

# “7.21”北京特大暴雨个例分析 II: 动力条件分析

谭伟才, 文映方, 李启华 (解放军理工大学气象海洋学院, 江苏南京 211101)

**摘要** 利用 FNL 资料、卫星 TBB 资料以及北京站点探空资料, 对 2012 年北京“7.21”特大暴雨过程的垂直运动条件、不稳定条件和 TBB 图像特征进行了诊断分析。结果表明, 7 月 21 日北京地区整个对流层盛行上升运动, 上升运动经历了一个由弱到强的过程, 18:00 ~ 21:00 垂直速度强度最强, 最大达  $-3 \text{ Pa/s}$ , 该阶段对应的北京降水强度最强; 大暴雨发生前, CAPE 值、地面抬升指数等多个对流环境参数均达到暴雨指标, 对暴雨预报有较好的指示意义; 利用 TBB 资料分析中尺度系统表明, 此次暴雨过程中中尺度对流系统起始是镶嵌在低槽云团中发展起来的, TBB 演变趋势与降水有很好的对应关系, 对此次暴雨预报有良好的指示作用。

**关键词** 暴雨; 垂直运动; 不稳定条件; 云顶亮温

中图分类号 S165 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)17-202-03

## Analysis of a Torrential Rain Occurring in Beijing on 21 July 2012 II: Dynamics Analysis

TAN Wei-cai, WEN Ying-fang, LI Qi-hua (College of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 211101)

**Abstract** FNL (Final the Operational Global Analysis) data, TBB (Black Body Temperature) data, and sounding data in Beijing station were used to analyze the vertical movement condition, unstable condition and TBB image feature of a torrential rain occurring in Beijing on 21 July 2012. The results showed that upward movement prevailed in the whole troposphere. The vertical velocity increased on July 21 in Beijing area. The vertical velocity was the strongest from 18:00 to 21:00 when the precipitation intensity was the greatest. The biggest vertical velocity was  $-3 \text{ Pa/s}$ . Before torrential rain occurred, many convective environment parameters including CAPE value and surface uplift index all reached the index of torrential rain, and had relatively good indicative significance for heavy rain forecast. TBB data were used to analyze the mesoscale system, indicating that the developing mesoscale convective system was set in the cloud of trough in the beginning. TBB evolutionary trend had very good corresponding relationship with precipitation, so TBB was the good indicator of the rainstorm.

**Key words** Rainstorm; Vertical movement; Unstable condition; TBB

我国是一个受暴雨影响严重的国家, 大范围持续性的暴雨过程往往给国民经济和人民群众的生命财产安全带来重大损失<sup>[1]</sup>。因此, 加强对暴雨过程的预报和相应的防灾减灾工作变得尤为重要。较强的降水是在特定的天气背景下产生的, 一般具备一定的水汽、能量、动力等条件, 在局地强暴雨过程中各物理条件会更强<sup>[2-3]</sup>。朱义青等<sup>[2]</sup>分析表明大气层结的不稳定是强降水发生的前提, 地面辐合、东风波与中高层西北气流的相互作用触发了不稳定能量的释放, 副高边缘的西南气流提供了水汽供应。笔者利用美国环境预报中心的  $1.0^\circ \times 1.0^\circ$  FNL 资料、FY-2E 卫星 TBB 资料、北京站点探空资料, 分析了“7.21”北京特大暴雨过程的垂直运动条件、不稳定条件和 TBB 图像特征, 找出特大暴雨发生发展的成因, 以期为今后北京乃至华北地区暴雨的预报提供有益参考。

