

杨萍, 肖子牛, 刘伟东. 2013. 北京气温日变化特征的城郊差异及其季节变化分析 [J]. 大气科学, 37 (1): 101-112, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11229. Yang Ping, Xiao Ziniu, Liu Weidong. 2013. Comparison of diurnal temperature variation in urban and rural areas in Beijing and its seasonal change [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (1): 101-112.

# 北京气温日变化特征的城郊差异及其季节变化分析

杨萍<sup>1,2</sup> 肖子牛<sup>1</sup> 刘伟东<sup>2</sup>

1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081

2 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

**摘 要** 本文利用北京地区近 4 年 67 个自动气象站的逐小时气温观测资料, 基于北京地区气温的日变化特征, 通过分析日最高、最低气温出现时间的概率分布, 研究了城区、郊区气温的日变化差异及季节特征。此外, 进一步分析研究了不同单位时间间隔变温的日变化特征, 及最大变温出现时间的概率分布情况。研究结果表明: 平均而言, 城区最高温度出现的时间偏晚, 而最低温度出现的时间城区偏早于郊区, 与郊区相比, 北京城区站点温度的日变化特征更为一致, 最高(低)温度出现的时间更加集中; 温度日变化的特征随季节有明显的变化, 最高温度出现时间在秋、冬两季最为集中, 在春季和夏季较为分散; 而最低温度出现时间在春、夏两季最为集中, 在秋季和冬季最为分散。一天中正、负变温过程具有非对称特征, 正变温是比较急剧的过程, 负变温相对比较缓慢, 北京城区站点的变温幅度小于郊区, 春、秋和冬季变温幅度较大, 夏季变温幅度最小。不同单位时间内变温速率的分析表明, 最强的变温过程一般在 3 小时以内; 最大变温出现时间的概率分布分析表明, 最大正变温出现时间在冬季最为集中, 夏季最为分散; 而最大负变温在秋季最为集中, 在春季最为分散。最高(低)温度、变温的城、郊特征差异主要是由于城市热容量比郊区大, 且具有更多变化的复杂性而形成的。温度日变化的特征和其区域、季节差异性的揭示, 不仅有助于更好地认识和理解区域气候特征和城市化对气温的影响, 也可以为做好精细化的天气预报提供气候背景参考。

**关键词** 日变化 最高气温 最低气温 变温 城郊差异

**文章编号** 1006-9895(2013)01-0101-12

**中图分类号** P467

**文献标识码** A

**doi:**10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11229

## Comparison of Diurnal Temperature Variation in Urban and Rural Areas in Beijing and Its Seasonal Change

YANG Ping<sup>1,2</sup>, XIAO Ziniu<sup>1</sup>, and LIU Weidong<sup>2</sup>

1 China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081

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

**Abstract** On the basis of quality control of hourly temperature datasets from 67 Automatic Weather Stations (AWSs) in the last four years (2007–2010), the characteristics of diurnal temperature variations over urban and rural areas in Beijing are analyzed. The statistical distributions of the time of maximum high temperature and minimum low temperature in the daily cycle, which are the two most important characteristic values describing the diurnal variation, are analyzed. The difference in diurnal temperature variation between urban and rural areas in Beijing and its seasonal change are investigated using the results. Further, the characteristic diurnal variations in the temperature change in different units of

**收稿日期** 2011-11-17, 2012-07-23 收修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金资助项目 41005043, 全球变化研究国家重大科学研究计划 2012CB957804, 国家公益性行业(气象)科研专项 GYHY201106016, 战略性先导科技专项 XDA05090202

**作者简介** 杨萍, 女, 1981 年出生, 副研究员, 主要从事极端气候事件、城市气候方面的研究。E-mail: zz96998@163.com

time is studied, as well as their statistically determined emergence times. The different influences in urban and rural areas are also discussed. The results revealed the following. The maximum high temperature generally appears earlier in rural areas than in urban areas, but the minimum low temperature occurs later in rural areas than in urban areas. Compared with that in rural area, the characteristics of diurnal temperature variation are more concentrated for the AWSs in urban areas. The emergence times of the maximum high temperature and minimum low temperature also exhibit greater agreement for AWSs in urban areas. The characteristic diurnal variations change obviously with the season. For the maximum high temperature, the emergence time is centralized in autumn and winter but dispersive in spring and summer. The trend is the opposite for the minimum low temperature, which is centralized in spring and summer but dispersive in autumn and winter. The positive and negative temperature changes are asymmetrical on a daily cycle. The temperature shows a sharp rise but a slow decrease during a day. Urban areas typically have a smaller temperature range than rural areas in spring and autumn but not in summer and winter. Analyses of the temperature change rate in different time intervals showed that the sharpest change takes place in three hours. The statistical pattern of the time at which the maximum positive temperature change appears is different from that for the negative change. The time at which the maximum positive (negative) temperature appears is the most concentrated in winter (autumn) but the most dispersive in summer (spring). The differences between urban and rural areas in the characteristic diurnal variations in the maximum high and minimum low temperatures and the characteristics of temperature change are caused mainly by the larger thermal capacity of urban areas. Investigation of the characteristics of diurnal temperature characteristic and its differences in different seasons and different regions is important for better understanding of regional climate and the influence of urbanization. It can also provide climate background for refined weather forecasting.

