

北京及周边地区 5~8 月红外云图亮温的统计学特征及其天气学意义

郑永光 陈炯* 陈明轩 王迎春 丁青兰

(国家气象中心, 北京 100081; 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089;
北京市气象台, 北京 100089. * 联系人, E-mail: cjiong@cma.gov.cn)

摘要 为了给北京地区的对流天气临近预报提供必要气候背景, 利用 1997~2004 年 5~8 月高分辨率的地球静止卫星逐时红外亮温资料对北京及周边地区的对流活动情况进行了统计分析, 并同使用常规地面观测资料统计的雷暴日数分布以及已有文献中基于闪电资料的分析结果进行了对比, 结果表明-52 红外亮温的统计特征可以较好地展现该地区夏季对流活动时、空分布的基本气候特征, 特别是 5, 6 月份和 7, 8 月份亮温统计特征的显著差异表明, 影响北京及其周边地区的盛行对流系统有两大类: 一类是春末夏初发生在中纬度大陆变性极地气团中的对流, 它具有典型的热对流特征, 主要发生在午后到傍晚西部和北部的山区, 常伴随雷雨大风和冰雹天气; 另一类是盛夏季节发生在低纬度暖湿气团中的湿对流, 主要发生在华北平原和渤海周边地区, 并具有夜发性, 常伴随暴雨天气. 上述研究结果也显示出, 长时间的静止卫星逐时红外云图资料可以在一定程度上弥补地面观测资料和雷达资料在时、空覆盖率和完整性方面在对流天气气候学研究中的缺陷.

关键词 深对流 红外云图亮温 统计

春末夏初以及盛夏季节都是强对流天气多发季节. 强对流天气如冰雹、暴雨、雷击等经常造成人员伤亡以及财产损失, 因此是临近天气预报的主要内容. 由于北京地区的强对流天气临近预报及其系统建设需要了解该地区对流天气的时空分布等气候特征, 因此非常有必要使用长时间序列资料对该地区的对流天气情况进行统计分析.

利用常规气象观测资料对对流天气进行气候分析, 一直是对流天气气候研究的主要方法. 例如, 刘全根和汤懋苍^[1]1966 年利用 1951~1962 年全国 811 气象测站的资料对中国降雹与雷暴的气候特征进行了分析; 张家诚和林之光^[2]使用 1951~1970 年的常规气象观测资料给出了雷暴、冰雹等天气的气候分布特征. 由于闪电与对流天气有非常密切的关系, 20 世纪 90 年代以来, 陶祖钰和赵昕奕^[3]、郑栋等人^[4]利用闪电定位仪获取的 2a 或者 3a 的闪电资料对京津冀地区的闪电气候特征进行了分析; 马明等人^[5]根据 8 年低轨卫星观测的闪电资料分析了中国及周边地区的闪电密度的气候分布.

文献[1~4]等对北京及周边地区夏季对流天气与闪电的气候分析都得到了相似的时空分布特征, 然而由于受到观测资料时间长度以及时空分辨率的限制, 这些工作没有对该地区夏季对流天气的月际变化以及不同地理特征下垫面区域的日变化特征进行对比分析. 使用常规资料进行对流天气气候分析由于受到气象测站空间分布以及日观测次数的影响, 对较大地理区域的分布可以得到较好结果, 但很难获得较高时空分辨率的分析结果; 对于使用闪电资料进行对流天气分布研究是一个很好的选择, 前述相应文献[3~5]中也得到了很好的研究成果, 但是闪电资料并不能完全反映强对流天气的分布情况, 因为在强对流天气中并非总是有雷击与闪电, 并且在对流系统不同的位置与发展阶段闪电的分布都有不同^[3]; 雷达资料具有较高的时空分辨率, 并且具有监测强对流天气的能力, 因此使用雷达资料进行对流天气气候分析具有很大的必要性, 但在目前受制于新一代天气雷达建设时间尚短并无较长期的历史资料积累, 所以目前使用雷达资料进行强对流天气气

2007-03-15 收稿, 2007-05-23 接受

国家重点基础研究发展计划(编号: 2004CB418300)、国家自然科学基金(批准号: 40305004)、科技部奥运科技专项(编号: 2005BA904B05)和北京市科委科技奥运专项(编号: Z0006279040191)共同资助

候分析的条件尚还不具备.

