

从不同的陆面资料看城市化对北京强降水的影响*

江晓燕 刘伟东

中国气象局北京城市气象研究所, 北京, 100089

摘 要

2004 年 7 月 10 日,北京地区出现了一次强降水过程。该次过程主要是由中尺度对流云团的活动造成的,整个大环流形势给暴雨的发展提供了水汽条件。分析近地面的特征场发现,在降水发生前 1—2 h,北京城区存在一个暖中心,其温度比周边地区高出 2—3℃,存在明显的热岛现象。该城市热岛现象的出现,使得城区的气压相对较低,郊区有较冷空气向城区辐合,有利于城区产生上升运动,形成对流降水。另外,对该次过程的数值模拟结果表明,使用了最新的陆面资料的模拟结果明显好于没有使用最新的陆面资料的模拟结果。这在一定程度上说明了城市热岛效应对该次强降水具有一定的影响。

关键词: 城市热岛, 强降水, 数值模拟, 陆面资料。

1 引 言

北京地处华北平原北部,总面积 $1.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,目前全市实际居住人口 1500 余万。北京的西面和北面多山,东南面为平原,属华北平原的一部分,具有独特的地理位置。20 世纪 80 年代以来,北京的城市建设和发展取得了重大进展。据统计,北京城区人口占总人口的比例从 1990 年的 62% 提高到了现在的 72%,比 1978 年增长了 17%。城市的繁荣和经济的发展给北京带来了令人瞩目的变化,但是城市的发展也导致了城市化的加剧。城市化的加剧,一方面使得城市热岛等现象越来越显著,同时使得夏季对流性天气也明显增多。所有这些主要是由于城市的发展和植被的减少使得城市自然环境发生变化所致。

美国 20 世纪 70 年代就开展了 METROMEX 试验,研究大城市对中尺度对流天气的影响^[1-3]。该试验研究发现,大城市对对流天气出现的次数有很大的影响,且在城区及城市下风方向常伴有降水的增加,而这种降水的增加主要归结为城市热岛和粗糙度的影响。Huff 和 Changnon^[4]研究了美国 9

个城市的降水情况,发现其中有 7 个城市由于城市化导致的降水有明显增加,这些地区增加的降水主要位于城区和城市中心下风方向 80 km 范围。Bornstein 等^[5-6]的研究发现,城市对夏季暴雨的形成和移动有着很明显的影 响。近年来,Bornstein 和 Lin^[7]在研究美国亚特兰大城市的降水时发现,1996 年 7、8 月的 9 d 时间里 有 3 次降水过程是由城市热岛效应导致。降水区主要位于城区下风方向,且降水发生前有很明显的城市热岛现象,地面有弱辐合现象,这是由于城市热岛产生的温度梯度所致。另外 Shepherd 等^[8]2002 年研究发现,美国亚特兰大城市在 1998—2000 年的夏季,城区下风方向的降水比上风方向明显增加了 19.5%。Thielen 等^[9]曾使用中尺度数值模式研究了城市陆面对降水发展的影响,发现感热通量对降水有很明显的影响。这些研究都表明城市发展对对流降水具有很重要的影响。

中国已有许多学者对局地强对流天气的成因及机制进行了研究。如:王笑芳、孙明生等^[10-11]曾通过对强对流天气出现的环流形势进行统计,概括出概念模型,从而提高强对流天气预报的准确性。李

* 初稿时间:2005 年 11 月 3 日;修改稿时间:2006 年 4 月 30 日。

资助课题:科技部社会公益类项目“北京城市热岛、高温热浪监测及预测技术研究”。

作者简介:江晓燕,女,1978 年生,现在美国德州大学攻读博士学位。

志楠等^[12]则对北京地区强对流天气的环境条件和触发机制进行了分析。李耀东等^[13-14]通过计算对流能量来预报强对流天气的落区,研究还发现对流能量参数与对流发生的强度关系密切。白洁、石定朴等^[15-16]使用云图来进行强对流天气的分析,从而及时准确的发现和跟踪强对流系统。林永辉等^[17]使用了数值模式来进行强对流天气的数值模拟。董佩明等^[18]则使用数值模式研究了下垫面强迫对京津冀大暴雨的作用。但是对于北京城市热岛效应对降水的影响的研究还相对较少。随着北京城市的不断发展,研究北京地区城市热岛与局地强对流天气的关系就显得尤为重要。

2004年7月10日下午,北京地区出现了突发性大暴雨,城区2h内平均降水量超过50mm,其中个别站点10min降水量达到23mm,丰台区气象站1h最大降雨量达到52mm,到20时,天坛总降水量达到109mm。该次暴雨过程强度大,降水时间短,是一次中尺度降水过程。本文使用自动气象站观测资料、卫星云图、常规观测资料、NCEP再分析资料和数值模式对该次降水过程进行了分析(文中使用的时间是北京时间)。

2 实况降水分布

7月10日下午,北京地区出现了一次强降水过程,降水主要集中在14—23时。城区降水量普遍超过50mm。目前,北京市气象局的自动气象站网已具备覆盖全市的观测能力。图1的降水量图所选用的是经过初步质量控制,剔除了其中的奇异值后的自动气象站每小时观测资料。7月10日14时首先在北京的西南部出现了一小片降水区,强度比较小,降水量只有2mm左右。接着从15时开始,降水强度明显加强,1h最大降水量超过27mm,且降水范围明显扩大。到了下一时刻(图1b),降水的范围主要集中在城区(39.5°N,116.4°E)附近。到18时,整个降水范围主要以城区为中心,尺度大约为100—150km,且最大值出现在城区,1h降水量超过25mm。另外我们发现,18—19时这一时段,北京城区的东北侧降水量突增,且在随后的几小时内在该方向都有降水发生。整个降水的位置主要在城区及其东北侧。到了23时,这次降水过程基本结束。分析图1每小时的降水量演变可以发现,这次降水范围比较集中,主要是在城区,且在降水发生后的4—5h后在城区

东北方向也有相应的降水增加。另外从时间和强度看,这次降水过程时间短,强度大,是一次中尺度对流系统导致的降水过程。

3 暴雨过程的天气形势分析

3.1 云团特征分析

图2为2004年7月10日14时的GOES卫星红外云图。从大范围的卫星云图上看,北京这次降水过程发生在来自孟加拉湾和南海季风云带的北端。从云图上可以清楚地看出季风从孟加拉湾向北涌进黄河下游。一般情况下,在季风云带上常常会有对流云团的活动,在其北面发生的局地暴雨云团相对比较少。但是季风云带的北涌给华北地区带来了充足的暖湿空气,对暴雨发展是有利的。北京这次强降水就是发生在季风云带的北面。因此,从大环境的云系看,暖湿空气的北送有利于暴雨的发生。

