

“城市干岛”对北京夏季高温闷热天气的影响

王喜全, 龚晏邦

中国科学院大气物理研究所竺可桢-南森国际研究中心, 北京 100029

E-mail: wxq@mail.iap.ac.cn

2009-07-29 收稿, 2009-10-30 接受

中国科学院知识创新工程重要方向性项目(编号: KZCX2-YW-219)和国家高技术研究发展计划(编号: 2006AA06A307)资助

摘要 利用北京 1940~2000 年的气候资料, 对北京夏季高温闷热天气的年代际变化进行了初步研究. 20 世纪 40~70 年代, 北京夏季高温闷热天气日数逐年代减少; 70~90 年代, 高温闷热天气日数逐年代增多. 虽然上述年代高温闷热天气日数的变化趋势与气温的变化趋势一致, 但高温闷热天气日数在 40 年代最多, 而不是在相对最热的 90 年代(90 年代的平均气温比 40 年代高 1.0℃左右). 从形成北京地区夏季高温闷热天气的天气系统和北京地区高温闷热天气日数与副热带高压活动的相关性的分析来看, 90 年代的高温闷热天气日数应比 40 年代多, 但事实并非如此. 为了解释这一看似矛盾的现象, 分析了 80 年代以来北京地区“城市干岛”的演变趋势. 结果表明, 虽然 80 年代以来北京地区的气温也和全球其他地方一样呈现出变暖的趋势, 夏季的“城市热岛”强度也呈现增强的趋势, 进而增加了北京夏季发生高温闷热天气的可能性, 但由于城市化发展带来的“城市干岛”效应使北京城区夏季的相对湿度减小, 加上高温时人体舒适度对相对湿度的变化更敏感, 从而对冲掉了部分由于气温变暖和城市热岛增强而增加北京发生高温闷热天气的可能性.

关键词

全球变暖
高温闷热天气
西太平洋副热带高压
“城市干岛”
人体舒适度
北京

IPCC 第四次报告指出, 随着全球变暖程度的加剧, 极端天气和气候事件发生的几率将增加. 这里明确指明极端天气事件包括夏季高温闷热天气^[1]. 高温闷热天气也称为热浪, 是夏季灾害性天气之一, 对人们的工作、生活和健康都有很大影响^[2,3].

每年夏季, 北京或多或少都会有几天高温天气(最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)^[4,5]. 鉴于所处的地理位置及其气候背景, 北京地区不能算是受高温天气影响最严重的城市. 但是, 随着城市规模的扩大, 北京的“城市热岛”强度表现出逐年增强的趋势^[6]. 另外, 与二十世纪七八十年代相比, 目前北京的“城市热岛”强度在夏季最强且整天存在, 即使在“城市热岛”强度弱的午后, 其平均强度也有 2℃左右^[7]. 这势必增加北京城

区遭受夏季高温天气的可能性. 据《北京城市总体规划(2004~2020 年)》预测, 未来 10 a, 北京中心城区占地面积将从现在的约 500 km² 扩展到 1080 km²^[8]. 因此, 在全球变暖的背景下, 研究过去时代北京城区夏季高温天气的变化规律, 对预测未来北京城区夏季高温闷热天气事件的演变趋势有重要意义.

本文利用气温、相对湿度、西太平洋副热带高压活动的历史资料, 研究了北京城区夏季高温闷热天气的变化规律, 并指出了城市化对高温闷热天气的可能影响.