地球静止卫星红外传感器基本可以每小时对地球观测一次,其星下点的分辨率可以达到 5 km,因此静止卫星红外云图资料具有较高的时间与空间分辨率,所以在天气分析中得到了广泛的应用.此外,数字红外云图资料还可以反演相当黑体亮度温度(简称 TBB),虽然低 TBB 区有时仅反映高云的特征,不一定与强对流和强降水区相对应,但 TBB 的数值大小通常可以定量地反映大气中对流活动的强弱,因此本文利用近 10a 数字红外云图资料反演的 TBB 来统计北京及周边地区 5~8 月对流天气活动的气候特征来弥补其他资料统计的不足,并使用该地区近 10 a 的地面观测资料统计的雷暴日分布与 TBB 的统计结果进行了对比,以进一步充实对该区域强对流天气气候规律的认识,为北京的临近天气预报工作提供基础.

1 资料与方法

本文所用数字红外云图资料由北京大学物理学院大气科学系接收自日本 GMS-5(Geostationary Meteorological Satellite 5, 第 5 代地球静止卫星)与美国 GOES-9(Geostationary Operational Environmental Satellite 9, 第 9 代地球静止业务环境卫星)地球静止卫星.该资料的时间分辨率基本为 1 h (部分时次 0.5 h 或者 2 h 一次),水平分辨率 $9.6\text{ km} \times 9.6\text{ km}$. GMS-5 资料起止时间为 1997 年 5 月~2003 年 5 月, GOES-9 资料则为 2003 年 5 月~2004 年 8 月.由于本文的研究目的是获得北京及周边地区夏季对流活动的气候分布特征,所以只使用了 1997~2004 年 5~8 月的数字红外云图资料.此外,接收资料时由于停电等原因,部分时次的资料缺失,本文具体使用的资料时次数为 5 月 5147 时次,6 月 5357 时次,7 月 5631 时次,8 月 5373 时次,5~8 月总共 21508 时次.本文所称的北京及周边地区包括北京市、天津市大部分地区以及河北省北部等地区,具体范围参见图 1.

1980 年 Maddox^[6]提出使用 -32 与 -52 TBB 标识的区域范围及形状等来识别 MCC(中尺度对流复合体), Augustine 和 Howard^[7], Jirak 等人^[8]又提出只使用 -52 TBB 来识别 MCS(中尺度对流系统).因此,现在一般都以 -32 与 -52 TBB 作为阈值来识别夏季大气中的对流活动.需要指出的是,在初夏季节 -32

的 TBB 可能会出现中纬度地区的锋面云系中,因此 -32 TBB 包括了大气中比较弱的对流活动;

由于盛夏季节部分对流的最低 TBB 可能达不到 -52 , 所以 -52 TBB 只标识出大气中的深对流而遗漏掉较弱的对流.

本文具体的统计方法为,首先把数字红外云图由灰度数值反演为 TBB,然后对北京及周边区域各个网格点 TBB 小于等于 -32 与 -52 出现的时次分别进行计数,并剔除无效观测时次,最后除以每一网格点所有资料的总时次得到百分比,从而获得北京及周边地区整个区域 5~8 月对流活动日变化和地理分布特征.

对北京及周边地区 5~8 月 TBB 小于等于 -32 与 -52 分别进行统计的结果表明,该地区 TBB 小于等于 -32 的频率比 -52 大约大一个数量级,两者的时空分布虽然存在某些差异但基本特征非常相象,限于篇幅本文只给出 TBB 小于等于 -52 深对流活动的时空分布特征.此外,由于 TBB 小于等于 -52 代表的是大气中深对流活动,因此在后文文字中将直接以“深对流活动”来指代“TBB 小于等于 -52 ”.