### 1 垂直运动条件分析

从 2012 年 7 月 21 ~ 22 日 700 hPa 垂直速度  $\omega$  的水平分布(图 1)可以看出, 21 日 08:00, 北京市区的西南部存在强上升运动中心, 最大值达  $-0.8 \text{ Pa/s}$  以上, 且上升运动中心外围存在值为  $-0.2 \text{ Pa/s}$  的等风速线向东伸至北京市内。14:00, 西南部的强上升运动中心进一步发展且东移, 中心数值达  $-1.8 \text{ Pa/s}$  以上, 但中心仍未到达北京。20:00, 上升运动中心强度明显加强, 辐射范围几乎涵盖整个华北地区, 中心最大数值达  $-4.0 \text{ Pa/s}$  以上, 强上升运动中心从原来的 1

个分裂为 2 个, 较强的上升运动中心刚移出北京, 位于北京的东北部, 而较弱的强上升运动中心已进入北京, 其值达  $-2.5 \text{ Pa/s}$  以上, 此刻北京降水强度达最大。到 22 日 02:00, 强上升运动中心已经全部东移出北京, 且显著减弱, 北京地区上升运动不明显, 降水减弱。

从 21 日 20:00 垂直速度沿  $116^\circ \text{E}$  的纬度-高度剖面(图 2a)可以看出,  $38^\circ \sim 40^\circ \text{N}$  垂直速度均为负值, 即盛行上升运动, 且上升运动垂直伸展达 200 hPa 以上; 垂直速度大值区主要集中在  $39^\circ 00' \sim 41^\circ 30' \text{N}$ , 即集中在北京市内 ( $39^\circ 28' \sim 41^\circ 05' \text{N}$ ), 而北京的北侧和南侧均较小; 此刻北京南部垂直速度明显大于北部, 说明此刻北京南部降水大于北部降水。

由北京站 ( $40^\circ \text{N}$ 、 $116^\circ \text{E}$ ) 垂直速度随时间变化(图 2b)可见, 垂直运动经历了一个由弱到强再减弱的过程。如果以  $\omega$  的量级大于  $-10^0 \text{ Pa/s}$  为界限<sup>[4]</sup>划分时间段, 则在 21 日 10:00 ~ 22 日 03:00  $\omega > -10^0 \text{ Pa/s}$ , 且 21 日 18:00 ~ 21:00  $\omega$  强度最强, 中心达  $-3 \text{ Pa/s}$  以上, 与此次暴雨过程降水强度大值区时段相匹配。从高度变化可以看到, 此次大暴雨过程中的垂直上升运动非常强烈; 在 100 hPa 以下, 整个对流层均盛行上升运动, 为大暴雨的产生提供了极有利的条件。

### 2 不稳定条件分析

从表 1 可以看出, 暴雨发生前(7 月 20 日 20:00 ~ 21 日 08:00)CAPE 值均超过北京暴雨标准<sup>[5]</sup>, 暴雨期间 CAPE 值为 0, 对暴雨的预报有较好的指示意义。21 日 08:00, 虽然 K 指数较小, 但地面抬升指数(LI)达  $-1.31 \text{ }^\circ \text{C}$ , 超过暴雨指标<sup>[5]</sup>; 850 hPa 比湿和假相当位温也均超过北京暴雨指标, 特别是比湿远超过北京暴雨预报指标, 说明低层湿度条件非常