**Keywords** Diurnal variation characteristics, Maximum temperature, Minimum temperature, Temperature change, Difference between urban and rural areas

## 1 引言

气温不仅是气候系统的重要表征指标,也直接影响人们的日常生活和生态环境,因此,日最高、最低气温以及气温日变化的特征受到了广泛的关注和重视(王旻燕等,2005;唐国利等,2006;吴凌云等,2011)。

日变化是气候的基本特征之一,日最高温度、最低温度出现时间的迟早与水汽蒸发、凝结等大气物理过程的关系十分紧密,是判断寒潮、霜冻、高温、冷害等极端气候事件的重要指标,气温日变化速度的快慢对于进一步认识日变化与天气变化的关系、提高气温逐时预报的准确性、延长预报时效将有很大的帮助,该方向的研究对准确认识气温的极值特征有十分重要的作用,同时,对全球和区域性气候变化、地气之间的能量转化、大气的化学成分、浓度的变化等方面的日变化和极值出现时间的研究都有重要的指示作用(杨玉华等,2003; Chudnovsky et al., 2004; 徐阳阳等, 2009)。

受太阳辐射日变化的影响,近地面气温一般在 14 时(北京时间,下同)至 15 时出现最高值,日出前后出现最低值,气温在日出后升温较快,夜间温度变化渐缓,但是,地表状况的差异、天气状况的不同等因素使日最高最低气温的出现时间以及变

温速率受到一定程度的影响(吕达仁等,2002;任国玉等,2005;赵娜等,2011)。城市化进程导致城市的下垫面的改变及城市热岛环流的形成,从而影响着日最高最低气温的出现时间以及气温的日变化速率(Peterson et al., 1999)。目前,城市化进程带来的城市热岛效应的研究已有很多,尤其是城市和郊区在气温方面的差异对比研究已经相当成熟(Saaroni et al., 2000; 张朝林等, 2007; 林学椿等, 2009),近些年,我国自动气象站的扩建给中国城市气候的精细化研究带来了可能性。丁金才等(2001)根据上海地区加密观测资料,对上海地区高温分布特征进行了诊断分析,胡文志等(2009)基于香港城郊代表站点的小时资料,对比了城郊站点的气温和相对湿度差异的日变化和季节变化,李兴荣等(2010)基于深圳自动观测站的资料,分析了深圳不同下垫面的小气候区夏季典型晴天的温湿及舒适度特征。从已有研究来看,利用自动气象站小时资料对区域气候进行日变化特征的研究还不太,其原因是观测资料在时间和空间上的密度还很不足,很难对区域气候的精细特征进行系统的分析和诊断。

为了了解城市化对北京气候的影响,本文基于北京地区 2007~2010 年 67 个自动气象站逐小时气温观测资料,通过统计北京城区和郊区观测

站日最高、最低气温出现时间以及不同时间间隔变温的大小, 认识城区和郊区日极值气温出现时间、变温的日变化规律, 以及其不同区域、不同季节的差异性特征等, 可为城市化效应对北京地区城郊日变化差异的分析提供细致的分析信息, 从而为准确认识极值事件以及精细化预报提供参考依据。

## 2 数据和方法

北京地区自 1998 年开始建立自动气象观测网, 经过 10 多年的建站和发展, 已经形成了一个时间上和空间上都较为密集自动气象观测网, 截至 2010 年, 已有加密自动气象观测站 100 多个。杨萍等 (2011) 构建了北京地区逐小时气温观测资料的质量评估流程, 对北京地区逐小时气温观测资料的完整性、准确性和可靠性进行了定量化的评估, 利用邻近站点的数据对少量的缺测值进行空间插补, 形成了一套质量较高的小时气温数据集。在数据集的构建中, 充分考虑海拔高度等因素对温度值的影响, 如在空间一致性方法进行错误数据识别以及采用空间插值方法对缺测数据进行插补时, 均充分考虑了海拔高度对气温的影响, 以确保数据集能够更加客观和接近于真实状态。本文所用资料来源于这套数据集中 2007~2010 年 67 个站点逐小时的气温资料, 其中, 城区站点 30 个, 分布于东城、西城、海淀、朝阳、石景山、丰台等主城区, 去除了城区中自动站附近下垫面景观相异 (如公园、水域等) 的站点。郊区站点 37 个, 分布于昌平、怀柔、密云、平谷、门头沟、房山等远郊区和山区, 去除了明显城市化的近郊区域和城镇 (如顺义、大兴、通州) 站点。

在给出北京地区城区、郊区站点平均温度日变化特征的基础上, 通过对最高、最低温度等表征日变化特征出现时间的概率分布, 分析了城市环境对温度日变化的影响。具体方法为: 利用出现率 (出现次数/总次数) 来表征日最高 (低) 温度在各时次出现的概率, 统计了城区和郊区代表站点及区域平均的全年和季节日最高温度 (最低温度) 出现时间的概率分布特征, 并分季节对城区和郊区不同单位时间内的变温的年平均特征及其季节变化进行了分析, 具体包括 1 小时变温、3 小时变温、6 小时变温三种情况,  $t$  时刻的变温值用  $\Delta x_t = x_t - x_{t-k}$  ( $k=1, 3, 6$ ) 表示。分季节研究中, 选取典型月份 1 月、4