另外,本文还使用 1994~2005 年 5~9 月共 1836 d 北京地区 20 个地面气象站的观测资料统计了北京地区雷暴日的地理分布情况,作为与 TBB 统计结果的对比.文中的时间如果标识 UTC 则为世界时,标注 BST 为北京标准时间. UTC 与 BST 相差 8 h, 00UTC 为 08BST.

2 深对流活动空间分布

图 1(a)给出了北京及周边地区 5~8 月深对流活动地理分布特征,作为对比图 1(b)给出了根据北京地区地面气象站观测资料统计的雷暴日数分布,两者在北京地区具有类似的地理分布特征.图 1(a)表明对流活动主要集中在 3 个区域.第 1 个区域深对流活动最活跃,位于该区域的东北山区,在北京密云县以北;第 2 个深对流活跃区域位于东南侧,属于渤海湾周边区域;第 3 个区域是北京西南侧的太行山麓,深对流活动相对前两个区域较弱.深对流不太活跃的区域主要位于北京的西侧及南侧,最不活跃的区域是北京西侧的官厅水库上游盆地,该地区位于山脉的西南风的背风侧.总之,在北京及周边地区,深对流活动山区多,平原和盆地较少.这种深对流活动的分布特征也与文献[1,2]给出的雷暴气候以及文献[3,4]给出的闪电气候基本一致.