1 北京夏季高温闷热天气的年代际变化

气象上的高温一般是指日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$, 但

人体的热感觉还与相对湿度有关,因此,本文的高温闷热天气是以温-湿指数经验公式 $T_E = T_D - 0.55(1-H)$ ($T_D - 58$) (°F) 的计算结果为标准的,其中 T_D (°F) = $(9/5) \times T_D$ (°C) + 32 为干球温度, H 为相对湿度(%)^[9]. 北京气象台直接利用有效温度 T_E , 建立了北京地区人体舒适度指数范围和感觉程度之间的关系. 当 T_E 等于 80 或 81 时,为闷热天气;当 T_E 等于 82 或 83 时,为重闷热天气;当 $T_E \geq 84$ 时为极闷热天气. 据此,文献[10]给出了 1940~2000 年北京逐年高温闷热天气日历表. 根据文献[10]的北京高温闷热天气日历表和气温资料,图 1 给出了北京年代高温闷热天气日数、持续 3 d 以上高温闷热天气过程次数和年代气温的变化. 这里之所以给出持续 3 d 以上高温闷热天气过程次数的年代变化,是因为持续的高温闷热天气对人们的工作、生活和健康都有更大的影响,因而更值得关注^[2].

从图 1(c)可以看出,20 世纪 40~70 年代,北京地区的气温逐年代下降,70~90 年代逐年代上升,高温闷热天气日数(图 1(a))或高温闷热天气过程(图 1(b))也表现出同样的演变规律和趋势. 这与张尚印等人^[11]、谢庄等人^[12]和卫捷等人^[13]对北京地区的分析结论一致,也与赵世林等人^[14]、连志鸾等人^[15]和陈志梅等人^[16]对华北地区其他城市的分析结论基本一致. Wang 等人^[17]的研究指出,在全球变暖的背景下,中国华北地区的高温闷热天气将表现出增多的趋势;程炳岩等人^[18]的研究也指出,在全球变暖的背景下,区域极端气温出现的概率将呈增加的趋势. 但值得注意的是,虽然 20 世纪 90 年代北京地区的年代平均气温比 40 年代高 1℃左右,但高温闷热天气日数却是在 40 年代最多. 这一点从图 1(b)持续 3 d 以上的高温闷热天气过程次数的年代变化看得更加明显. 以上结果表明,在 20 世纪 70 年代以来全球变暖的背景下,北京夏季高温闷热天气日数表现出增加的趋势;但从 40 年代与 90 年代的比较来看,北京夏季高温闷热天气日数增加的程度与年代温度增加的程度并不呈线性关联.