月、7 月、10 月分别代表冬、春、夏、秋季进行研究。

## 3 气温日变化的城郊差异分析

人们很早就注意到, 局地环境和下垫面特征不仅对气温有重要的影响, 也对其日变化有重要影响, 以下我们将给出北京地区城、郊日变化特征, 并对这种日变化的概率分布特征进行分析。

### 3.1 气温的日变化特征

图 1 给出了不同季节下城区和郊区的日变化特征。图 1 的结果显示, 由于城、郊周边环境的不同, 不仅在温度值上存在明显差异, 而且日最高 (最低) 温度的出现时间有较大不同, 日最高温度的出现时间除了春季城区和郊区出现时间一致 (15 时) 外, 其他各季城区均较郊区出现时间滞后 1 小时。而日最低温度的出现时间上季节差异明显, 但城区和郊区最低气温出现时间在春、夏、秋三季是一致的, 只有冬季城区早于郊区, 城区最低气温出现在 07 时, 郊区则滞后 1 小时。从图 1 中已经看到了日极值温度的出现时间上存在着城郊差异和季节差异, 而事实上, 最高 (最低) 温度出现的时间是日变化中最重要的特征, 过去人们主要分析每个区域最高 (最低) 温度平均的出现时间, 对其分布状况或偏离程度的关注不多, 最高 (最低) 温度出现时间的概率可以表征气温日变化形态的概率分布特征。因此, 对最高 (最低) 出现时间的概率分布的认识, 可以深化对气温日变化特征的了解, 也可以为精细化天气预报提供气候背景知识。

### 3.2 日最高 (低) 温度平均出现时间的概率分布

图 2 给出了城区和郊区代表站点最高、最低温度出现率的日分布特征。其中, 图 2a 为城区十个代表站点 (天安门、官园、十八里店、玉渊潭、新发地、和平西桥、玉泉营、丰台体育馆、顺义、观象台) 最高温度出现率的日分布特征, 图 2b 为郊区代表站点 (张坊、新庄、菩萨鹿、龙庆峡、旧县、九渡河、云蒙山、佛爷顶、上甸子、霞云岭) 最高温度出现率的日分布特征, 图 2c 为城区代表站点 (站点名同图 2a) 最低温度各时次出现率的时间分布特征, 图 2d 为郊区代表站点 (站点名同图 2b) 最低温度各时次出现率的日分布特征。

由图 2 可以看出, 城区代表站点日最高温度最大出现率的时次均为 15 时, 占出现率的 35% 以上, 最低温度最大出现率的时次均为 06 时, 占出现率

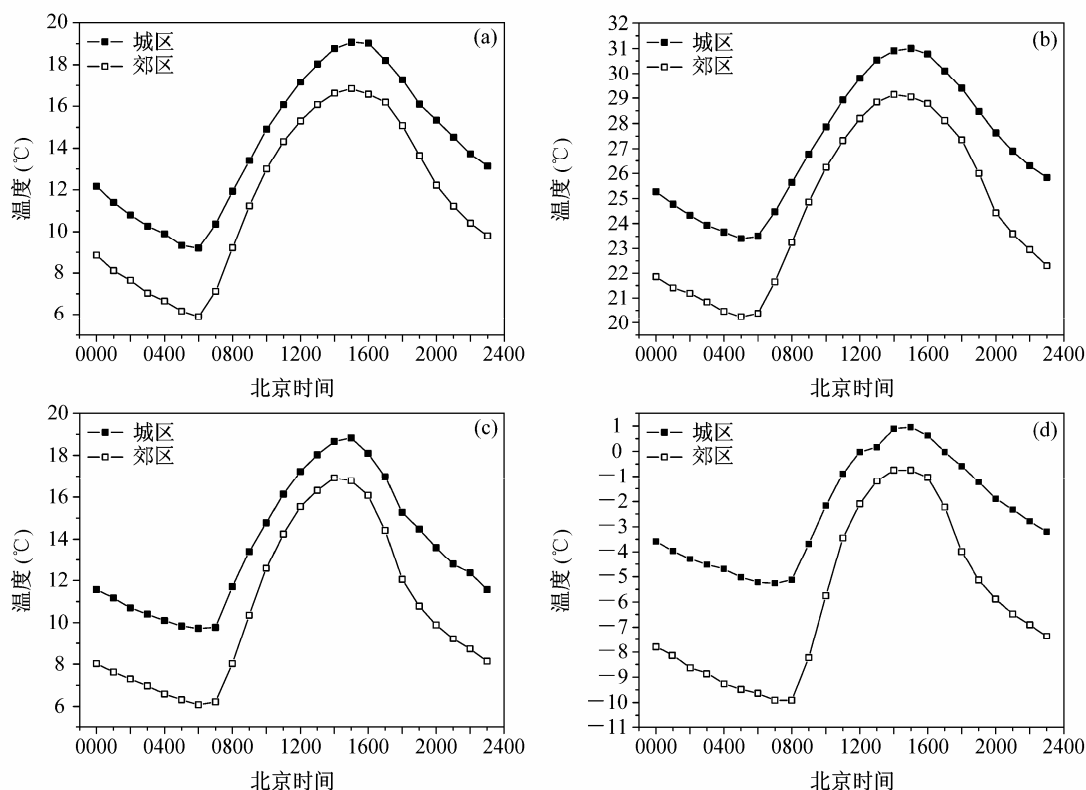


图1 城区(实心点线)和郊区(空心点线)温度日变化特征: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 1 Diurnal temperature changes in urban (solid point) and rural (hollow point) areas: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

