南部、城区及近郊都有弱的高值中心(图2e)。可见, 降水量级别越大, 降水分布的不确定性和非均

质性越大, 城区及其附近较为明显, 说明小时强降水分布非常复杂。这主要是由于来自东南的暖湿空气受燕山、太行山的抬升, 在山前迎风坡形成多雨区, 而背风坡形成少雨区有关。同时, 东北部的高值区基本属于地形影响, 而城近郊区的高值区逐渐向郊区递减与城市化影响关系密切。城市下垫面的粗糙度、热岛以及散布在大气中的污染物质, 在一定程度上造成降水量增多(孙继松, 2006)。

夏季 $R \geq 0.1 \text{ mm/h}$ 的降水小时数在北部山区有明显的高值中心, 降水小时数超过 180 h, 城区以

西的山区为次高值中心, 小时数超过 160 h(图 3a)。 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数分布特征和总体降水小时数分布相似(图 3b); $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数分布规律发生明显变化, 东北部和城近郊小时数值较高(图 3c); $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数高值中心在东部地区, 北部山区、城近郊区小时数值也比较大(图 3d); $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数高值中心分布规律不明显, 西部山区整体较短, 东部、北部、东北、南部、城区及近郊都有弱的高值中心(图 3e)。 $R \geq 20 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数的分布规律与同级别降水量分布情况相近。

年平均夏季平均小时雨强(大于等于 0.1 mm/h)的分布以东北部和城区为高值中心, 强度大于 2.4 mm/h , 自东向西逐渐递减(图 4a)。 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水强度高值中心仍位于东北部地区和城区及城近郊(图 4b); $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 、 $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 及 $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 等级降水雨强分布均无明显规律, 雨强中心在全市各区域都可出现(图 4c–4e)。由于热岛效应的分布特征在不同天气背景下不一致, 导致对应降水事件最大雨强的空间分布也不完全与城区重合, 对于强降水, 就局地影响而言, 决定中心落区位置的最大影响因子是地形, 其次是城市热岛强度, 热岛的中心位置并不