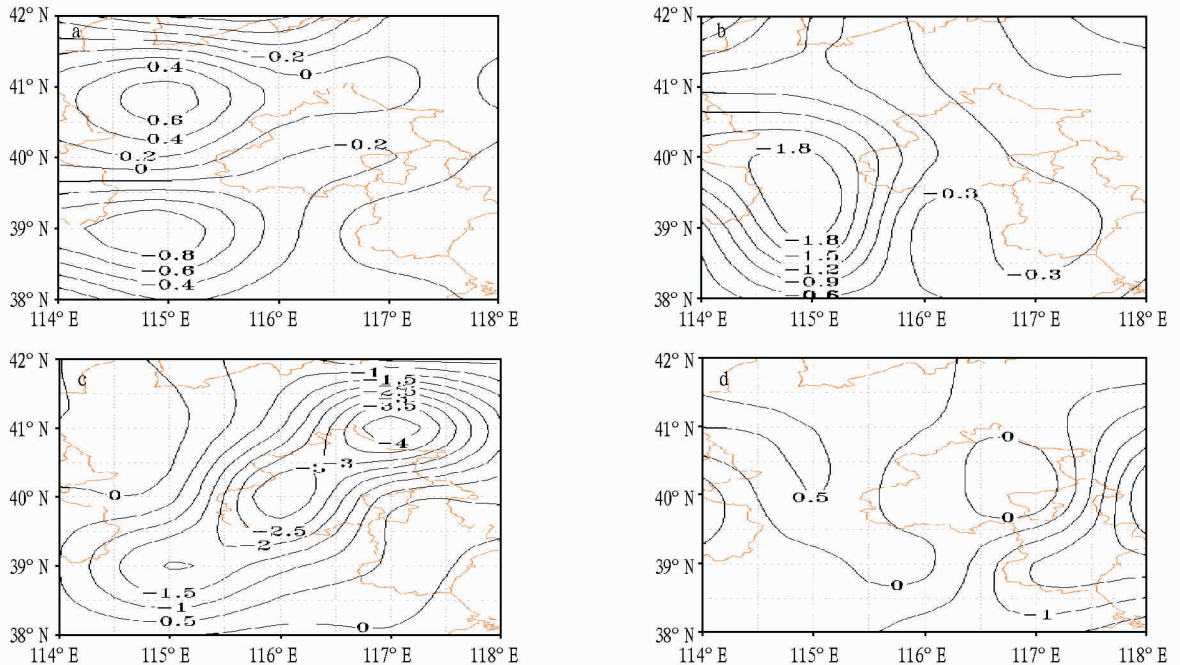
基金项目 国家自然科学基金项目(41175054)。

作者简介 谭伟才(1991-), 男, 湖南娄底人, 硕士研究生, 研究方向: 中尺度气象学。

收稿日期 2016-04-30

大。21日 20:00,  $K$  指数达  $27^{\circ}\text{C}$ , 接近  $K$  指数暴雨标准,  $CAPE$  值为 0, 表示在暴雨过程中对流能量释放非常大;  $LI$  达  $6.86^{\circ}\text{C}$ , 说明大气已经比较稳定; 但比湿仍达  $11\text{ g/kg}$  以上, 此时仍有较好的水汽条件; 假相当位温也降至  $65^{\circ}\text{C}$  左右, 不稳定条件较 08:00 有较大的减弱。到了 22 日 08:00, 各个物理量指数均明显小于暴雨指标<sup>[5]</sup>, 表明暴雨将结束。

综上所述, 21 日 08:00 ~ 20:00 6 项暴雨指标中超过 4 项达到暴雨标准, 而其他 2 项也接近表中列出的暴雨指标, 说明“7.21”北京大暴雨过程具有非常好的不稳定、水汽条件和动力抬升条件, 且维持时间达 12 h 以上。20:00 以后, 暴雨开始减弱, 到了 22 日 08:00 以后, 已经基本上不具有产生暴雨的条件。



注: a. 21 日 08:00; b. 21 日 14:00; c. 21 日 20:00; d. 22 日 02:00。

Note: a. 08:00 on July 21; b. 14:00 on July 21; c. 20:00 on July 21; d. 02:00 on July 22.

图 1 2012 年 7 月 21 ~ 22 日 700 hPa 垂直速度分布(单位: Pa/s)

Fig. 1 Distribution of vertical velocity at 700 hPa from July 21 to July 22, 2012