为了进一步了解造成这次强降水的对流云团的发展演变情况,从卫星云图的黑体辐射亮温(TBB)能够很好地了解到云系的分布、对流系统的强度特征和移动情况。图3给出了几个典型时刻的GOES红外云图反演的云顶亮温(TBB)的分布。图3中虚线所示即为造成北京强对流天气的云团。从其水平尺度看,北京地区的这次降水过程属于中尺度范畴。7月10日15:25(图3a),在北京西南面有一个云团,到了16:01(图3b),该云团中的中尺度对流云团开始发展起来,位于北京的偏西南部。16:25(图3c),该对流云团位于北京城区,且已经发展成熟,并且在随后的1h内继续不断发展,达到强盛期,此时的云顶最低温度达到-60℃。另外,我们从该中尺度云团的位置看,云顶最低温度区位于北京城区。正是由于该中尺度对流云团的存在,才导致了北京地区的这次强降水过程的发生。到了18:13(图3f),我们从云图上发现,对流系统很快便减弱了。Zhang Qinghong等^[19]研究曾发现,降水一般在云团成熟后的1—2小时内继续存在。因此在云图减弱的1—2小时内,降水继续维持,但是强度相对减弱,直至最后消亡。因此,从TBB资料我们可以很好地了解造成7月10日强降水的中尺度对流云团的整个发展演变过程。并且还发现,北京7月10日的大暴雨在北京城区最大。但是,值得注意的是该对流云团外形不规则,云体边缘不光滑,没有密集的亮温梯度。所以,单从云团的演变我们还不能了解造成

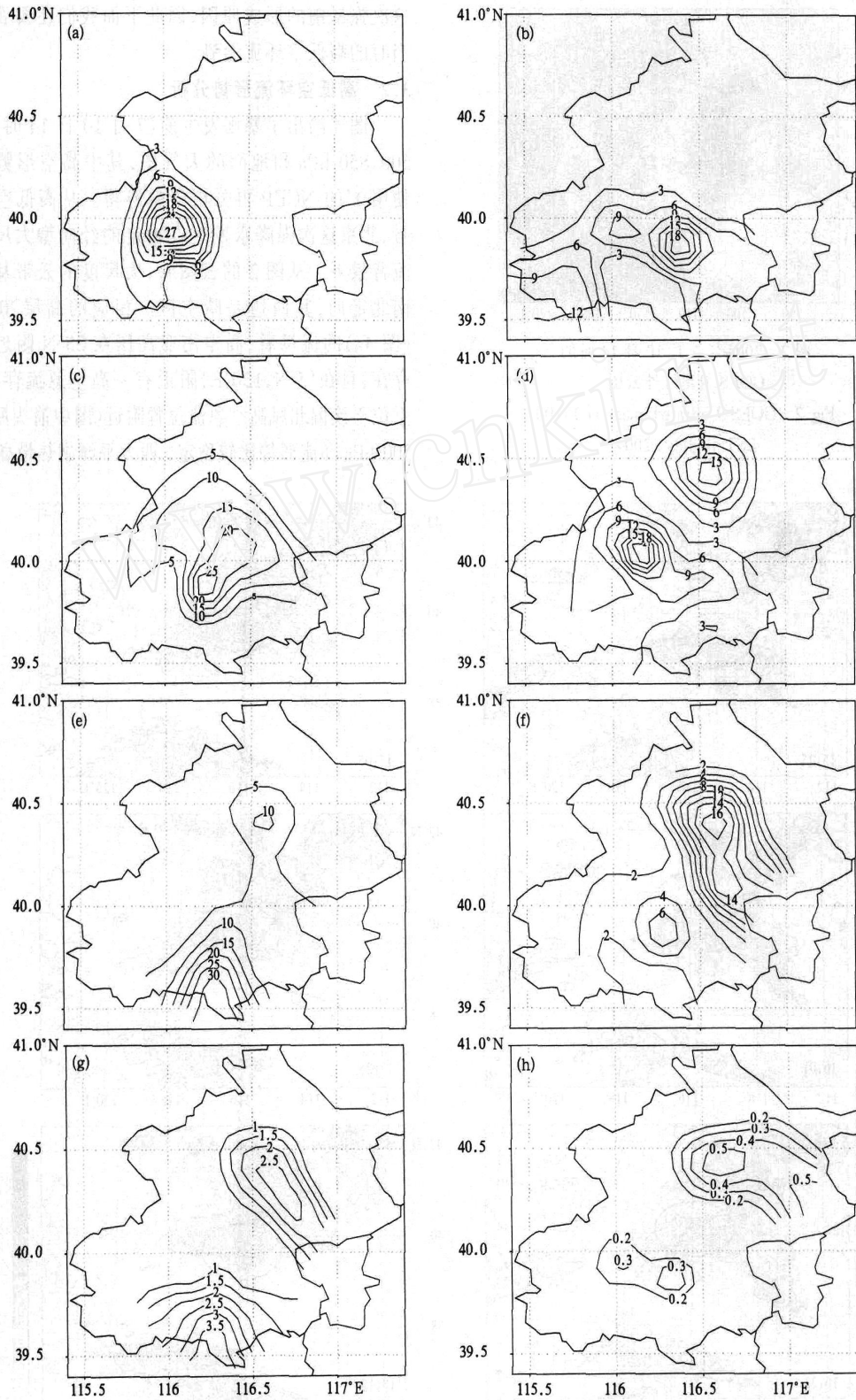


图 1 7月10日每小时降水量

(a. 15—16时, b. 16—17时, c. 17—18时, d. 18—19时, e. 19—20时, f. 20—21时, g. 21—22时, h. 22—23时)

Fig. 1 Observed hourly rainfall (mm) on 10 July, 2004

(a. 15:00 - 16:00; b. 16:00 - 17:00; c. 17:00 - 18:00; d. 18:00 - 19:00; e. 19:00 - 20:00;

f. 20:00 - 21:00; g. 21:00 - 22:00; h. 22:00 - 23:00)