的25%~30%;而郊区代表站点日最高温度最大出现率的时间比较分散,位于14时或15时,占出现率的比率基本上低于35%,其日最低温度最大出现率的时次位于05时或06时,占出现率比率在20%到28%之间。对比城区和郊区的日变化曲线,发现城区最高、最低温度各时次出现率的日变化曲线非常一致,近乎重合(图2a和图2c),郊区最高、最低温度的日变化曲线明显较为分散(图2b和图2d)。一方面说明城区不同站点最高、最低温度最大出现率的时间与郊区相比更为集中,即城区站点之间具有较好的时间一致性,另一方面也说明城区各站点最高、最低温度最大出现率与郊区各站点相比占有更高的比率,最高(低)温度的出现时间更为集中。

不同站点最高(低)温度最大出现率的时间一致性差别,可能与城区和郊区局地下垫面环境的差异有关。北京城区位于平坦地域,地形差异不大,且市区基本以房屋建筑、水泥地面等为主,具有比较一致的下垫面和周边环境,因此最高、最低温度出现时间的概率分布曲线比较一致,最大概率出现时间基本一致。相比之下,郊区的下垫面性质迥异,下垫面性质的不同使其具有不同的热容量,导致对自然辐射加

热的响应时间有别(刘树华等,2002;刘熙明等,2006),且郊区站点局地环境和地理位置差异也相对较大,日变化特征就会表现出较大的差异性。

为了说明城、郊最高(最低)温度出现时间的差异性,进一步对比城区和郊区最高、最低温度出现率的特征。图3给出了城(郊)区所有站点最高(低)温度出现率的逐小时变化情况。与郊区相比,城区最高、最低温度的出现时间更集中于最大出现率的时刻,这与图2的结果一致。此外,城区最高温度出现的时间倾向偏晚,最低温度出现时间趋于偏早,这可能是由于白天城区气溶胶含量较高,对太阳辐射的散射较强(Ohashi et al., 2002),其辐射加热产生滞后效应,因此最高温度出现时间偏晚,而夜间到凌晨城区太阳辐射开始启动加热的时间相对偏早,导致最低温度出现时间偏早。

### 3.3 日最高(低)温度出现时间的季节特征

图4和图5分别给出城(郊)区最高、最低温度逐时出现率的各季节平均状况。从图4a-d中可见,各季节最高温度出现率的分布特征曲线尽管有差异,但基本形态和年平均的情况类似。对最高温度出现的时间,城区比较集中,最大出现率占

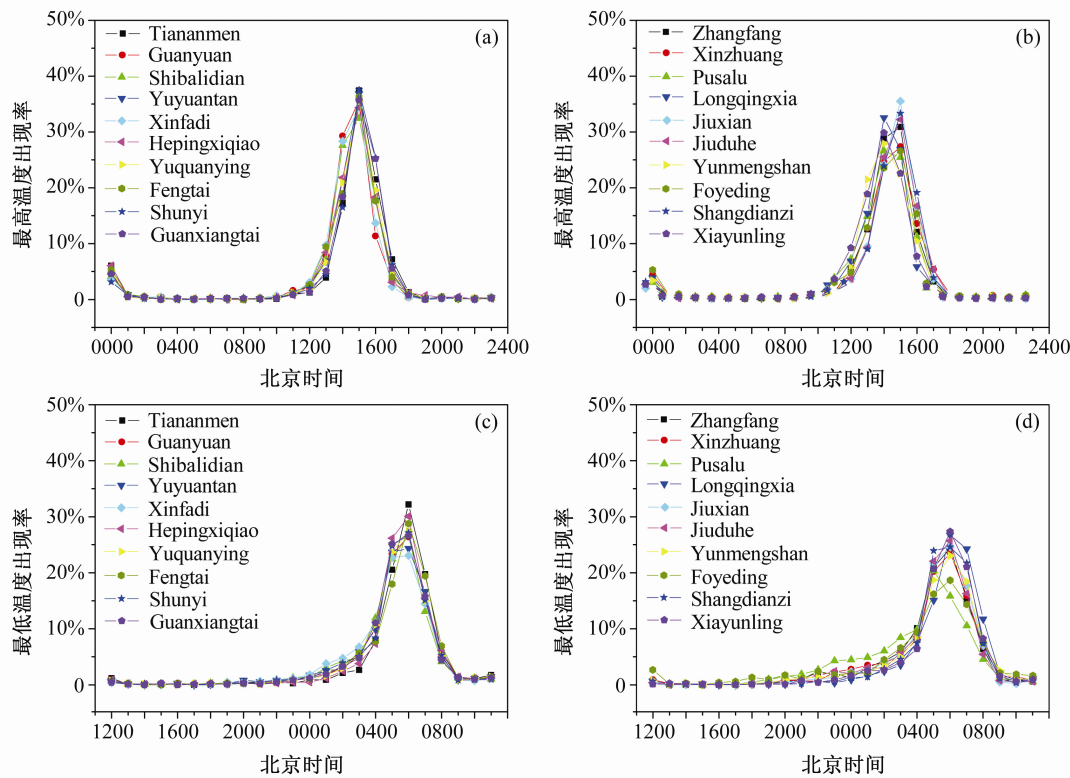


图2 城区典型代表站点最高温度 (a)、最低温度 (c) 和郊区典型代表站点最高温度 (b)、最低温度 (d) 出现率的时间分布  
Fig. 2 Time distribution of (a, b) maximum and (c, d) minimum temperature occurrence rate at typical stations in (a, c) urban and (b, d) rural areas