2 北京夏季高温闷热天气与西太平洋副热带高压活动

卫捷等人^[13,19]的研究指出,夏季欧亚中高纬度环流与西太平洋副热带高压的年代变化是造成 1960~

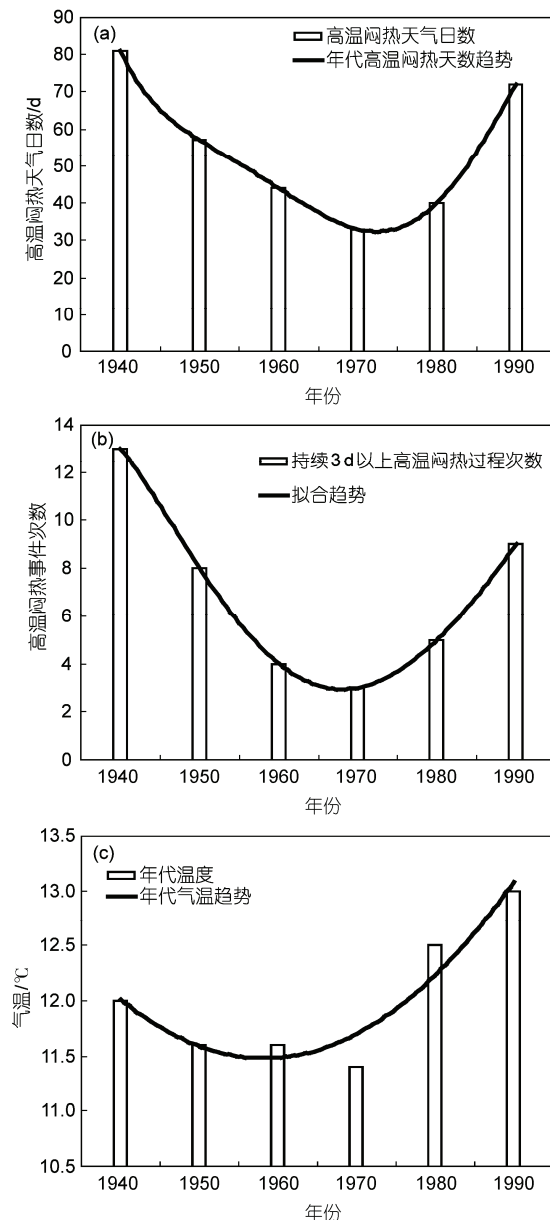


图 1 北京高温闷热天气日数、持续 3 d 以上(含 3 d)高温闷热天气过程次数和气温年代变化

(a) 1940~2000 年北京高温闷热天气日数; (b) 1940~2000 年持续 3 d 以上(含 3 d)高温闷热天气过程次数; (c) 1940~2000 年气温年代变化

2000 年间华北高温闷热天气日数年代际变化的主要原因. 20 世纪 60 年代,华北地区易受大陆高压脊的控制,气温具有白天高而夜晚低的特点,出现高温但不闷热的天气;20 世纪 90 年代,夏季亚洲中高纬度出现了类似 60 年代的环流形势,盛夏受西太平洋副热带高压影响的区域明显向北、向西扩展,使华北地区受大陆高压脊和西太平洋副热带高压的共同影响,

容易产生既高温又闷热的天气。在个例分析的基础上,卫捷等人进一步指出,高温天气一般为大陆高压控制,闷热天气一般为副热带高压控制,高温闷热天气多受大陆高压和副热带高压的共同影响。张尚印等人^[11]指出,20世纪90年代后期华北地区高温闷热天气日数显著偏多的原因是,夏季西太平洋副热带高压脊线位置偏北,副热带高压控制华北地区。陈月娟等人^[20]的研究也表明,夏季西太平洋副热带高压的强度及位置与亚洲某些区域的地面温度有明显的关系,即副热带高压越强、西伸经度越小,这些区域的地面温度越高。以上这些研究都表明,华北地区包括北京地区夏季高温闷热天气与西太平洋副热带高压的活动有着密切的关系。

由于副热带高压活动对我国天气的重大影响,特别是对夏季天气的重大影响,我国大气科学家对副热带高压进行了广泛的研究。陆日宇等人^[21]对夏季西太平洋副热带高压的东、西偏移变化的研究指出,20世纪70年代以来副热带高压东西偏移的年际变率明显变大,这可能是最近20多年我国气候异常频发的原因。占瑞芬等人^[22]对西太平洋副热带高压脊线年际变化的研究指出,西太平洋副热带高压脊线年际变化呈现出一定的周期性,而这种周期在20世纪70年代中期发生了明显的突变。这些研究表明,20世纪70年代以来,西太平洋的副热带高压活动发生了系统性的变化。由于表征副热带高压活动的特征量所用资料的变更对研究副热带高压活动有重大影响^[23],慕巧珍等人^[24,25]对1880~2000年间的西太平洋副热带高压活动指数进行了重建和模拟。利用慕巧珍等人^[24]重建的西太平洋副热带高压活动指数,图2给出了北京年代高温闷热天气日数与副热带高压

强度指数和西界指数的相关分析。

由图2可见,北京地区年代高温闷热天气日数与副热带高压强度和西界的相关性较好,与北界的相关性较差(图略),即高温闷热天气日数与副热带高压强度指数呈正相关(副热带高压强度越强,北京地区高温闷热天气日数越多),与副热带高压西界指数呈负相关(副热带高压脊点越向西伸,北京地区高温闷热天气日数越多)。20世纪70年代是北京地区高温闷热天气的转折点,也是副热带高压活动的转折点。单从20世纪40年代与90年代副热带高压强度、西界指数的比较来看,90年代的副热带高压强度更强,90年代的副热带高压西界更深入大陆,因而90年代的高温闷热天气日数应比40年代多才更合乎道理;另外,与20世纪70年代相比,90年代以来北京的“城市热岛”强度在夏季最强且整天存在,即使在“城市热岛”强度最弱的午后,其平均强度也有2℃左右^[7,10,26]。从以上两点(即90年代的副热带高压活动规律和北京夏季“城市热岛”的现状)来看,都应当是90年代北京的高温闷热天气日数比40年代多,但实际情况并非如此。这促使我们从北京地区城市化发展方面来寻找上述现象的原因。