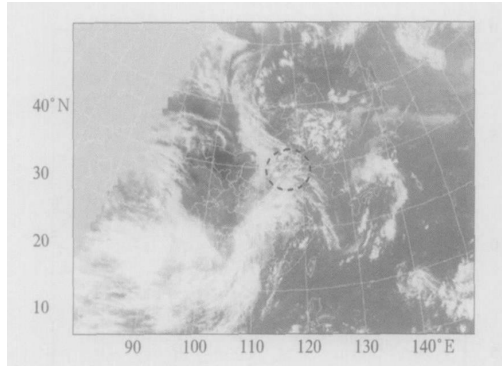


图2 2004年7月10日14时的
GOES卫星红外云图

Fig. 2 GOES-9 infrared image at 14:00
LST 10 July, 2004

这次强暴雨的形成原因,因此下面我们还要看一下当时的高低空环流形势。

3.2 高低空环流形势分析

图4给出了暴雨发生前(7月10日14时)200, 500, 850 hPa和地面的天气图,其中高空形势场是使用1°的NCEP再分析资料所得。从高低空形势看,北京这次强降水发生在稳定的经向型大尺度环流背景下。从图2的云图看,大尺度的云带基本呈南北走向,其西边是晴空区。相应的高层200 hPa(图4a)的流场看,高空南亚高压在25°N附近稳定存在,且在(5°N, 120°E)附近有一高空急流存在,北京位于该偏北风高空急流位置附近(图中箭头所示)。500 hPa环流形势比较稳定,西太平洋副热带高压稳

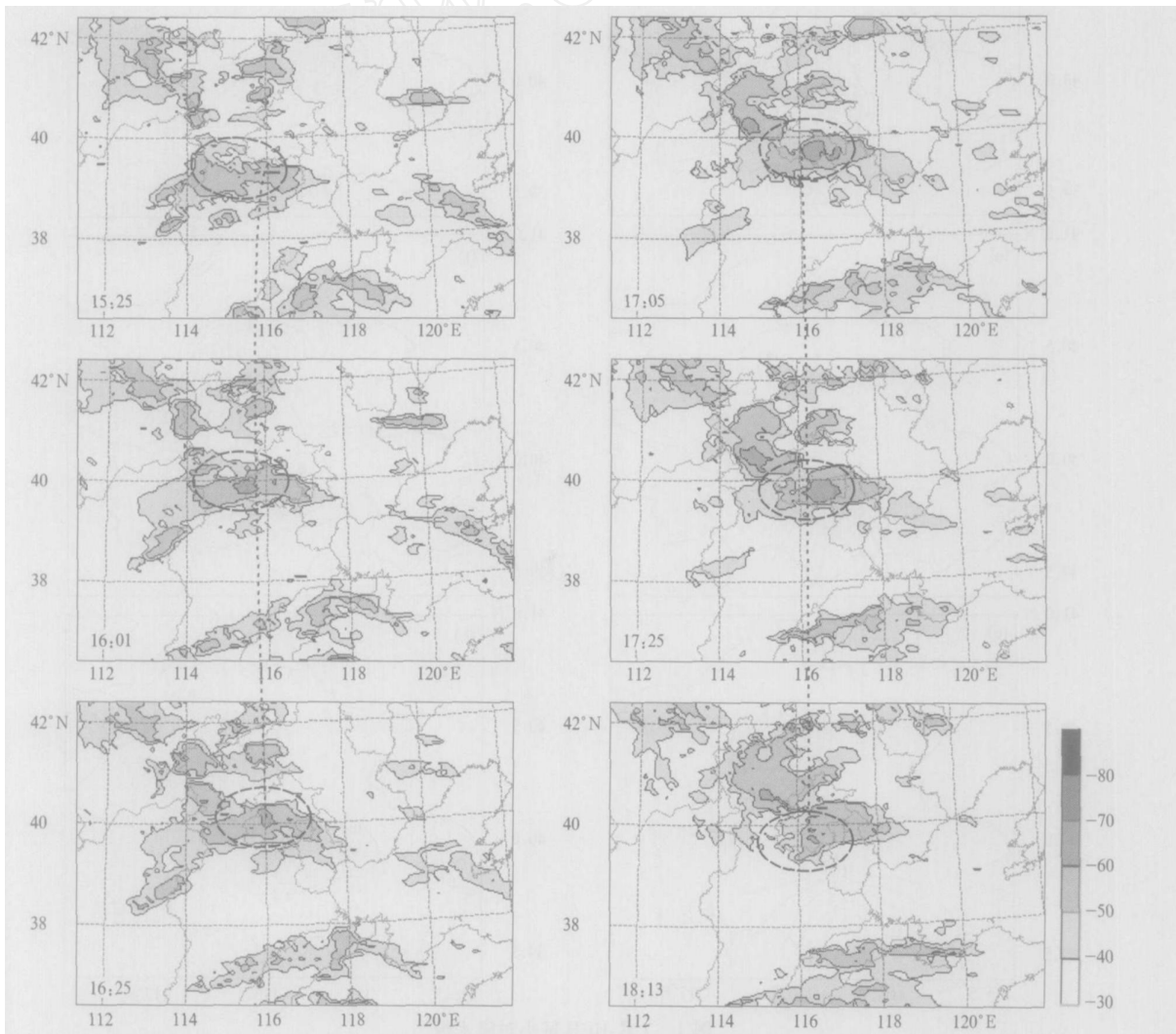


图3 2004年7月10日15:25—18:13 GOES红外云图反演的云顶亮温(TBB)分布()
(虚线为造成北京降水的中尺度对流云团)

Fig. 3 GOES-9-observed TBB from 15:25 to 18:13 LST 10 July, 2004()
(the dash line delineates the position of the convective cloud cluster, which caused the heavy rain in the Beijing area)