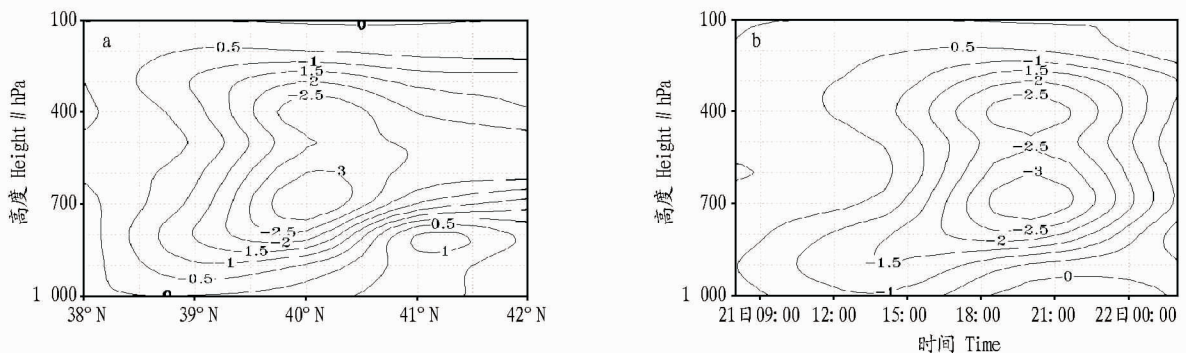


图 2 2012 年 7 月 21 日 20:00 沿  $116^{\circ}\text{E}$  垂直速度纬度 - 高度剖面(a)和 7 月 21 日 08:00 ~ 22 日 02:00 北京站 ( $40^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}\text{E}$ ) 垂直速度时间 - 高度剖面(b) (单位: Pa/s)

Fig. 2 The latitude-height diagram of vertical velocity along  $116^{\circ}\text{E}$  at 20:00 on July 21, 2012 (a) and the time-height diagram of vertical velocity in Beijing Station ( $40^{\circ}\text{N}$ ,  $116^{\circ}\text{E}$ ) from 08:00 on July 21 to 02:00 on July 22, 2012 (b)

### 3 TBB 图像特征分析

从图 3 可以看出, 21 日 08:00, 华北地区存在大片面积的低槽云团(即  $232\text{ K}$  等值线形成的区域)<sup>[6]</sup>, 但此时中尺度对流云团仍处于冒泡阶段, 尚未组织化, 中尺度对流系统镶嵌在低槽云系中发展; 北京上空云顶亮温较四周低, 最强中心亮温达  $208\text{ K}$ , 已经达到形成暴雨的标准<sup>[7]</sup>。到 14:00, 存在

4 个成熟的呈西南 - 东北向带状排列的中尺度对流云团向东北方向缓慢移动; 之前位于华北地区的低槽云团范围缩小, 并形成 2 个对流云团, 一个位于河北省内, 一个位于河南省内; 北京处于前一个对流云团的控制下, 该对流云团中心最低亮温也是北京最低亮温, 达  $204\text{ K}$ , 较 08:00 显著增强, 对应北京降水增强, 形成暴雨。20:00, 之前位于河南省的对

流系统向东北方向移动,与之前位于河北省的对流云团合并成一个较强的中尺度对流系统,因此,前一时刻影响北京地区的对流云团不但没有减弱东移,反而稳定维持并增强,使这一时间段内发生强降水持续维持;位于北京上空的对流云团中心最低亮温达 198 K,达到过程最强,对应此时刻北京市区降水达到最强;同时,由于强降雨区总是位于云团前进的方

向<sup>[7]</sup>,因此,在此次降水过程中北京的西南部山前和东南部降水最强。到 22 日 02:00,影响北京地区的对流云团中心最低亮温回升至 204 K,且最低亮温中心较前一时刻向东移动,北京西部最低亮温已经回升至 260 K,未达到形成暴雨的一般标准;对应此时刻北京西部降水开始明显减少,东部降水维持但减弱,降水特点变为以锋面降水为主,第 2 阶段降水开始。

表 1 2012 年 7 月 20 日 20:00 ~ 22 日 08:00 北京探空站计算出的物理量

Table 1 The physical quantities calculated by Beijing sounding data from 20:00 July 20 to 08:00 July 22, 2012