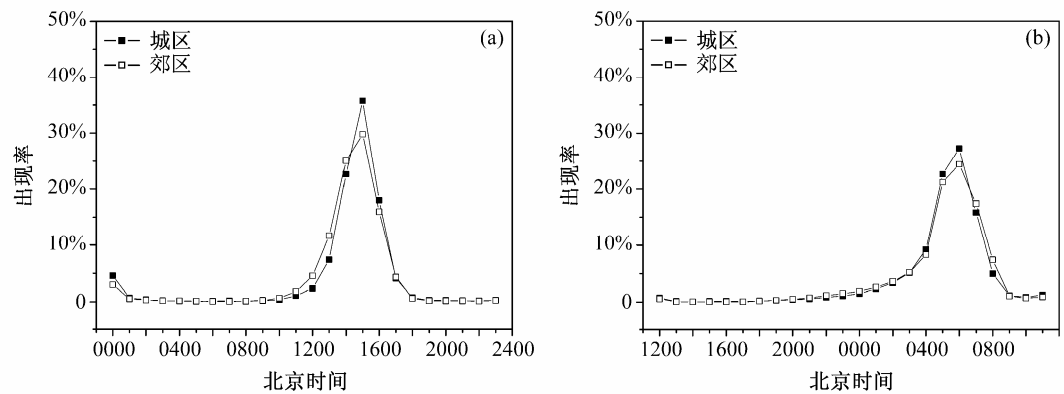


图3 城区（实心点线）和郊区（空心点线）最高温度 (a) 与最低温度 (b) 出现率的逐小时变化  
Fig.3 Hourly variations of (a) maximum and (b) minimum temperature occurrence rate in urban (solid point) and rural (hollow point) areas

的比例较高，最高温度出现时间偏晚于郊区。其中秋、冬两季最为集中，最大概率占的比例超过了45%，春、夏季较为分散，最大概率占的比例不超过35%。对最低温度出现时间，其各季特征也比较一致（图5a-d），城区比郊区集中且偏早于郊区，出现时间趋于偏早。最低温度的最大出现率对应的时次冬季最晚（城区08时，郊区07时），秋季次之（07时），春季较早（06时），夏季最早（05时）。其中春、夏两季最为集中，最大概率占的比例超过了45%，秋、冬季最低温度出现时间较为分散，尤

其是冬季城郊差别很大，城市的特征曲线比郊区更加分散，这很可能是由于冬季取暖增加了气溶胶效应有关（徐祥德等，2005）。上述结果与天气过程的影响可能存在着较为密切的关系。如夏季可能受到降水过程的影响，而冬季会常常伴随不同时间的冷空气过程。

#### 4 北京地区变温强度及其时间分布特征

变温是指单位时间间隔内温度的变化幅度，是

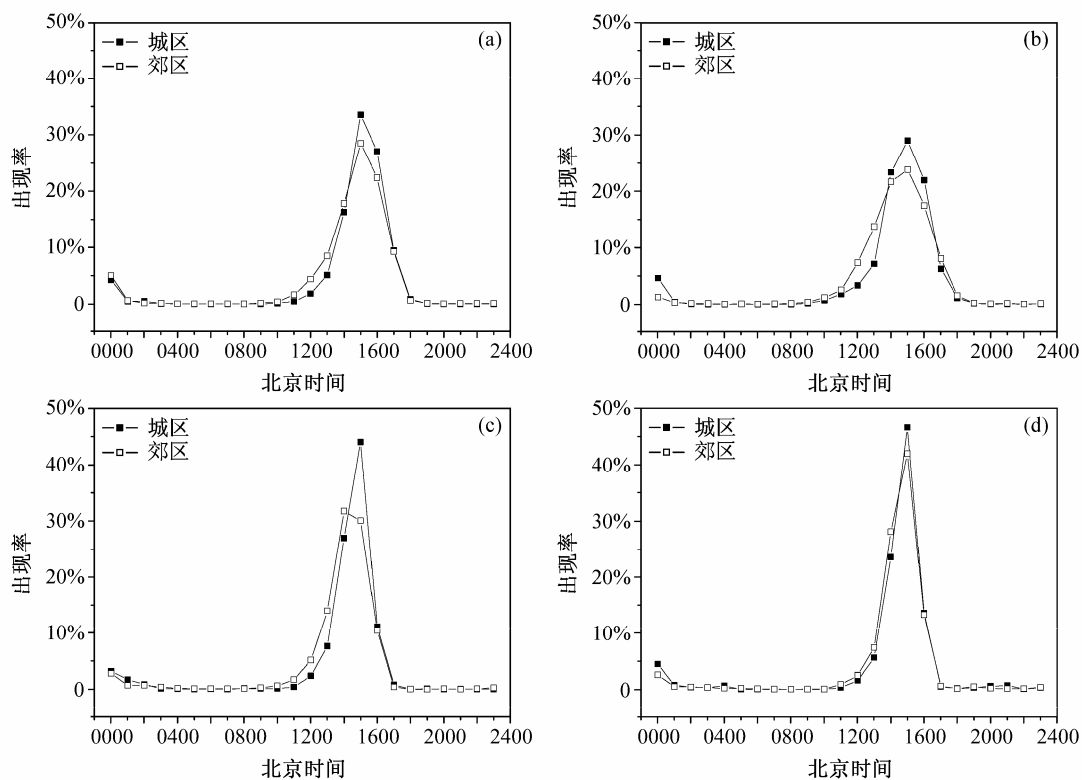


图4 城区(实心点线)和郊区(空心点线)春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)最高温度出现率的逐小时变化