3 北京城市化进程的“城市干岛”效应与高温闷热天气

为了对20世纪90年代的高温闷热天气日数比40年代少的现象给出合理的解释,我们考察了北京城市化发展及其城市化效应,特别是城市的“干岛”效应。由前文的经验公式可以看到,人体舒适度指数对温度偏微分为 $0.45+H$,对相对湿度的偏微分为 $0.55T_D$ 。由此可见,在高温情况下,人体舒适度对相

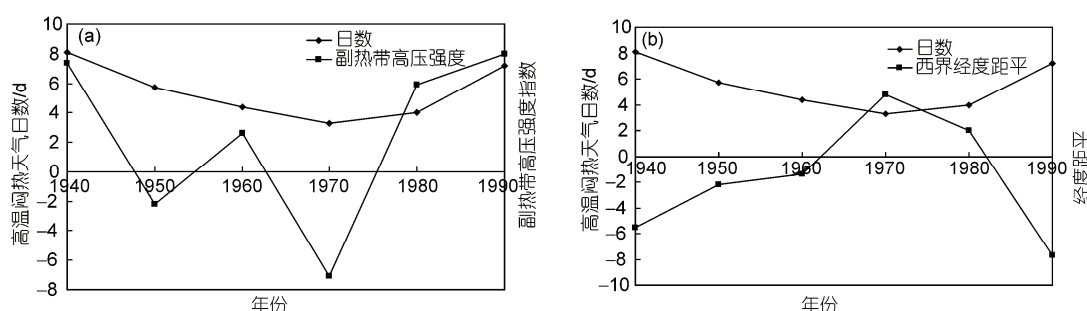


图2 高温闷热天气日数与副热带高压强度和西界指数的相关关系

(a) 1940~2000年高温闷热天气日数与副热带高压强度的相关关系; (b) 1940~2000年高温闷热天气日数与西界指数的相关关系; 相关系数分别为0.65和-0.91

对湿度的变化更敏感,而对温度变化的反应要相对弱一些.因此在高温天气形势下,相对湿度的变化对形成高温闷热天气过程起着至关重要的作用^[27].郑思轶等人^[28]利用1961~2000年的资料,研究了北京城市化进程对北京城市气候的影响.他们根据气象站周边的城市化程度和距城市中心的距离,将北京地区的标准气象站分为城区站和郊区站,研究了“城市热岛”和“城市干岛”的年代变化,指出北京的“城市热岛”强度在逐年增加,“城市干岛”效应也在逐年加强,特别是20世纪90年代,夏季城区的相对湿度比60年代小了10%,而郊区的相对湿度却基本保持不变.作为对郑思轶等人结论的补充和印证,我们分析了北京地区霞云岭、佛爷顶山区气象站夏季相对湿度的年代变化,结果表明两站的相对湿度并没有随年代发生系统性的变化,与文献[28]的结论是基本一致的(图略).这说明,在20世纪70~90年代间,北京的背景相对湿度并没有发生系统性的变化,进而可以得出这样的结论,北京城区夏季相对湿度的减少主要是由城市化发展所导致的“城市干岛”效应造成的.

这里需要说明的是,本文分析的资料来自北京观象台气象站,即北京标准气象站(站号54511).在分析的数据时间段内,北京观象台气象站的位置有几次变迁:解放前(1949年)北京观象台气象站在现在二环路外的动物园附近,50年代至1981年在现在四环路和五环路之间的南苑附近,1981~1997年在西三环路边的北京气象局车道沟附近,1997年至今在南苑附近.从北京的城市化进程来看,北京观象台气象站一直处于城市的边缘,受城市的影响是不能忽略的

(特别是20世纪的80年代和90年代).另外,除北京观象台气象站以外,北京市的其他气象台站几乎都是解放后建立的,在50年代以前并没有可供比较的其他台站.文献[28]将北京地区的气象站分为城区站和郊区站,其结果可以抵消一部分气象站迁移的影响,因而本文引用他们的结果印证我们的推论是合理的.作为补充,我们对比了20世纪40年代和90年代高温闷热天气时的湿度因素和气温因素.图3给出了高温闷热天气时的日均气温、日最高气温和日均相对湿度的年代距平变化曲线.