图 2 给出了北京及周边地区 5~8 月各个月的深对流活动地理分布情况.5 月(图 2(a))深对流活动总体的

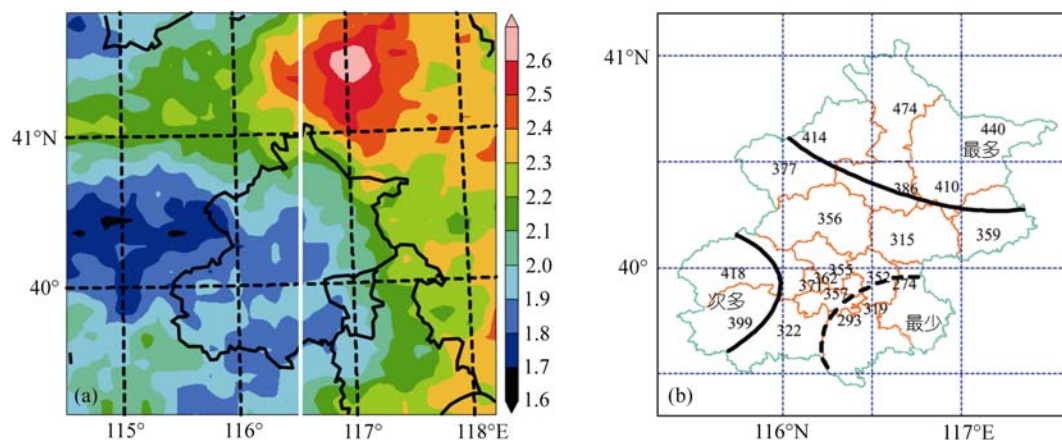


图1 5~8月深对流活动频率(单位%)(a)与5~9月雷暴日数(b)的空间分布

(a)中白色实线为后文中时间-纬度剖面图所在地理位置

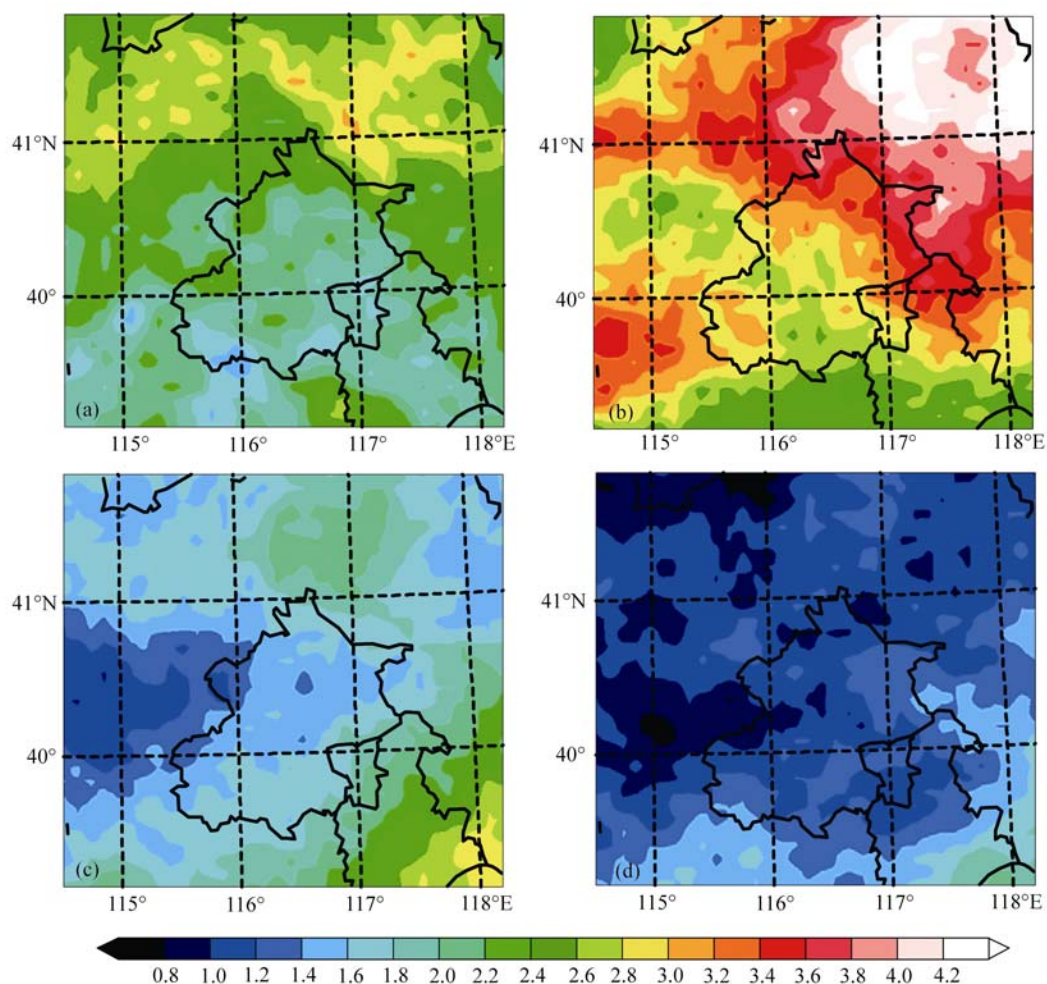


图2 5~8月各月深对流活动频率(单位: %)

(a) 5月; (b) 6月; (c) 7月; (d) 8月

空间分布比较均匀,山区和高原差别不很显著;特别在北京行政区域内的分布更为均匀;深对流的活跃区域位于北部山区与东南侧。

6 月份(见图 2(b))该区域大气中深对流活动急剧增加,是 5~8 月中深对流最多的月份;特别是山区和高原地区对比显著;北部、东部和西南部山区最多,与文献[1,2]给出的冰雹和雷暴分布一致。

图 2(c)与(d)显示 7 月和 8 月深对流频率急剧减小,两者地理分布特征比较类似,深对流活动主要分布在东南部渤海周边地区。其中 8 月深对流频率是 4 个月中最小的,尤其北京西侧官厅水库上游盆地是整个区域中最少的。

总之北京及周边地区 5、6 月属于冰雹季节(特别是 6 月)^{[9,10]1)},冷暖空气比较活跃¹⁾,大气斜压性强,

深对流频率高,地理分布特点为山区多,平原和盆地少;7、8 月特别是 7 月下旬到 8 月上旬属于暴雨季节^{[10]1)},这时该地区受变性极地大陆气团和热带季风气团的交替影响¹⁾,深对流频率低,地理分布特点为东南渤海周边和华北平原多。