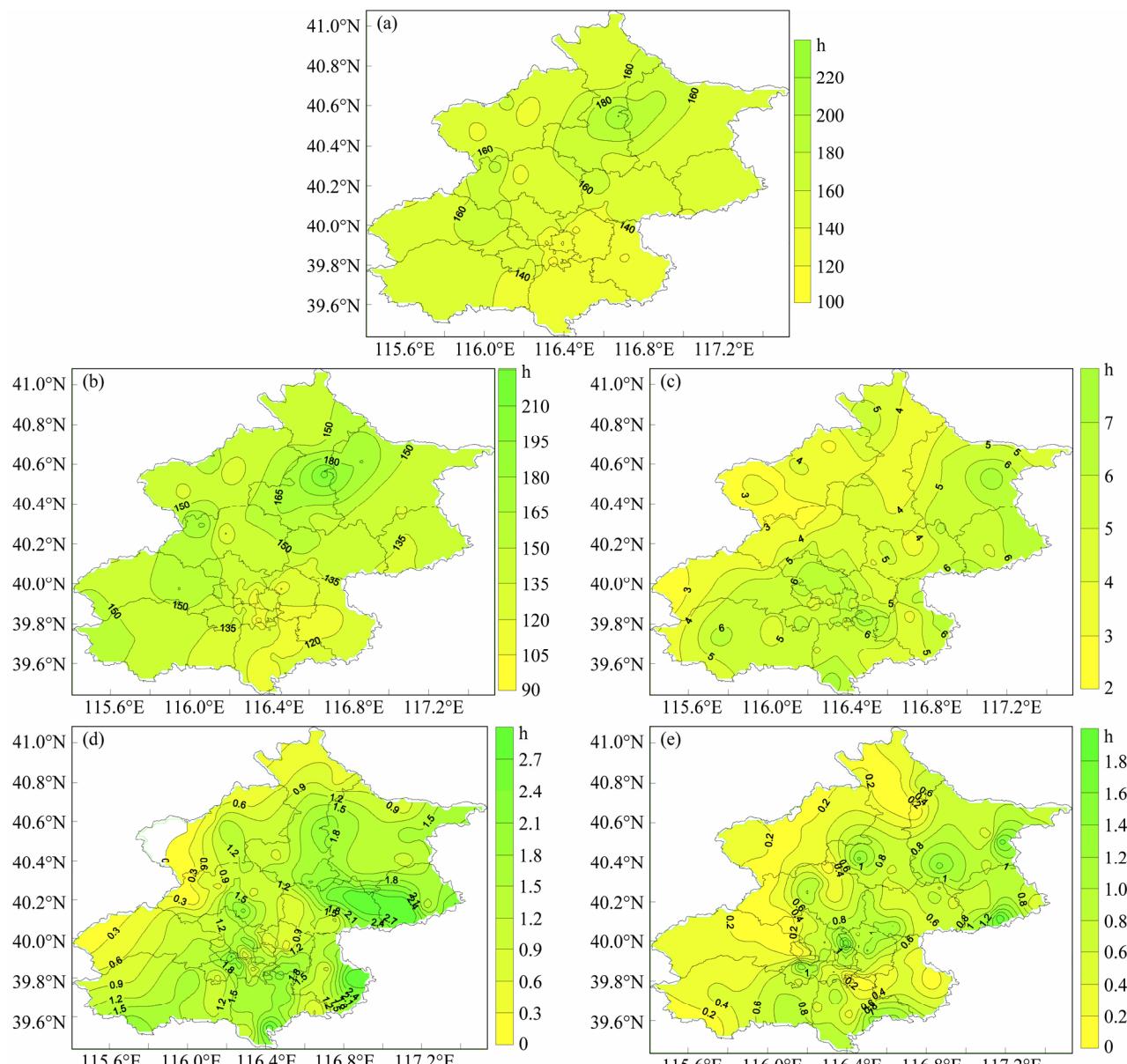


图 3 同图 2, 但为不同级别累计降水小时数(单位: h)分布

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for annual accumulated precipitation hours (h)