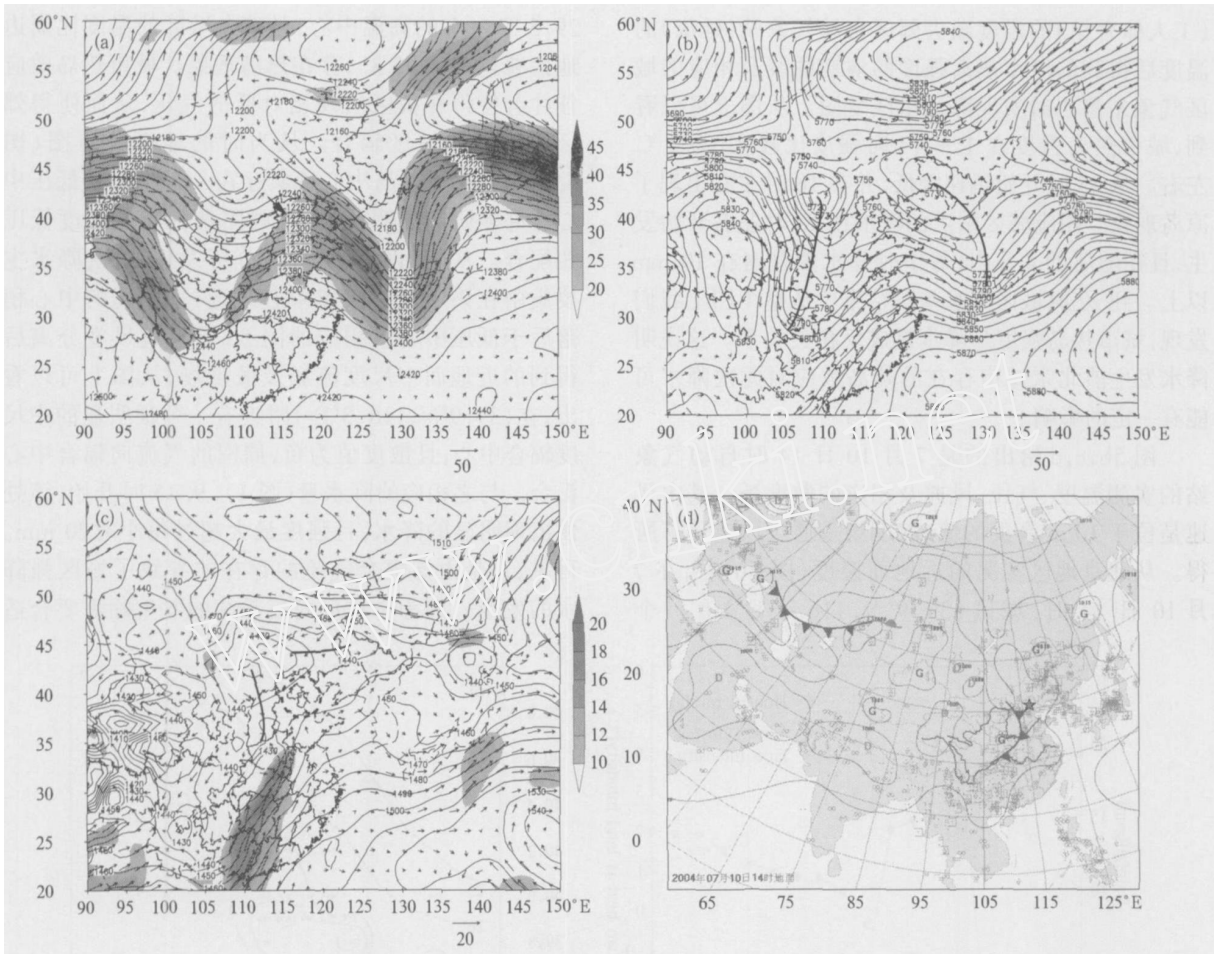


图4 2004年7月10日14时实况水平场分布

(a, b 和 c 分别为 200, 500, 850 hPa 高度场(m)和流场, 阴影为等风速线(m/s), 粗实线为槽线; d. 地面气压和锋面, 表示北京位置)

Fig. 4 Synoptic situation at 14:00 LST 10 July 2004 geopotential heights (solid line; units: m) and wind vectors at 200 hPa (a. the shaded areas are for horizontal wind speed greater than 20 m/s), 500 hPa and 850 hPa, (b and c; the thick solid line represents trough lines), respectively, and the surface pressure (d. the thick line delineates the position of cold front; and denotes the location of Beijing)

定在 25°N 附近, 高纬度地区为两槽一脊型。北京位于东侧的长波槽后的天气尺度脊附近, 有冷平流, 对系统性的下沉运动有利。另外, 从图 4c 850 hPa 上看, 北京的西侧和北侧同时存在两个低压槽, 北京正好位于这两个低压系统一侧的辐散区(图上虚线所示), 这一点在相应的散度场及垂直速度场上有很好的反映, 北京低层上空有正散度和天气尺度的下沉运动(图略)。在(30°N, 112°E)附近有一低空急流存在, 同时还伴有低压槽。该低空急流向华北地区不断输送暖湿空气, 对暴雨的发展比较有利。再看图 4d, 我们发现在华北地区地面存在一冷锋, 相应的 850 hPa 上有低压槽对应。该冷锋位于北京西北侧, 向其逼近。从随后 6 h 和 12 h(图略)的地面图可知, 该冷锋很快经过北京地区, 并消散。可以看

出, 地面冷锋的存在对北京地区的这次强降水过程有一定的影响。

从大环流看, 西南方向过来的水汽对暴雨的发生是有利的, 地面存在的冷锋也有利于发生降水。但是北京上空的天气尺度系统垂直运动对这次北京局地暴雨是存在抑制作用的, 至少没有明显的帮助, 因此可能还存在其他的影响因子。

4 城市热岛与对流降水

许多研究表明, 局地性的强降水, 特别是发生在午后的城区降水往往与城市热岛有一定的关系。这里我们从城市热岛效应来分析这次对流降水过程。城市热岛强度可以通过城区气象站的温度减去郊区气象站的温度得到。图 5a 给出了城区自动气象站

(工人体育馆)的温度减去郊区自动气象站(延庆)的温度后得到的城市热岛强度的演变曲线及相应的城区气象站每小时实况降水量演变图。从图上可以看到,城市热岛强度在 12—14 时强度比较大,为 4 左右。从 15 时开始迅速降低,并在 18 时左右出现了凉岛现象。相应城区站点的降水在 15 时左右开始发生,且在随后的 4 h 内,每小时降水量普遍在 10 mm 以上。到 22 时城区降水基本结束。从整个图上我们发现,城市热岛强度与降水量成反相关关系。这说明降水发生前北京城市存在的热岛效应对此次降水可能有一定的影响。

图 5b, c, d 给出的是 7 月 10 日 14 时自动气象站的实测温度、气压、风速及相应的散度场。其中风速是位于 10 m 高度的值,散度场是通过风速计算所得。从北京地区实况的近地面温度(图 5b)看,在 7 月 10 日 14 时,城区 (39.9°N, 116.4°E) 有一个