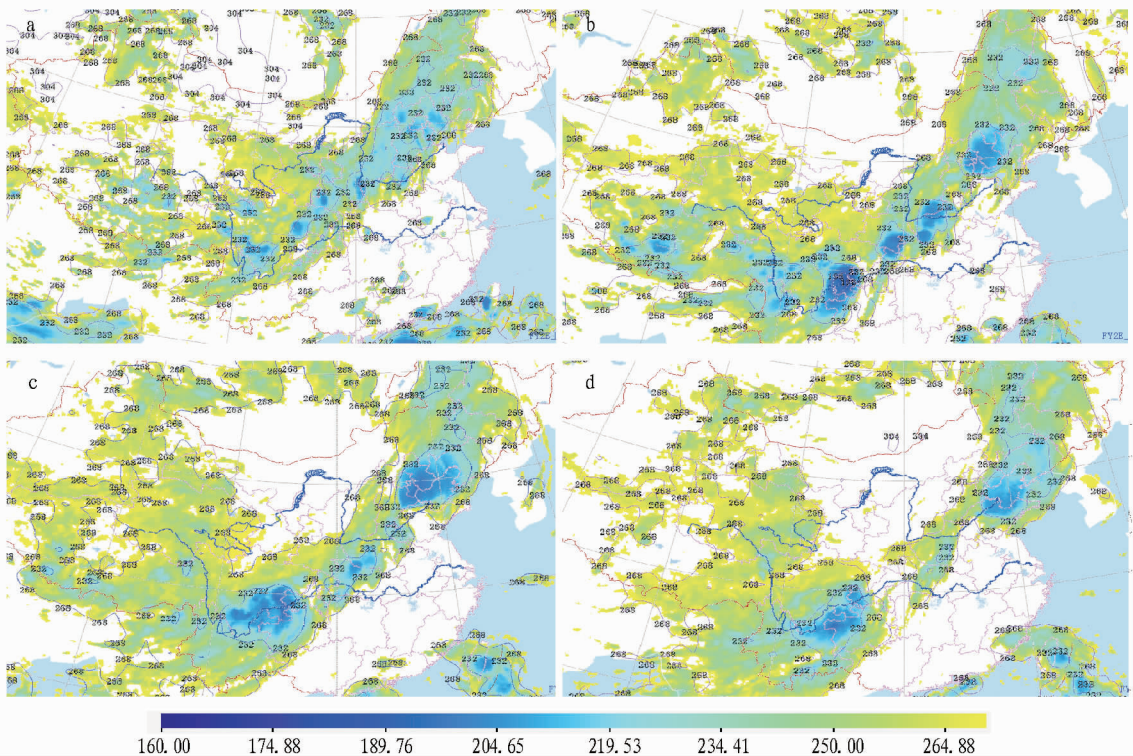
时间 Time	K 指数 K index//°C	CAPE J/kg	LI °C	$q_{850}$ g/kg	$\theta_{e,850}$ °C	$\Delta\theta_{e,}$ °C
20 日 20:00	24	2 107.0	6.55	8.45	59.29	1.31
21 日 08:00	11	1 124.9	-1.31	14.31	74.06	5.08
21 日 20:00	27	0	6.86	11.04	65.67	-14.13
22 日 08:00	20	0	2.45	8.45	58.13	1.33
暴雨标准 <sup>[5]</sup> Rainstorm standard	32.00	1 000.00	-1.00	12.00	74.00	8.00

注:CAPE 为对流有效位能,LI 为地面抬升指数, $q_{850}$  为 850 hPa 比湿, $\theta_{e,850}$  为 850 hPa 假相当位温, $\Delta\theta_{e,}$  为 850 hPa 与 500 hPa 的  $\theta_{e,}$  之差。

Note:CAPE was convective available potential energy,LI was ground lifting index, $q_{850}$  was specific humidity at 850 hPa, $\theta_{e,850}$  was pseudo-equivalent potential temperature at 850 hPa, $\Delta\theta_{e,}$  was difference of  $\theta_{e,}$  between 850 and 500 hPa.