Fig. 4 Maximum temperature occurrence rate in urban (solid point) and rural (hollow point) areas in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

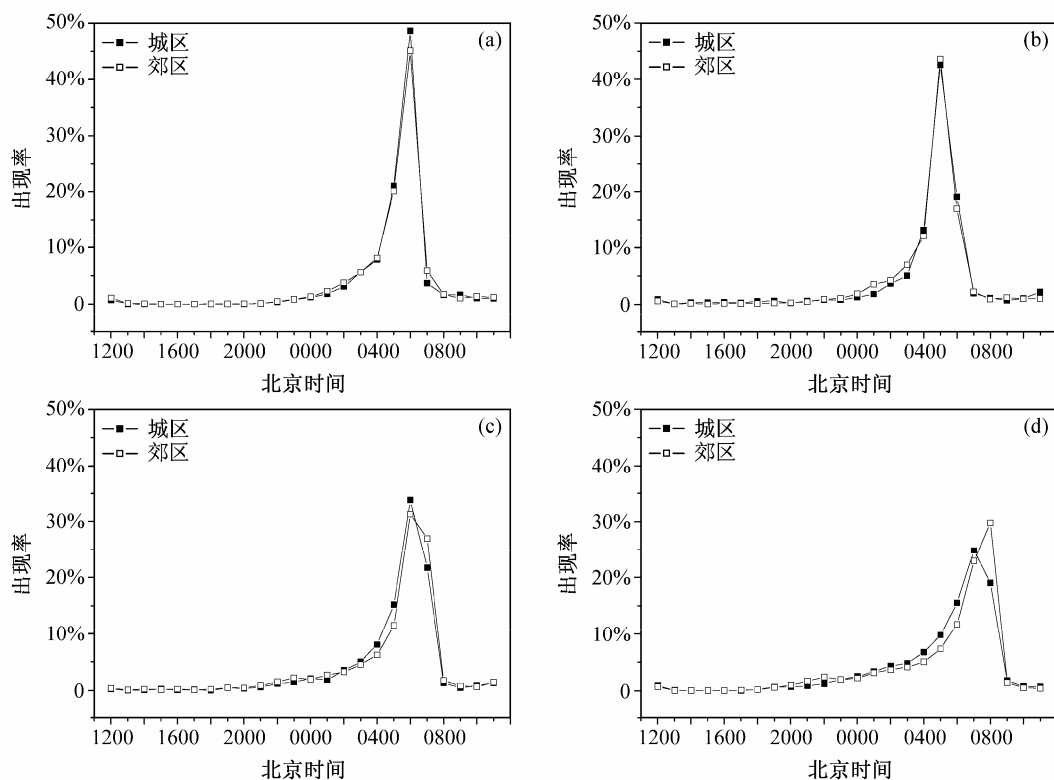


图5 各季城区(实心点线)和郊区(空心点线)春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)最低温度出现率的逐小时变化

Fig. 5 Minimum temperature occurrence rate in urban (solid point) and rural (hollow point) areas in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, (d) winter

天气变化强度的重要指标,同时变温也会对人体健康产生重要的影响。除了平均日变化的昼升夜降的特征外,本节将深入分析不同单位时间内城区和郊区变温的差异及其随季节的变化规律。

#### 4.1 变温的日变化特征及其季节差异

图6给出了不同时间间隔下气温变化幅度的曲线,具体包括1小时变温(图6a)、3小时变温(图6b)和6小时变温(图6c)年平均的日变化特征曲线。从图中可以看到,城区和郊区最大变温出现时间一致,但无论是基于多长的单位时间,城区变温的幅度均小于郊区。最大变温出现的时间随着间隔时段的增加而增大,最大变温的大小和太阳辐射

急剧变化相关,即和日出、日落变化的时间相关联,而最高温度和最低温度的出现时刻具有滞后效应。

1小时、3小时、6小时的最大正变温出现时间 $t$ 时刻分别为09时、11时、13时,对应的最大负变温出现时间分别为18时、20时、22时。从图中还可见,与正变温相比负变温是一个较为缓慢的过程。

1小时变化的日变化特征中(图7),城区的整体变温幅度小于郊区,春、秋和冬季变温幅度较大,夏季变温幅度最小,其中郊区秋季最大正(负)变温幅度均超过 $2.5^{\circ}\text{C}$ ,城区超过 $1.5^{\circ}\text{C}$ ,而夏季最大正(负)变温幅度均在 $1.5^{\circ}\text{C}$ 左右,城区在 $1.0^{\circ}\text{C}$ 左右。就城区而言,春秋两季日平均变温值(负变温