29.5 左右的高温中心,且整个城区的温度比周边地区普遍高 2—3,存在热岛现象。城市热岛效应往往会使得在城区出现相对低的气压,从而使得郊区的空气向城区辐合。从当时的地面气压图(图 5c)上看,在该热岛中心确实存在一个中尺度低压中心。许多研究表明,中尺度雨团常常与中尺度低压相配合。从前面的降水量图分析发现,这次降水主要集中在该中尺度低压中心附近,且雨团的中心稍落后于低压中心。相应的图 5d 是经过尺度分离后得到的近地面中尺度流场及散度场,从图上可以看出,在 (39.9°N, 116.3°E) 附近有一个很明显的中尺度辐合中心,且散度值为负,周围的气流向辐合中心汇合。与之相应的降水量(图 1),从 15 时开始,该处便出现明显的降水,且强度最大超过每小时 20 mm。可见,正是由该辐合气流的存在才导致了城区强降水的发生。因为中尺度对流系统的发生除需要合适

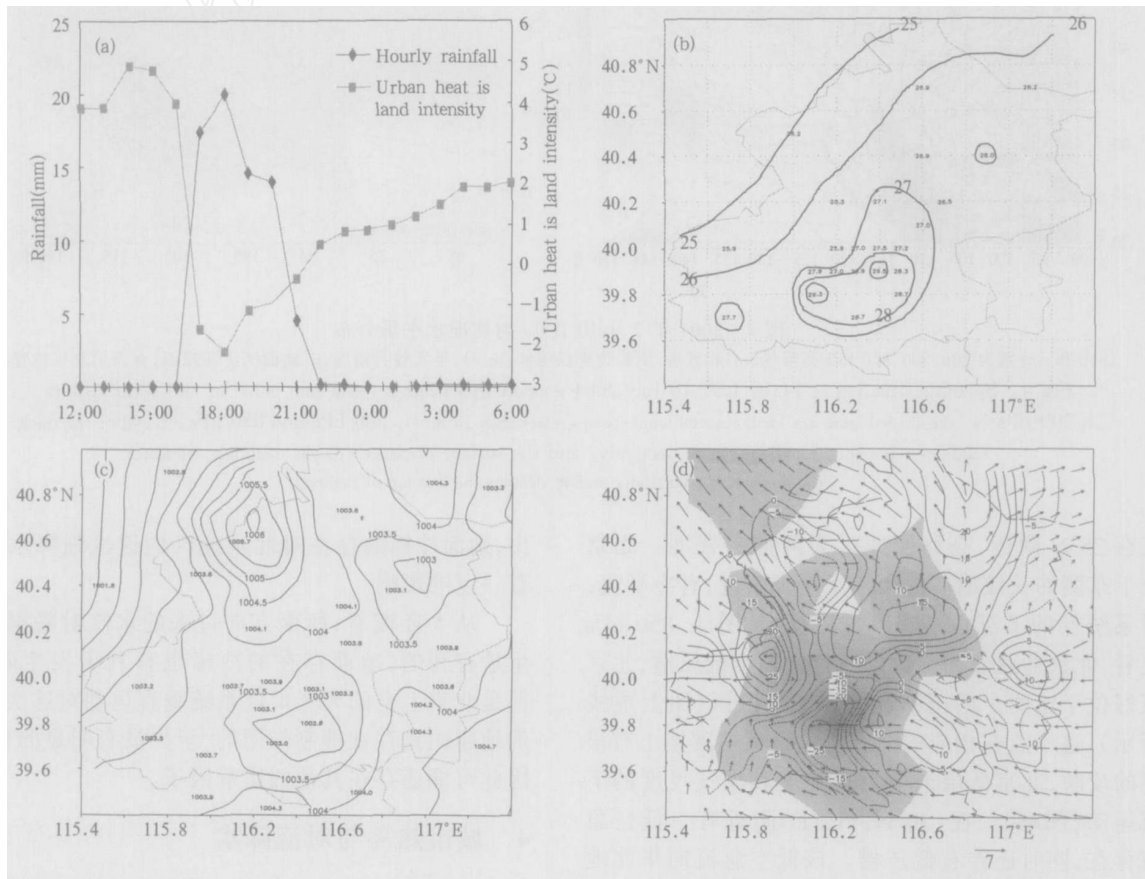


图 5 城市热岛强度与每小时降水量 (a) 和 7 月 10 日 14 时自动气象站的实测温度、气压、风速及相应的散度场 (b. 气温分布 (), c. 气压场 (hPa), d. 散度场 (10 s), 流场, 阴影为降水区)

Fig. 5 Hourly evolution of urban heat island intensity () and rainfall (mm) on 10 July, 2004 (a), and automatic weather station(AWS)-observed surface temperature (b;), pressure (c; hPa), and divergence (d; 10 s; shading: precipitation area; vector: surface wind) patterns at 14:00 LST

的大环境条件,还需要中尺度的触发条件,而城市热岛导致的中尺度低压及中尺度辐合流场的出现成为这次暴雨过程发展很重要的触发因子。

由此可见,当时的大尺度环境场给这次暴雨的形成提供了水汽条件,而近地面城市热岛现象的出现,使得近地面增温,空气抬升,从而导致局地性的对流性降水。城市热岛的出现触发了对流性降水的发生,并且使得降水出现在城区。为了更进一步分析城市热岛效应对这次强降水的可能影响,下面我们通过数值模拟来研究。

5 模式简介及模拟方法

从前面的分析看,这次降水过程主要集中在城区,且降水发生前城市热岛现象的出现对该次过程具有很重要的影响。为了进一步了解城市热岛效应对这次降水的可能影响,我们主要通过数值模式来研究。WRF(Weather Research and Forecasting)模式是由美国多个科研部门和大学联盟共同参与开发的新一代中尺度天气预报模式,主要用于业务预报和科学研究。WRF模式是一个完全可压非静力模式,包括一个资料同化系统。模式采用Arakawa C网格,实行多模式框架结构,包括地形追随高度(高度)坐标方案和地形追随静力气压(质量)坐标方案,适合尺度从几百米到几千千米的研究。本文使用的WRF模式及其相应的同化系统是2.0.3版的,具有嵌套功能。本次试验做了两重双向嵌套网格,以(40°N, 116°E)为中心。其中粗网格格距为12 km,格点数为144 × 144;细网格的格距是4 km,格点数为145 × 145。垂直方向采用35层地