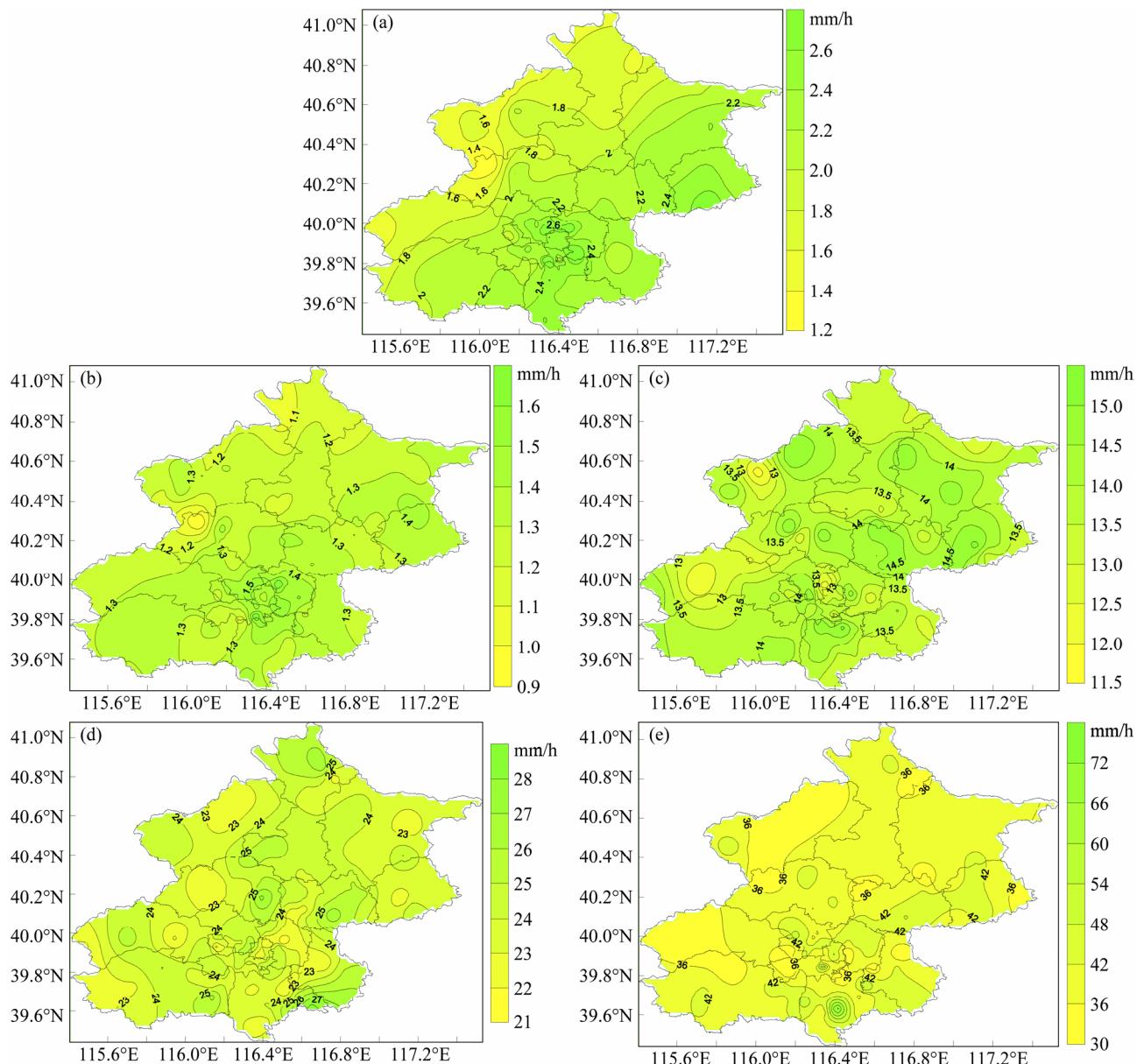


图4 同图2, 但为不同级别小时降水强度(单位: mm/h)分布

Fig. 4 Same as Fig. 2, but for annual hourly precipitation intensity (mm/h)

利于强降水中心的出现, 但是, 强的热岛效应可能造成最大降水中心更集中, 且一般位于热岛的下风方向。

3.2 4~10月各月逐时降水特征分析

2007~2010年平均4~10月逐月降水量和降水强度曲线变化非常一致(图5), 降水量由高到低顺序为7、8、6、9、5、10、4月, 降水强度由高到低顺序为7、8、6、9、10、5、4月, 均为7月最高, 其中降水量为125 mm, 降水强度为2.4 mm/h。相对于降水量和降水强度的变化, 降水小时数变化较为平缓(图5), 并在月份上与降水量和降水强度

不完全一致。北京近4年4~10逐月降水量与降水强度关系更为密切, 表明降水量的大小主要是由降水强度决定的。

2007~2010年平均逐时降水量和降水强度的日内变化趋势高度一致(图6), 均存在明显的峰谷区。总体来看, 低值谷区位于05:00(北京时间, 下同)至16:00, 17:00至次日07:00为降水相对高值区, 高值锋区集中在夜间21:00至22:00。一天中降水量最少的时次是13:00, 其次是12:00。这与李建等(2008)研究得到的08:00至14:00为降水量的低值时段, 一天中降水量最小的时次是中午

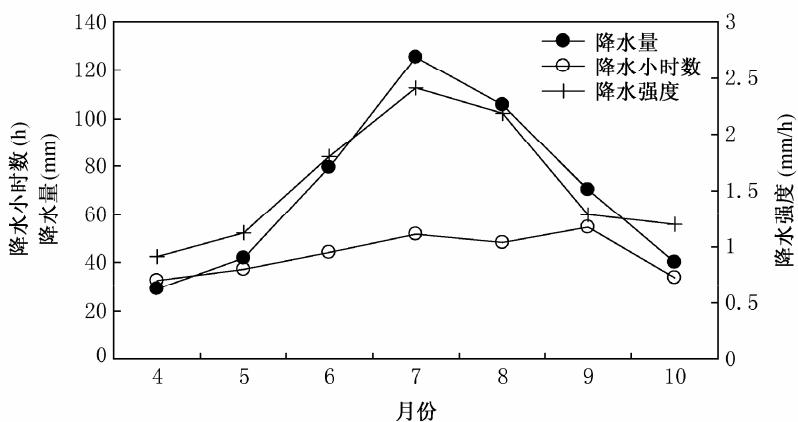


图 5 2007~2010 年平均 4~10 月逐月降水量、降水小时数和降水强度变化

Fig. 5 Monthly precipitation amount, precipitation hours, and precipitation intensity variations in summer averaged from 2007 to 2010