3 深对流活动日变化特征

由于地球静止卫星红外云图具有 1 h 一次的高时间分辨率,因此可以根据这些资料对北京及周边地区 5~8 月的深对流活动的日变化特征进行分析。

3.1 区域日变化特征

限于篇幅,本文只选择其中 4 个具有代表性的时段来说明北京及周边地区整个区域深对流活动的日变化特征,如图 3 所示。

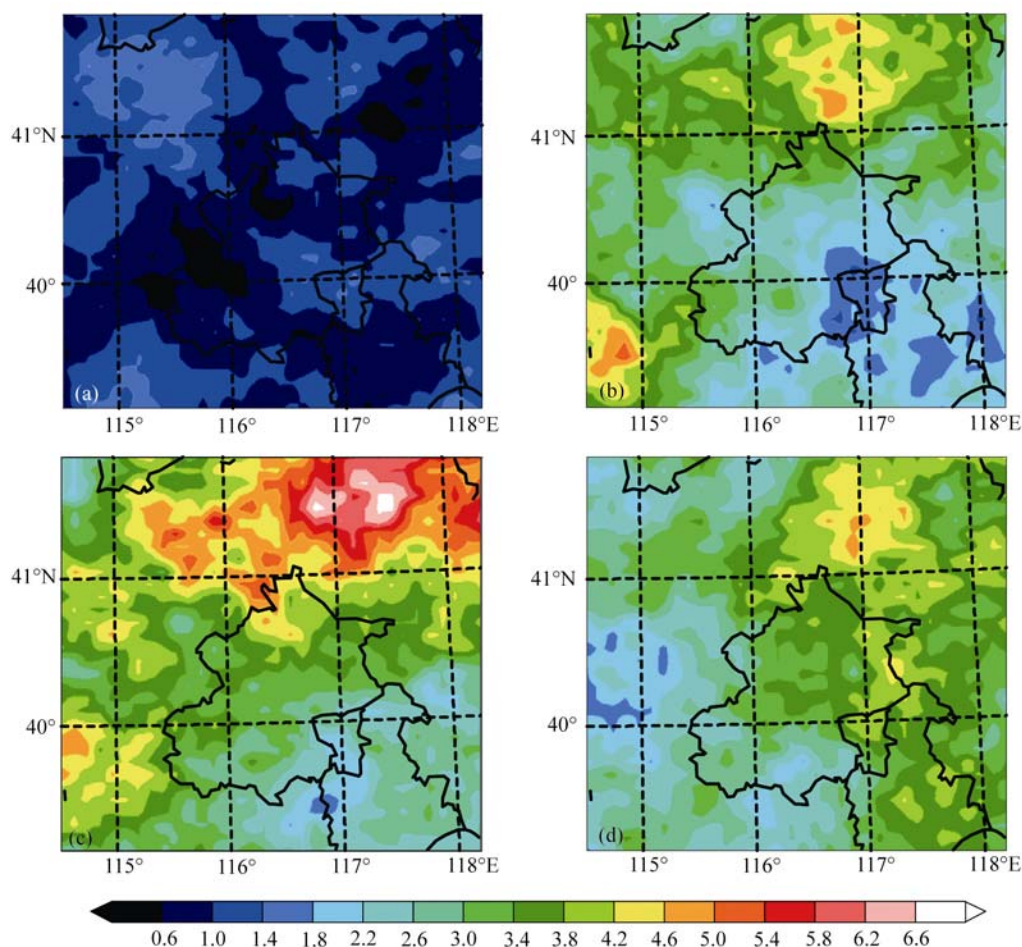


图 3 5~8 月深对流活动频率的日变化分布特征(单位: %)

(a) 08BST; (b) 14 BST; (c) 16 BST; (d) 19 BST

1) 郑永光, 张春喜, 陈炯, 等. 用 NCEP 资料分析华北暖季对流性天气的气候背景. 北京大学学报(自然科学版), 已接受

上午 07~11 BST(其中图 3(a)为上午 08 BST)深对流活动的地理分布表明上午时段深对流频率是全天最小的,这与已有文献的对流日变化(如闪电的日变化特点^[3],图 4(b)特征完全一致。