形追随静力气压(质量)坐标,为1.000, 0.993, 0.983, 0.970, 0.954, 0.934, 0.909, 0.880, 0.845, 0.807, 0.765, 0.719, 0.672, 0.622, 0.571, 0.520, 0.468, 0.420, 0.376, 0.335, 0.298, 0.263, 0.231, 0.202, 0.175, 0.150, 0.127, 0.106, 0.088, 0.070, 0.055, 0.040, 0.026, 0.013, 0.000, 顶层气压为50 hPa。在选择对流参数化方案时,粗网格采用了KF(Kain-Fritsch)方案,细网格没有使用对流参数化方案。微物理过程都使用了简单冰相过程。行星边界层物理过程使用YSU方案。另外陆面过程使用了热量扩散方案。长波辐射方案为RRTM方案。模式采用了6 h一次的分辨率为1的AVN资料作为初估场。模式的积分时间为2004年7月10日08时—11日08时,积分24 h,其中7月10日14—20时,这一时段内集中了北京地区的一次强降水过程。

由于WRF模式中使用的陆面资料是美国地质调查局(USGS)1993年根据NOAA卫星遥感资料处理得到的。随着全球城市化进程的飞速发展,该资料已经不能更贴切地反映目前的城市覆盖情况,尤其是北京城区相比前几年范围已经明显扩大。因此,需要对WRF模式里使用的1 km分辨率的USGS陆面资料进行修正。我们所使用的卫星资料是2002年5月的美国陆地卫星七号(LANDSAT-7)的增强型主题成像传感器(ETM+)数据,通过使用高斯最大似然分类法对地表进行分类,再通过最优选择的办法把该分类资料再回插到1 km的网格点上。最后用该资料去修正USGS分类数据中北京地区的地表分类资料。图6给出了修正前和修正后的北京城区的范围图,很明显,现在的北京城区范围

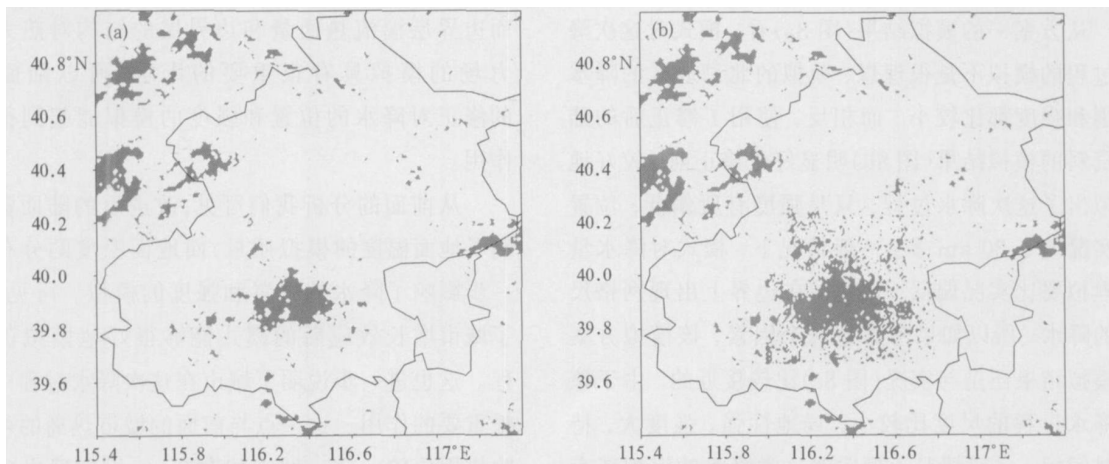


图6 北京城区范围(a. 使用了1993年的USGS陆面资料得到的北京城区范围, b. 使用了2002年的LANDSAT修正后的陆面资料得到的北京城区范围)

Fig. 6 Beijing urban range defined by the 1 km USGS landuse map in 1993 (a. and the 30 m LANDSAT-7 landuse map in 2002, b. Black color denotes the urban area)

已经远远大于 WRF 中 USGS 所反映的城区范围,修正过的资料更能体现现在北京城区的范围。因此,我们设计了两种方案对该次降水过程进行模拟:方案一,使用 1993 年的 USGS 的陆面资料;方案二,使用 2002 年的 LANDSAT-7 修正过的陆面资料。

6 模拟结果分析

6.1 温度场的比较分析

由于城市下垫面的热力作用比较明显,且热力作用对降水有很关键的作用,特别是地面加热导致的局地上升运动。因此我们对模拟的温度场与实况进行比较。图 7a 为使用了 1993 年的 USGS 陆面资

料得到的模拟结果,可以看出,模拟的城区最高温度为 29,与实况(图 5b)相比,最高温度偏低 0.5。另外从模拟的位置看,29 的高温范围相对较大,中心比实况偏南。图 7b 为使用了 2002 年的 LANDSAT 修正后的陆面资料模拟的结果,图上模拟的城区的最高温度为 29.5,与实况(图 5b)的位置也比较接近。

从这两个模拟结果看,采用了修正后的陆面资料的模拟结果好于采用前,与实况更接近,体现了城市热岛的效应。这说明模拟的结果也揭示了在降水发生前,城区存在有一定的热岛现象,这也进一步验证了城市热岛对该次强降水的可能影响。

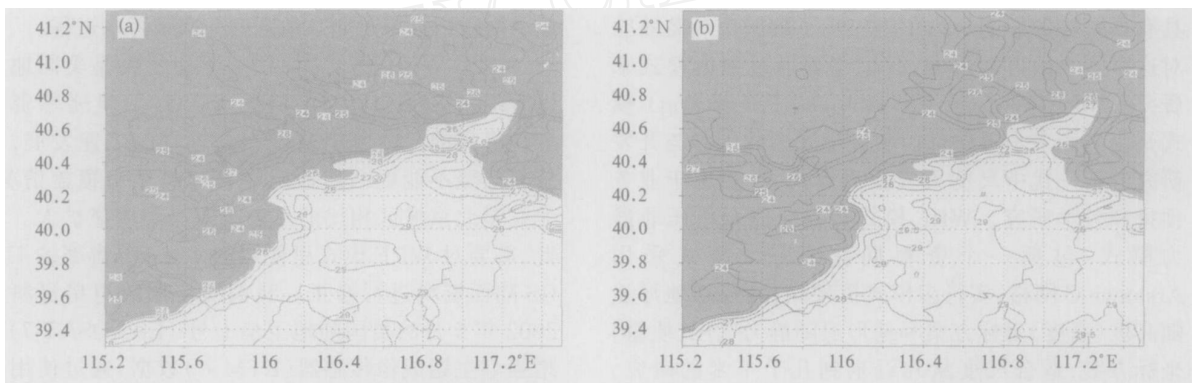


图 7 实况与模拟的 7 月 10 日 14 时的地面温度场()