综上所述,通过分析 TBB 资料可以明显观测到此次中小尺度对流系统的发生发展过程,对暴雨预报有良好的指示作用<sup>[8]</sup>。同时此次暴雨过程中 TBB 演变趋势与降水有很好的对应关系,当 TBB 中心最低亮温值逐渐减少时,降水量增大、降水强度增强,且减小过程越快,降水量越大;当 TBB 中心最

低值逐渐回升时,降水量减小、降水强度减弱。此次暴雨过程,北京地区最低亮温由 21 日 08:00 的 208 K 到 20:00 达最低(198 K),再到 22 日 02:00 回升至 260 K,整个过程时间不到 18 h,变化非常迅速,因此,此次暴雨过程非常强烈。但降水演变趋势较 TBB 演变趋势有一定滞后性。



注:a. 21 日 08:00;b. 21 日 14:00;c. 21 日 20:00;d. 22 日 02:00。

Note: a. 08:00 on July 21; b. 14:00 on July 21; c. 20:00 on July 21; d. 02:00 on July 22.

图 3 2012 年 7 月 21 ~ 22 日 FY-2E 卫星云图 TBB 演变(单位:K)

Fig. 3 The TBB evolution of FY-2E satellite cloud image from July 21 to July 22, 2012

#### 4 结论

由弱到强再减弱的过程,在 21 日 18:00 ~ 21:00 垂直速度达

(1) 此次特大暴雨过程中北京地区垂直速度经历了一个

(下转第 216 页)



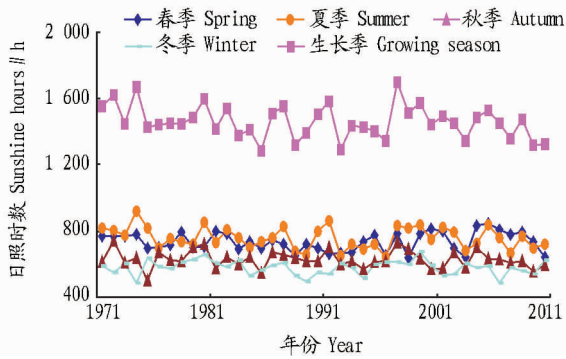


图7 1971~2010年榆林市各季平均日照时数变化

Fig.7 The change of seasonal average sunshine hours in Yulin City during 1971-2010

(10.9℃)。20世纪70~80年代增温比90年代、21世纪以来缓慢。冬季气温波动最大且增幅最大(0.54℃/10a),春季次之(0.39℃/10a),生长季平均气温呈波动增加趋势,增温率为0.29℃/10a。

(2)近40a榆林市年降水量较年平均气温波动幅度较小,降水量分布呈南多北少、东多西少。冬季降水量最少,稳定少动;春季降水趋于增加;夏季降水不稳定,年际变化大;秋季降水量缓慢增加。20世纪80、90年代降水量波动较为平缓,1991~2000年降水明显偏少,2000年以后增加。降水主要集中在农作物生长季节,且夏季具有雨热同季的特点。

(3)近40a榆林市日照时数夏季最多、冬季最少。西北部地区雨少,日照较多;东南部地区雨多,日照随之减少。生长季年平均日照时数占年总量的62.8%,可以满足植物生长的光照要求。

(4)1971~2010年气温总体上升,年降水量波动变化,而对于日照时数却呈减少趋势,水热匹配较差,部分年代气候条件不利于农作物生长及成熟。生长季气温趋于升高,降水多中有少、少中有多,日照时数总体上能满足作物需求。

(上接第204页)

最强,其值达 $-3\text{ Pa/s}$ ,对应此时北京降水强度达最大。从其在北京地区的垂直高度剖面分布可知,量值 $\geq -10^0\text{ Pa/s}$ 的等值线垂直伸展至200 hPa附近,整个对流层均盛行上升运动,为大暴雨的产生提供了极有利的条件。