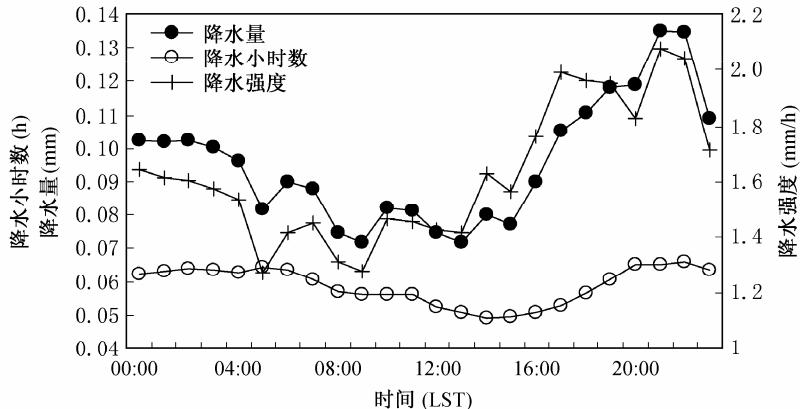


图 6 2007~2010 年平均 00:00 至 23:00 逐时降水量、降水小时数和降水强度变化

Fig. 6 Hourly precipitation amount, precipitation hours, and precipitation intensity variations in summer averaged from 2007 to 2010

12:00, 15:00 至早上 07:00 为降水量的高值时段的结论基本一致。对于降水小时数, 其日内变化特点是下午 12:00 至 17:00 最低, 总体变化趋势基本与逐时降水量和降水强度一致, 但变化平缓得多。发生在下午和傍晚前后的短时降水事件与太阳辐射加热密切相关。由于太阳辐射加热的日变化, 低层大气在下午和傍晚易于达到不稳定状态, 并激发出局地湿对流活动, 形成短时降水(孙继松等, 2006)。而北京地区夜间 21:00 至 22:00 降水高峰的发生原因, 可能与城市热岛强度增强有关, 具体联系机理有待进一步研究。

2007~2010 年平均 4~10 月各月逐时降水分布有较大差异(图 7)。4 月, 平均降水量在晚上 18:00 至 23:00 时降水量稍大, 其他各时次变化不大; 5 月的降水量在白天 11:00 至 14:00 时较大; 6 月的降水主要集中在 12:00 至 23:00; 7 月平均降水量最大, 逐时降水时间分布有两个高值中心, 分别是午后 15:00 到夜间 23:00 和 00:00 至 04:00; 8 月降水减小,

降水分布高值时段主要是午后 13:00 至 15:00 和夜间 20:00 至 23:00; 9 月降水高值时段在凌晨 04:00 至 06:00; 10 月降水也主要发生在夜间, 但降水量更小。

2007~2010 年平均 4~10 月各月逐时平均降水小时数变化在 9 月降水小时数值最多, 降水时次多发在 0:00 至 10:00 之间, 尤其凌晨 04:00 至 06:00 最多, 这与该时次降水量高值分布相对应, 夜间 20:00 至 23:00 是 9 月降水时次的次高值区(图 8a)。不过 9 月虽然降水小时数最多, 平均降水量却小于 7、8 月, 说明 9 月降水出现频率高, 降水过程多, 但强短时降水过程少。7、8 月降水小时数分布较分散, 高值中心主要在午后与夜间, 这与北京 7、8 月短时强降水天气过程多, 降水小时数少关系密切。6 月也存在明显的降水小时数高值中心, 主要发生在 18:00 至 22:00, 这与降水量高值分布中心相吻合。4、5、10 月降水小时数分布不集中。图 8b 为 4~10 月各月逐时平均降水强度, 其中 7 月降水强