从图3可以看出,20世纪40年代高温闷热天气时的最高气温与90年代基本相当,都约为34.3℃;40年代高温闷热天气时的日均气温比90年代低0.4℃;40年代高温闷热天气时的日均相对湿度比90年代高5%.由此可以看出,20世纪40年代与90年代高温闷热天气的差异,即40年代高温闷热天气时的相对湿度较高,而90年代高温闷热天气时的温度较高.造成90年代的高温既有全球变暖的因素,也有“城市热岛”效应的因素^[29],但由于城市化的“干岛”效应以及高温时人体舒适度对相对湿度的高敏感性^[30],90年代高温闷热天气时的人体舒适度有所改善,高温闷热天气日数有所减少.以上的分析说明,全球变暖确有使北京高温闷热天气增多的可能性,但“城市干岛”效应也有对冲掉一部分由于增温而增加高温闷热天气的可能性.

4 结论

利用北京60 a(1940~2000年)的气温和相对湿度资料以及西太平洋副热带高压活动资料,研究了北京

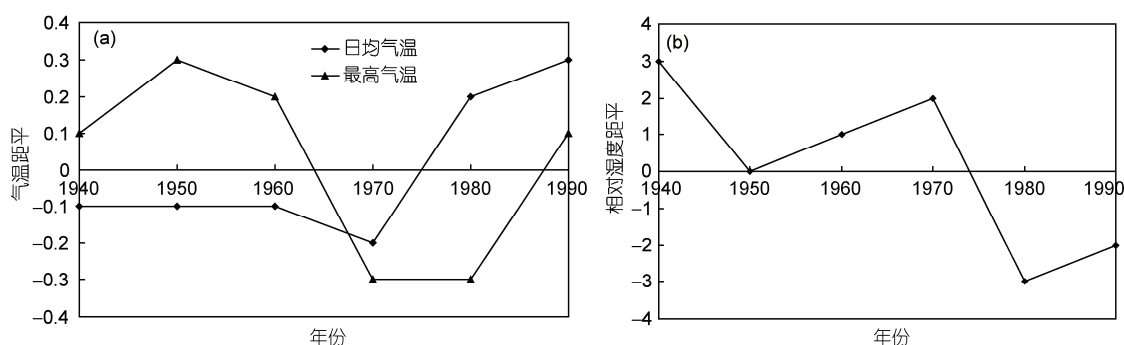


图3 北京高温闷热天气时日均气温、最高气温和相对湿度的年代均值距平变化

(a) 1940~2000年高温闷热天气时日均气温、日最高气温的年代距平变化; (b) 1940~2000年高温闷热天气时日均相对湿度的年代距平变化

夏季高温闷热天气日数的年代变化, 主要结果如下:

(i) 北京夏季高温闷热天气日数在 20 世纪 40 年代最多, 70 年代最少, 从 80 年代开始又逐渐增多。

(ii) 北京夏季高温闷热天气日数的年代变化与西太平洋副热带高压的活动相关联, 特别是与副热带高压活动强度指数和西界指数紧密相关, 即副热带高压强度越强, 西界的东经经度越小, 北京夏季发生高温闷热天气的可能性就越高。

(iii) 20 世纪 80 年代以来, 北京夏季高温闷热天气日数的增多与全球变暖呈同步趋势, 但北京“城市干岛”对此的缓解作用也不可忽视。这可能是 90 年代的气温明显高于 40 年代, 但 90 年代的高温闷热天气日数却少于 40 年代的原因之一。