根据文献[1,2],对流活动的气候背景是地方时下午 14 时为大多数热力对流的初始时刻。从图 3(b)表明 14 BST 北部和西南部山区深对流频率开始明显增加。下午 16~18 BST(见图 3(c))是深对流频率最高的时段,也是大多数热力对流最强的时刻;从 16~17 BST 表现为略有向东南移动的特点;17~18 BST 有自北向南移动的趋势。从 19 BST 开始(见图 3(d)),深对流频率开始显著降低,与日落后对流减弱的日变化^[3,4]一致;从下午到夜间,高频率区有向东移动的趋势;夜间深对流频率分布具有东南大、西北小的特征,显示夜间对流活动沿海和平原地区比山区强。

总结北京及周边地区的日变化特征如下:

() 深对流频率从午后 14 BST 开始在北部和西南部山区迅速增大,下午到傍晚 16 BST~18 BST 达到最大,从 19 BST 开始显著减小,上午 07, 08 BST 达到最小,与根据闪电等获得对流日变化^[3,4]的规律完全一致;

() 深对流高频率区午后从山区开始出现后,有向东南方向移动的趋势,大致反映对流的移动方向。

() 午后北部和西南部山区是深对流的高频区,夜间东南渤海周边地区和南部华北平原是深对流的高频区,午后和夜间的分布完全不同,一方面显示山区和平原的对流具有不同的日变化,另一方面还显示北京及周边地区存在两种不同类型的对流。具体的日变化特征在 3.2 节中给出。

3.2 沿经线 116.5°E 的日变化特征

5~8 月深对流活动的时间-纬度变化如图 4(a),作为对比图 4(b)给出了北京及周边地区的闪电日变化特征^[4]。选择 116.5°E 经线作时间-纬度变化是因为该经线正好南北向穿过北京市的中心城区(见图 1(a)中白色粗实线),同时在该经线上北部为山区,南部为平原,可以展现不同性质下垫面对流系统日变化的异同,这也可以弥补文献[3,4]研究的不足。图 4(a)表明在经度 116.5°E 上有两种类型的日变化特征:一是单峰型,北部山区午后 14~19 BST 深对流频率最大,午夜后 03 BST 最小,是典型的与太阳短波辐射加热

相关联的热对流,这种对流活动具有强度大、生命史较短、水平尺度较小的特点;二是双峰型,南部平原地区午后 16~20 BST 深对流的峰值较小,但午夜前后 00~03 BST 存在一个次峰,与该地区闪电的日变化特征^[4](见图 4(b))以及 MCC 日变化^[11]相似,反映此类对流生命史较长,水平尺度也较大,日落后曾一度减弱,午夜时又再度发展,它或许可称为湿对流。

各月沿经线 116.5°E 深对流日变化特征如图 5 所示。图 5 表明沿经线 116.5°E 各月的日变化并不完全相同;其中 5, 6 月冰雹多^[9,10],第一类日变化突出,山区平原差别不大;7, 8 月暴雨多^{[9,10]1)},第 2 类日变化突出,山区平原特征差别明显。

从深对流活动的初始发展时刻来看,5 月份北部山区从上午 08 BST 开始就有较多深对流发展,平原地区在 10 BST 左右开始发展;6 月份山区平原差别不大,大约在下午 13 BST 开始发展;7 月份虽然深对流活动较少,但发展时刻大约为下午 14 BST。

从深对流活动最活跃时刻来看,5 月份北部山区大约在下午 13 BST,平原在 14, 15 BST;6 月份最活跃时刻大约在 18 BST;7 月份北部山区大约在下午 17 BST,平原在 20 BST;8 月份北部山区大约在下午 17 BST,但平原地区却显示有 3 个峰值,分别为 17, 03, 06 BST。

4 结论与讨论

本文根据近 10a 的地球静止卫星红外 TBB 资料获得的深对流活动地理分布、季节变化和日变化均与地面观测的对流天气以及闪电等的气候统计特征相似。由于地球静止卫星红外 TBB 资料不仅具有很好的时、空分辨率,而且有很好的时、空完整性,因此 TBB 的统计结果更能客观、全面地代表对流天气的气候特征,从而可以弥补使用地面观测资料与闪电观测资料分析结果的不足。