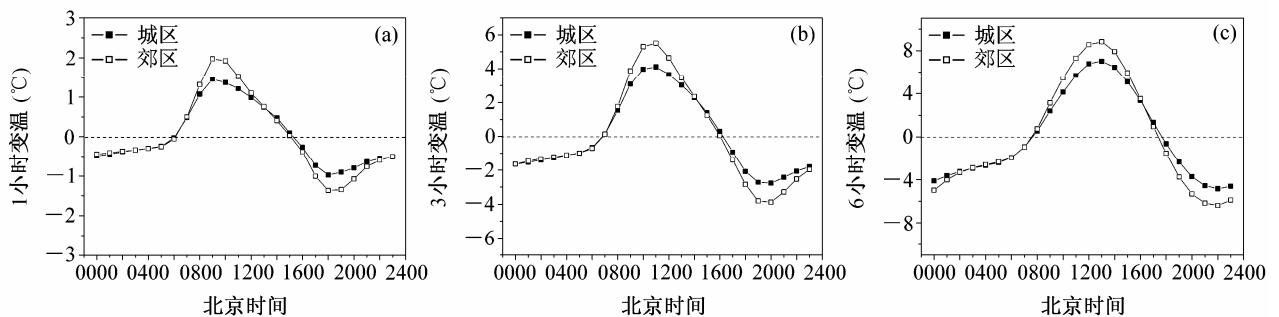


图6 城区(实心点线)和郊区(空心点线)气温变化的日变化规律:(a) 1小时变温;(b) 3小时变温;(c) 6小时变温

Fig. 6 Diurnal variation of temperature increment in urban (solid point) and rural (hollow point) areas: (a) For 1 hour; (b) for 3 hours; (c) for 6 hours

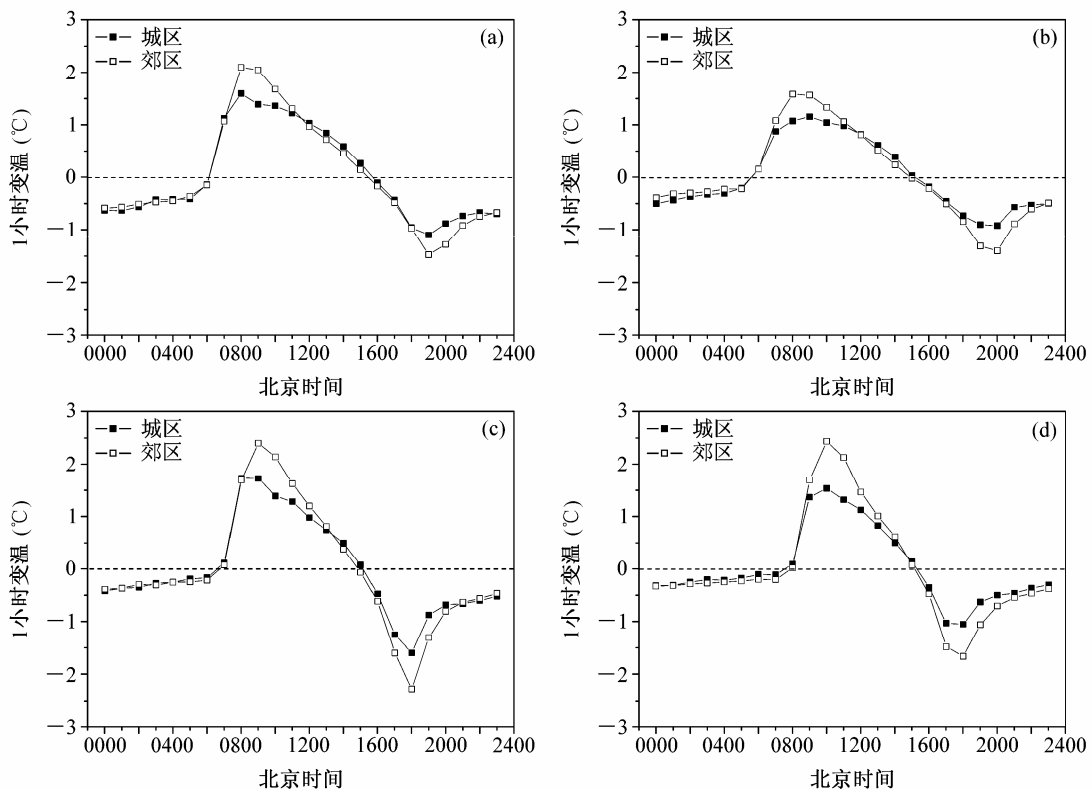


图7 城区(实心点线)和郊区(空心点线)1小时变温的日变化曲线:(a) 春季;(b) 夏季;(c) 秋季;(d) 冬季

Fig. 7 Diurnal temperature variation for 1 hour in urban (solid point) and rural (hollow point) areas: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

取其绝对值)幅度相对较大,其绝对值分别为  $0.76^{\circ}\text{C}$  (春)和  $0.72^{\circ}\text{C}$  (秋),冬夏两季变温幅度相对较小,其绝对值分别为  $0.55^{\circ}\text{C}$  (冬)和  $0.59^{\circ}\text{C}$  (夏)。与之相比,郊区的平均变温值高于城区,秋季变温值最大,达到  $0.86^{\circ}\text{C}$ ,春季次之 ( $0.85^{\circ}\text{C}$ ),冬季更小 ( $0.76^{\circ}\text{C}$ ),夏季最低 ( $0.68^{\circ}\text{C}$ )。