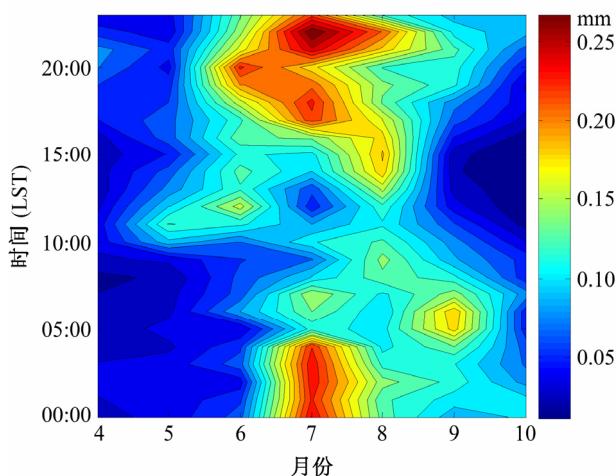


图 7 2007~2010 年平均 4~10 月北京地区逐时平均降水量 (单位: mm)

Fig. 7 Hourly precipitation amount (mm) from April to October averaged from 2007 to 2010

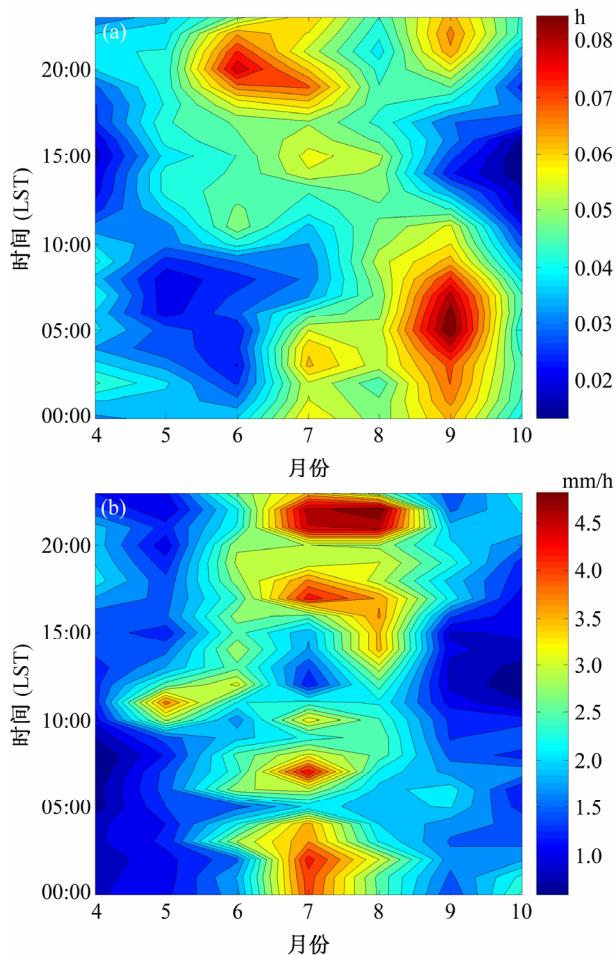


图 8 2007~2010 年平均 4~10 月北京地区各月逐时 (a) 平均降水小时数 (单位: h) 和 (b) 平均降水强度 (单位: mm/h)

Fig. 8 Hourly (a) precipitation hours (h) and (b) precipitation intensity (mm/h) from April to October averaged from 2007 to 2010

度逐时分布存在 4 个高值中心, 强度最大集中在 20:00 至 23:00, 其次是 16:00 至 18:00、06:00 至 08:00、00:00 至 04:00; 8 月同样存在 20:00 至 23:00、16:00 至 18:00 高强度集中时段; 5 月午前为相对高强度降水时段。4、9、10 月降水强度分布不集中。

4 结论

(1) 北京地区 2007~2010 年平均 6~8 月总降水量分布以东北部、城区及城西部近郊为高值中心, 自东向西递减, 东北部最大。 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水量在各级别降水中最多, 占降水总量一半以上, 降水量高值中心位于北部地区和城西部近郊; $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 等级的降水量和总降水量分布最相近; $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 等级降水量高值区在东部地区和城区附近; $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 等级降水量高值中心分布规律不明显。北京地区夏季 7 月降水最多, 8 月次之, 降水高值中心分布与整个夏季基本相同, 6 月降水量最小。