以上只是针对北京这一特大城市得出的结论, 对于中小城市或不同气候背景下的特大城市, 以上结论是否成立, 值得进一步研究。

致谢 对王迎春、王自发研究员在论文修改中提供的帮助深表谢意。

参考文献

- 1 政府间气候变化专门委员会(IPCC). 气候变化 2007. 综合报告, 2007
- 2 王长来, 茅志成, 程极壮. 气象要素与中暑发生关系的探讨. 气候与环境研究, 1999, 4: 40—43
- 3 Marce Leroux. Global Warming Myth or Reality?—The Erring Ways of Climatology. Chichester, UK: Praxis Published Ltd, 2005
- 4 宋艳玲, 张尚印. 北京市近 40 年城市热岛效应研究. 中国生态农业学报, 2003, 11: 126—129
- 5 王迎春, 葛国庆, 陶祖钰. 北京夏季高温闷热天气的气候特征和 2008 夏季奥运. 气象, 2003, 29: 23—27
- 6 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系的研究. 自然科学进展, 2005, 15: 882—886
- 7 王喜全, 王自发, 郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征. 气候与环境研究, 2006, 11: 627—636
- 8 北京城市规划委员会. 北京城市总体规划(2004 年—2020 年), 2005
- 9 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报. 北京: 气象出版社, 2001
- 10 温克刚. 中国气象灾害大典(北京卷). 北京: 气象出版社, 2005
- 11 张尚印, 宋艳玲, 张德宽, 等. 华北主要城市夏季高温气候特征及评估方法. 地理学报, 2004, 59: 383—390
- 12 谢庄, 曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化. 气象学报, 1996, 54: 501—507
- 13 卫捷, 孙建华. 华北地区夏季高温闷热天气特征的分析. 气候与环境研究, 2007, 12: 453—463
- 14 赵世林, 车少静. 石家庄的高温闷热天气. 气象, 2001, 27: 23—25
- 15 连志鸾, 尤凤春. 石家庄高温闷热天气气候特征与预报方法. 气象, 2005, 31: 17—21
- 16 陈志梅, 刘秦玉, 沈小野, 等. 青岛近百年气温变化特征. 中国海洋大学学报, 2005, 35: 189—194
- 17 Wang J X L, Gaffen D J. Trends in extremes of surface humidity, temperature, and summertime heat stress in China. Adv Atmosic Sci, 2001, 18: 741—751
- 18 程炳岩, 丁裕国, 何卷雄. 全球变暖对区域极端气温出现概率的影响. 热带气象学报, 2003, 19: 429—435
- 19 卫捷, 杨辉, 孙淑清. 西太平洋副热带高压东西位置异常与华北夏季酷暑. 气象学报, 2004, 62: 308—316
- 20 陈月娟, 张弘, 周任君, 等. 西太平洋副热带高压的强度和位置与亚洲地表温度之关系. 大气科学, 2001, 25: 515—522
- 21 陆日宇, 李颖, Chan -Su Ryu. 夏季西太副热带高压的东西偏移和对流层低层环流变化的主要模态的关系. 自然科学进展, 2007, 17: 546—550
- 22 占瑞芬, 李建平, 何金海. 北半球副热带高压双脊线的统计特征. 科学通报, 2005, 50: 2022—2026
- 23 龚道溢, 绍武, 杨义文, 等. 90 年代西太平洋副高异常的分析. 气象, 1998, 24: 8—13
- 24 慕巧珍, 王绍武, 朱锦红, 等. 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化. 大气科学, 2001, 25: 787—797
- 25 慕巧珍, 王绍武, 蔡静宁, 等. 近百年西太平洋副热带高压变化的模拟研究. 科学通报, 2002, 47: 550—553
- 26 谢庄, 崔继良, 刘海涛, 等. 华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个例分析. 气候与环境研究, 1999, 4: 323—333
- 27 Gaffen D J, ROSS R J. Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature. J Climate, 1999, 12: 811—828
- 28 郑思轶, 刘树华. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响. 气候与环境进展, 2008, 13: 123—133
- 29 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展. 气候与环境研究, 2005, 10: 701—716
- 30 王喜全, 王自发, 郭虎, 等. 北京集中绿化区气温对夏季高温天气的响应. 气候与环境研究, 2008, 13: 39—44