(a. 使用了 USGS 的陆面资料;b. 使用了 LANDSAT 修正后的陆面资料)

Fig. 7 Surface air temperatures () at 14:00 LST 10 July, 2004 simulated by using the 1993 USGS landuse data (a) and the 2002 LANDSAT landuse data (b)

6.2 降水量的比较分析

从方案一的模拟结果(图 8a)看,模式对这次降水过程的模拟不是很理想,模拟的北京地区的降水范围和强度都比较小。而相反,使用了修正后的陆面资料的模拟结果(图 8b)明显好于修正前,较好地模拟出了这次降水过程,只是强度有所偏低,位置与实况差了 30 km 多。一般情况下,模式对降水量的模拟要比实况偏低,且容易在边界上出现网格尺度的降水。所以如果考虑这两个因素,该模拟方案的模拟结果还是与实况(图 8c)比较接近的。由于该次降水过程的尺度比较小,局地性强,强度大,持续时间短,一般情况下模式对这类降水的模拟还存在差距。但是,我们可以发现,使用了改进的陆面资料后,模拟结果相对比较好。由于陆面资料对边

界层湍流热通量和边界层的结构有很重要的影响,而边界层湍流热通量和边界层的结构对热力和动力场的模拟具有很重要的影响,所以陆面资料的修正对降水的位置和强度的模拟能起到很大的作用。

从前面的分析我们可见,改进后的陆面资料提高了地面温度的模拟质量,而地面温度的分布又进一步影响了降水的位置和强度的模拟。可见,考虑了城市增长效应后的模式能够很好地模拟该次过程。这也进一步说明了城市在这次降水过程中起了很重要的作用。这一点与前面的城市热岛的可能影响作用比较一致。城市的存在,使得城区出现热岛现象,而城市热岛的存在又加强了对流天气的发生,使得城区容易出现局地短时的强降水过程。

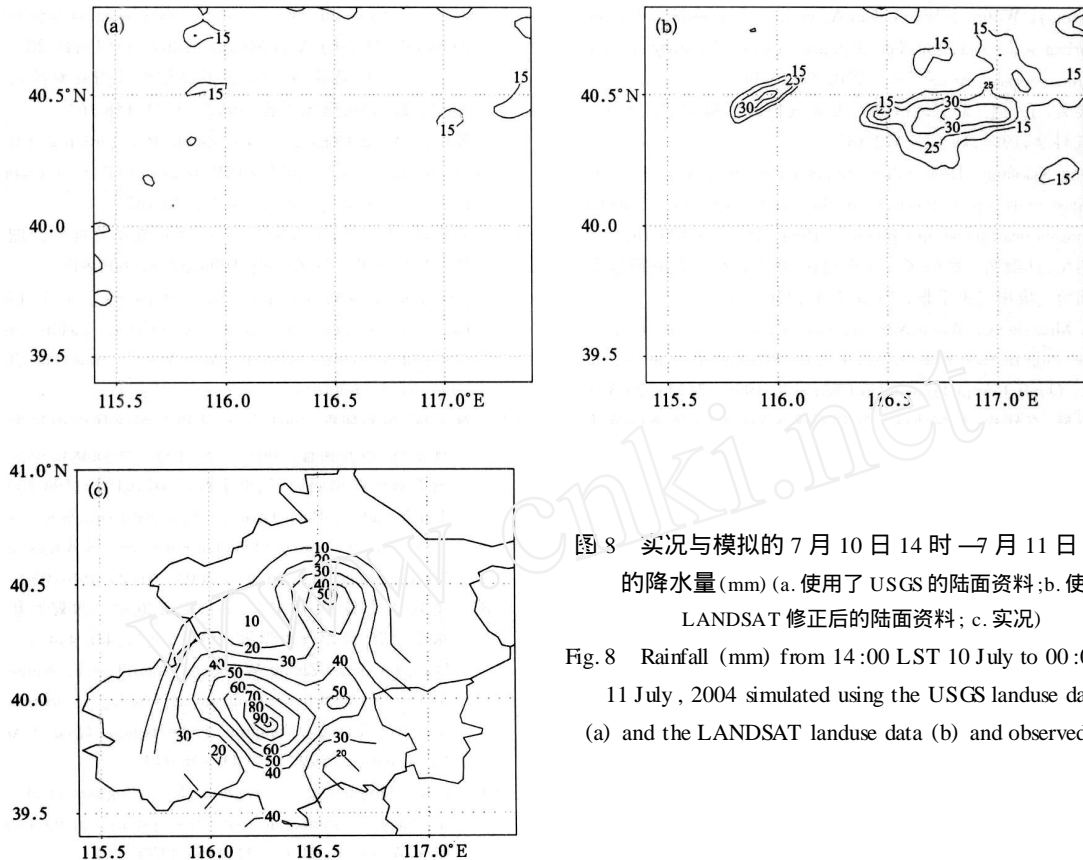


图 8 实况与模拟的 7 月 10 日 14 时—7 月 11 日 00 时的降水量 (mm) (a. 使用了 USGS 的陆面资料; b. 使用了 LANDSAT 修正后的陆面资料; c. 实况)

Fig. 8 Rainfall (mm) from 14:00 LST 10 July to 00:00 LST 11 July, 2004 simulated using the USGS landuse data (a) and the LANDSAT landuse data (b) and observed (c)

7 结论和讨论

通过前面的分析和数值模拟我们可以得到如下结论:

(1) 从 TBB 及整个降水演变过程看,北京 7 月 10 日的降水过程是一个中尺度降水过程。但对流云团外形不规则,云体边缘不光滑,没有密集的高亮温梯度。

(2) 从对地面温度场和流场的特征分析发现,这次降水过程与城市热岛存在一定的关系,城区暖中心的存在使得城区出现相对低的气压,从而使得郊区相对冷的空气向城区辐合并上升,有利于产生局地的强降水。同时大环境所提供的暖湿空气又保证了暴雨发生所需要的水汽条件。