本文的统计结果表明影响北京及周边地区的对流系统有两大类:一类是具有热对流性质对流,生命史较短、空间尺度较小,但强度大,常伴随冰雹和强风;主要发生于 5, 6 月份午后的山区,傍晚达到最强,日落后减弱。另一类对流主要发生在平原和沿海地区,生命史较长,入夜后继续维持,午夜前后再度加强,常伴随大范围暴雨天气,在 7, 8 月份的对流中所占的比例较大。结合对北京及周边地区环流背景气候分析¹⁾可知,第 1 类对流产生在变性大陆极地气团

1) 同 1703 页脚注 1)

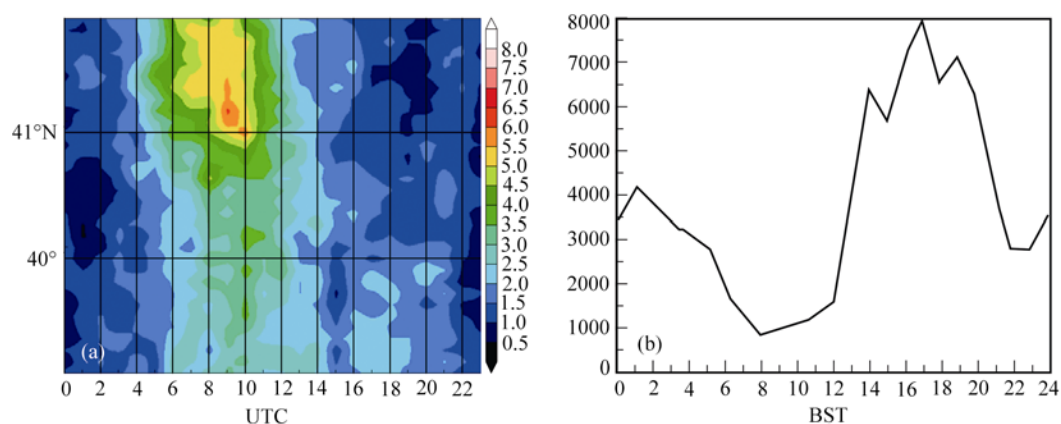


图 4 5~8 月总体深对流活动频率沿 116.5°E 经线的时间-纬度剖面图(a)与总地闪随时间分布(b)^[4]
(a) 横轴为时间, UTC, 纵轴左侧为纬度; (b) 横轴为时间, 北京时, 纵轴为 1995~1997 年的 6~9 月(共 304 d)总地闪次数。
具体剖面位置参见图 1(a)中白色实线