(2) 东北部地区为夏季累计平均降水小时数和 6、7、8 月份月降水小时数的明显高值中心。夏季降水强度分布从东到西明显减小, 城区和东北部为明显的高强度中心, 7、8 月城区短时降水强度更大。总降水小时数明显高值中心在北部山区, 城区以西山区为次高值中心, $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数分布和总降水小时数分布特征相似, $10 \text{ mm/h} \leq R < 20 \text{ mm/h}$ 等级降水在东北部和城近郊小时数值较高, $20 \text{ mm/h} \leq R < 30 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数高值中心在东部地区; $R \geq 30 \text{ mm/h}$ 等级降水小时数高值中心分布规律不明显, 西部山区整体分布较少。总降水强度以东北部、城区为高值中心, 自东向西趋势递减。 $0.1 \text{ mm/h} \leq R < 10 \text{ mm/h}$ 等级降水强度高值中心位于东北部地区和城区及城近郊; 其他级别降水强度分布均无明显规律。2007~2010 年 4~10 月逐月平均降水量和降水强度曲线变化非常一致, 降水强度与降水量高低顺序基本相同, 都是 7 月最高; 说明降水量与降水强度关系密切。

(3) 北京逐时降水量与降水强度变化高度一致, 均存在明显的峰谷区。低值谷区位于 05:00 至 16:00, 高值锋区集中在夜间 20:00 至 22:00, 次高峰区位于 00:00 至 04:00。北京各月降水分布时间有较大差异。9 月比 7、8 月降水出现频率高, 降水过

程多，但强短时降水过程少。7、8月降水小时数分布较分散，高值中心不明显，这与北京7、8月短时强降水天气过程多，降水小时数短关系密切。7月降水强度逐时分布存在4个高值中心，强度最大集中在20:00至23:00，其次是16:00~18:00、06:00至08:00、00:00至04:00；8月同样存在20:00至23:00、16:00至18:00高强度集中时段；5月中旬前后为相对高强度降水时段，4、9、10月降水强度分布不集中。

北京地区降水在时间和空间上分布的不均匀性与天气系统、地形和城市热岛效应等关系密切，通过了解降水的精细特征对于北京地区降水预报在时间、地点、量值上有一定的参考作用。但由于北京地区降水形成的机理复杂，加上研究资料长度所限，若能根据天气系统、地形、城市热岛效应分析降水的时空分布将对于业务预报具有更好的参考意义，同时城市化对降水的影响机制主要有城市热岛效应、城市阻碍效应、城市凝结核效应等，这些机制也有待于进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Changnon S A, Huff F A. 1986. The urban-related nocturnal rainfall anomaly at St. Louis[J]. *J. Climate Appl. Meteor.*, 25 (12): 1985–1995.
- Changnon S A, Huff F A, Semonin R G. 1971. METROMEX: An investigation of inadvertent weather modification [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 52 (10): 958–968.
- Huff F A, Changnon S A. 1973. Precipitation modification by major urban areas [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 54 (12): 1220–1232.
- 李建, 宇如聪, 王建捷. 2008. 北京市夏季降水的日变化特征 [J]. 科学通报, 53 (7): 829–832. Li Jian, Yu Rucong, Wang Jianjie, 2008. Diurnal variations of summer precipitation in Beijing [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 53 (7): 829–832.
- 孙继松, 舒文军. 2007. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究 [J]. 大气科学, 31 (2): 311–320. Sun Jisong, Shu Wenjun. 2007. The effect of urban heat island on winter and summer precipitation in Beijing region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (2): 311–320.
- 孙继松, 杨波. 2008. 地形与城市环流共同作用下的 β 中尺度暴雨 [J]. 大气科学, 32 (6): 1352–1364. Sun Jisong, Yang Bo. 2008. Meso- β scale torrential rain affected by topography and the urban circulation[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (6): 1352–1364.
- 孙继松, 王华, 王令, 等. 2006. 城市边界层过程在北京2004年7月10日局地暴雨过程中的作用 [J]. 大气科学, 30 (2): 221–234. Sun Jisong, Wang Hua, Wang Ling, et al. 2006. The role of urban boundary layer in local convective torrential rain happening in Beijing on 10 July 2004 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (2): 221–234.
- 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.
- 杨萍, 刘伟东, 仲跻芹, 等. 2011. 北京地区自动气象站气温观测资料的质量评估 [J]. 应用气象学报, 22 (6): 706–715. Yang Ping, Liu Weidong, Zhong Jiqin, et al. 2011. Evaluating the quality of temperature measured at automatic weather stations in Beijing [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 22 (6): 706–715.