(2)利用北京探空站探空资料计算得到的物理量指数表明,大暴雨发生前,CAPE值、地面抬升指数等多个物理量指数均达到暴雨指标,对暴雨预报有较好的指示意义。

(3)利用FY-2E卫星探测并计算得到的相当黑体辐射亮温(TBB)资料分析中尺度系统表明,此次暴雨过程中中尺度对流系统起始是镶嵌在低槽云团中发展起来的,TBB演变趋势与降水有很好的对应关系,对此次暴雨预报有良好的指示作用。此次暴雨过程发展十分强烈,云顶亮温最低达

## 4 讨论

近年来,在气候变暖的大背景下,榆林市境内类似2012年7月27日佳县大暴雨(日降水量216.4 mm)、2013年8月4日榆阳风雹暴雨天气、2015年7月18日子洲大暴雨(100 min降雨量114 mm)等极端天气事件发生频繁。加之榆林地理位置特殊,地形复杂,又处于半干旱区域,农业生产的不确定因素增多增强。气候变化及极端天气的发生,对一年一季的农作物生长、种植面积、产量和品质影响较大。近40a榆林气温升高,积温增加,热量资源更加丰富,有利于喜温作物玉米、马铃薯种植区的扩大和产量增加。但由于冬季增温明显,气温偏高、降水稀少,使越冬病虫卵死亡率降低,易造成病虫害大面积发生。同时,冬季变暖、降水稀少的气象条件易使冬季冻土层厚度变薄,干土层增厚,造成植被根系层的土壤水分和养分流失<sup>[4]</sup>。面对气候变化对农业的有利条件和严峻的挑战,应该积极应对,加强农业水利基础设施建设,完善灌溉体系,提高抗旱排涝的能力。大力发展喷灌、滴灌等节水农业种植技术,发展以塑料大棚、温室为主的设施农业,减少干旱带来的不利影响。完善现代农业气象监测体系,积极开展人工影响天气作业,加强暴雨、强对流、干旱、连阴雨等对农业生产影响较大的气象灾害的预警与服务,最大限度减少气象灾害对农业的不利影响。同时,要合理开发利用农业气候资源,主动适应气候变化对农业生产的影响。

## 参考文献

- [1] 周曙东,周文魁,朱红根,等.气候变化对农业的影响及应对措施[J].南京农业大学学报(社会科学版),2010,10(1):34-39.
- [2] 周义,覃志豪,包刚.气候变化对农业的影响及应对[J].中国农学通报,2011,27(32):299-303.
- [3] 李琰,刘晓琼,赵昕奕.陕西省榆林市气候变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2011(1):157-161.
- [4] 王银花,石光普,王将,等.靖远县近60年来农业气候资源变化特征[J].中国农学通报,2014,30(2):302-308.

198 K,给北京及其周边地区带来强烈的降水。

## 参考文献

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2011:321-323.
- [2] 朱义青,高安春,李炳文,等.一次罕见的局地大暴雨动力条件诊断分析[J].安徽农业科学,2011,39(27):16815-16818.
- [3] 任丽,杨艳敏,金磊,等.一次东北冷涡暴雨数值模拟及动力诊断分析[J].气象与环境学报,2014(4):19-25.
- [4] 章淹.暴雨预报[M].北京:科学出版社,1990:424,55-63.
- [5] 何群英,孙一昕,刘一玮,等.“7.25”天津持续性局地大暴雨初步分析[J].暴雨灾害,2012,31(3):226-231.
- [6] 傅珊,岳艳霞,李国翠.TBB资料的处理及应用[J].气象,2006,32(2):40-45.
- [7] 张书余.云图增强处理在人工增雨作业中的应用[M]//瓣景炎,段英,游来光.云降水物理和人工增雨技术研究.北京:气象出版社,1994:202-205.
- [8] 王青平.一次沿天山暴雨过程的Tbb特征分析[J].青海气象,2012(4):11-17.