(3) 另外通过分析使用了不同的陆面资料的数值模拟结果发现,北京地区使用最新的陆面资料后能够大大提高模拟结果。这主要是由于更为准确的陆面信息能够提高边界层结构和湍流通量的模拟,从而提高热力场和降水过程的模拟。陆面资料的影响也反映了城市对这次强降水的发生具有很重要的作用。

参考文献

- [1] Changnon S A, Huff F A, Schickedanz P T, et al. Weather anomalies and impacts. In: Summary of METROMEX Vol. I III. State Water Survey, 1977, Bull. 62, Champaign, 260pp
- [2] Changnon S A. Urban effects on severe local storms at St. Louis. *J Appl Meteorol*, 1978, 17:578-586
- [3] Huff F A. Urban hydrological review. *Bull Amer Meteor Soc*, 1986, 67: 703-712
- [4] Huff F A, Changnon S A. Precipitation modification of major urban areas. *Bull Amer Meteor Soc*, 1973, 54:1220-1232
- [5] Bornstein R, LeRoy M. Urban barrier effects on convective and frontal thunderstorms. Preprint volume, Fourth AMS Conference on Mesoscale Processes, 1990, Boulder, CO, 25-29 June
- [6] Bornstein R, Lin Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: daytime case study. Proceedings of the Sixth International ASAAQ '98 Conference, 1999, Beijing, China, 11pp
- [7] Robert Bornstein, Lin Qinglu. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. *Atmos Environ*, 2000, 34:507-516
- [8] Shepherd J M, Pierce H, Negri A J. Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. *J Appl Meteor*, 2002, 41:689-701

- [9] Thielen J, Wobrock W, Gadian A, et al. The possible influence of urban surfaces on rainfall development: a sensitivity study in 2D in the meso- α scale. *Atmos Res*, 2000, 54:15-39
- [10] 王笑芳, 丁一汇. 北京地区强对流天气短时预报方法的研究. *大气科学*, 1994, 18 (2):173-183
Wang Xiaofang, Ding Yihui. Study on method of short-range forecast of severe convective weather in Beijing area. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, 18 (2): 173-183
- [11] 孙明生, 汪细明, 罗阳等. 北京地区强对流天气展望预报方法研究. *应用气象学报*, 1996, 7(3):336-343
Sun Mingsheng, Wang Ximing, Luo Yang, et al. A prospect forecasting method study of severe convective weather in Beijing area. *Quart J Appl Meteor* (in Chinese), 1996, 7(3):336-343
- [12] 李志楠, 李廷福. 北京地区一次强对流大暴雨的环境条件及动力触发机制分析. *应用气象学报*, 2000, 11:304-311
Li Zhinan, Li Tingfu. Analysis on the environment conditions and dynamic trigger mechanism of a severe convective rainstorm in Beijing. *Quart J Appl Meteor* (in Chinese), 2000, 11:304-311
- [13] 李耀东, 刘健文, 高守亭. 动力和能量参数在强对流天气预报中的应用研究. *气象学报*, 2004, 62(4):401-409
Li Yaodong, Liu Jianwen, Gao Shouting. On the progress of application for dynamic and energetic convective parameters associated with severe convective weather forecasting. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2004, 62(4):401-409
- [14] 李耀东, 高守亭, 刘健文. 对流能量计算及强对流天气落区预报技术研究. *应用气象学报*, 2004, 15(1):10-20
Li Yaodong, Gao Shouting, Liu Jianwen. A calculation of convective energy and the method of severe weather forecasting (in Chinese). *Quart J Appl Meteor*, 2004, 15(1):10-20
- [15] 白洁, 王洪庆, 陶祖钰. GMS 卫星红外云图强对流云团的识别与追踪. *热带气象学报*, 1997, 13(2):158-167
Bai Jie, Wang Hongqing, Tao Zuyu. Recognition and tracing of severe convective cloud from IR images of GMS. *J Tropical Meteor* (in Chinese), 1997, 13(2):158-167
- [16] 石定朴, 朱文琴, 王洪庆等. 中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度的分析. *气象学报*, 1996, 54(5):600-611
Shi Dingpu, Zhu Wenqin, Wang Hongqing, et al. Cloud top blackbody temperature analysis of infrared satellite image for mesoscale convective system. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 1996, 54(5):600-611
- [17] 林永辉, 布和朝鲁. 2001 年 8 月初上海强暴雨中尺度对流系统的数值模拟研究. *气象学报*, 2003, 61(2):196-203
Lin Yonghui, Bueh Chaolu. Numerical simulation of mesoscale convective systems of Shanghai rainstorms in August 2001. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 2003, 61(2):196-203
- [18] 董佩明, 张维桓, 沈桐立. 下垫面强迫对京津冀大暴雨作用的数值研究. *应用气象学报*, 1999, 10(4):436-444
Dong Peiming, Zhang Weihuan, Shen Tongli. Numerical study on the effects of underlying surface forcing on torrential rain process over Beijing - Tianjing - Hebei region. *Quart J Appl Meteor* (in Chinese), 1999, 10(4):436-444
- [19] Zhang Qinghong, Lau Kaihon, Kuo Yinghwa, et al. A numerical study of a mesoscale convective system over the taiwan strait. *Mon Wea Rev*, 2003, 131:1150-1170

NUMERICAL SIMULATION ON IMPACTS OF URBANIZATION ON HEAVY RAIN IN BEIJING USING DIFFERENT LAND USE DATA

Jiang Xiaoyan Liu Weidong

Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

Abstract

A summer strong convective precipitation event on 10 July, 2004 over Beijing is numerically simulated in this paper, and the impact of UHI on summer convective rain studied. The analysis reveals that a mesoscale convective cloud cluster system brought about the heavy rain, suggesting the supply of moisture by the large scale circulation. Before the initiation of precipitation, a generally weaker UHI of 2 - 3 existed in the urban area. Much like a sea breeze, the anomalously warm urban air created relatively low pressure, inducing the inflow of cooler rural air towards the urban center, which is favorable to the ascending motion and the formation of convective precipitation over the urban area. In addition, the numerical simulation of the strong convective precipitation event suggests that the simulated result of precipitation using the 2002 LANDSAT-7 landuse data of 30 m resolution is much better than that using the 1993 USGS landuse data of 1 km, whether in rainfall or in the precipitation location. And therefore the simulation confirmed to some extent that the UHI played an important role in the strong precipitation event.

Key words: Urban heat island, Heavy precipitation, Numerical simulation, Land use data.