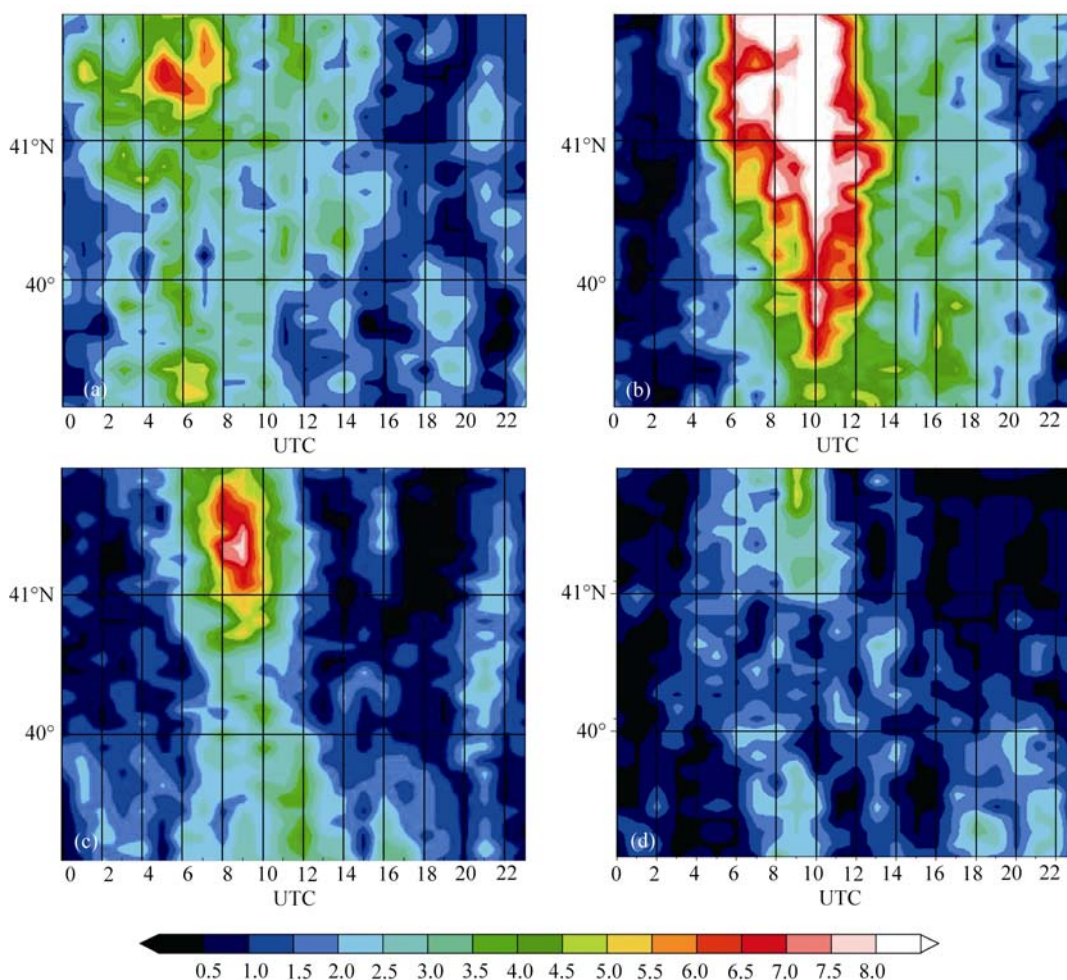


图 5

说明同图 4(a), 但为 5~8 月各月深对流活动沿 116.5°E 经向的时间-纬度剖面图

中,因此或可称为中纬度大陆性对流,或干对流;第2类对流产生在热带季风气团中,故或可称为海洋性对流,或湿对流.

今后,我们还将使用类似的方法对全国区域的对流活动地理分布与日变化特征进行气候特征的分析研究.

致谢 北京大学大气科学系毛节泰教授与王美华副教授提供了卫星云图资料,李成才博士对读取云图资料给予了帮助,评审专家提出了宝贵修改意见,特此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 刘全根, 汤懋苍. 中国降雹的气候特征. 地理学报, 1966, 32(1): 48—65
- 2 张家诚, 林之光. 中国气候. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 411—436
- 3 陶祖钰, 赵昕奕. 京津冀地区闪电的气候分析. 气象学报, 1993, 51(3): 325—332
- 4 郑栋, 孟青, 吕伟涛, 等. 北京及其周边地区夏季地闪活动时空特征分析. 应用气象学报, 2005, 16(5): 638—644
- 5 马明, 陶善昌, 祝宝友, 等. 卫星观测的中国及周边地区闪电密度的气候分布. 中国科学D辑: 地球科学, 2004, 34(4): 298—306
- 6 Maddox R A. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Soc, 1980, 61(7): 1374—1387
- 7 Augustine J A, Howard K W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987. Mon Weather Rev, 1991, 119(7): 1575—1589[DOI]
- 8 Jirak I L, Cotton W R, Mcanelly R L. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development. Mon Weather Rev, 2003, 131(10): 2428—2449[DOI]
- 9 段英, 赵亚民. 冰雹. 北京: 气象出版社, 1999. 5—18
- 10 北京市气象局气候资料室. 北京气候志. 北京: 北京出版社, 1987. 58—68, 78—79, 93—101
- 11 Ma Y, Wang X, Tao Z Y. Geographic distribution and life cycle of mesoscale convective system in China and its vicinity. Prog Nat Sci, 1997, 7(6): 701—706