此外,正负变温的不对称性特征在 1 小时变温曲线中非常明显,以春季为例,正变温过程始于 07 时,到 08 时就达到峰值,即仅用 1 小时左右就完成了正变温过程,而负变温过程始于 14 时,到 17 时方到达负变温峰值,该过程用了 3 小时的时长。可见,1 小时变温过程中,负变温过程比正变温要平缓很多。

与 1 小时变温结果相比,3 小时变温(图略)正负变温过程开始至最大变温峰值所需要时间的差别不大,3 小时最大正变温发生时次冬季偏晚(11 时),其余季节均最大正变温发生时次均在 10 时,最大负变温发生时次春夏季偏晚(20 时),秋冬季偏早(19 时)。6 小时(图略)变温相对比较均匀,没有明显的跳跃过程,这说明剧烈的变温过程(尤其是正变温)实际上是在 3 小时甚至是 1 小时以内完成的。

为了进一步对比一天温度的变化中,多长时效的变温占据日气温变化的主要贡献,结合前文的结果,表 1 给出了 1 小时、3 小时、6 小时全年平均以及各季的最大变温速率。

表 1 城区和郊区年平均和季节的最大变温速率(单位:  $^{\circ}\text{C h}^{-1}$ )

Table 1 The average maximum climate rate of temperature variation in urban and rural areas per year and in four seasons ( $^{\circ}\text{C h}^{-1}$ )

|    | 1 小时变温速率 |      | 3 小时变温速率 |      | 6 小时变温速率 |      |
|----|----------|------|----------|------|----------|------|
|    | 城区       | 郊区   | 城区       | 郊区   | 城区       | 郊区   |
| 全年 | 1.97     | 1.45 | 1.83     | 1.37 | 1.47     | 1.18 |
| 春季 | 2.09     | 1.59 | 1.97     | 1.48 | 1.56     | 1.33 |
| 夏季 | 1.58     | 1.15 | 1.52     | 1.13 | 1.28     | 1.04 |
| 秋季 | 2.40     | 1.73 | 2.12     | 1.66 | 1.69     | 1.36 |
| 冬季 | 2.43     | 1.53 | 2.12     | 1.44 | 1.60     | 1.16 |

可以看到,1 小时和 3 小时最大变温速率的改变不大,如夏季城区的变温速率在 1 小时变温和 3 小时变温中只相差了  $0.06^{\circ}\text{C}$ ,而 6 小时变温和 3 小时变温相比,速率相差了  $0.3^{\circ}\text{C}$ ,可以推断,平均的最大增温主要是发生在 3 小时之内,而 3 小时以

后,增温速率已经和平均增温速率相差无几。

#### 4.2 最大正(负)变温出现时间的城郊差异及季节特征

图 8 给出了 1 小时、3 小时、6 小时最大正变温出现时间出现率的日变化特征。可以看到,不同变温条件下城郊最大变温出现率的日变化曲线有所差别。1 小时城区最大正变温出现率曲线右偏,这可能与城区气溶胶较多,热容量较大有关系;3 小时最大变温的出现时间最为集中,最大概率时间为 10 时,城区的峰值大于郊区,城区最大概率时间占到比例超过了 40%。

类似地,图 9 给出了最大负变温出现时间的结果。可以看到,负变温出现率曲线比较分散,1 小时最大负变温最大概率所占比例不超过 20%,城区仅为 15%,与郊区相比,城区最大降温的时间偏早于郊区。而 3 小时以上变温出现率曲线为右偏,最大负变温出现时间随单位时间的延长而趋于集中,最大出现概率所占的比例郊区超过 25%,且郊区大于城区。从图中可以注意到,负变温过程是相对缓慢过程。

图 10 给出了不同季节 1 小时最大正变温出现时间概率分布。可以看到,冬季 1 小时最大变温出现时间最为集中,春秋次之,夏季最为分散。冬季郊区出现时间的最大概率所占比例超过 35%,而夏季仅为 15%左右。该结果的可能原因是夏季天气过程多于冬天。从最大正变温的概率分布曲线的形态看,秋、冬季城区概率分布曲线比郊区概率分布曲线呈现左偏,而春、夏季则呈现右偏的特征,其中以夏、秋两季的偏度最为明显。秋季城区最大概率分布曲线比郊区左偏,与李兴荣等(2008)研究北京秋季城市热岛效应的结果一致,其原因主要是由于秋季北京地区水汽含量较小,城市清晨“干岛”效应突出,日出后太阳辐射的加热作用使市区地面气温上升的速率和幅度均更大的缘故。夏季水汽含量相对较大,城区的气溶胶、污染等较重,热容量较大,因此太阳辐射的增温效应城区较慢,显示为右偏特征。3 小时变温、6 小时变温的季节差异基本类似(图略)。

图 11 给出了 1 小时最大负变温出现时间概率分布的季节差异。城郊 1 小时最大负变温出现率峰值的分布时次在夏、冬两季有较明显的差别,夏季和冬季城区较郊区均早 1 个时次(夏季城区 22 时,郊区 23 时,冬季城区 17 时,郊区 18 时),春秋



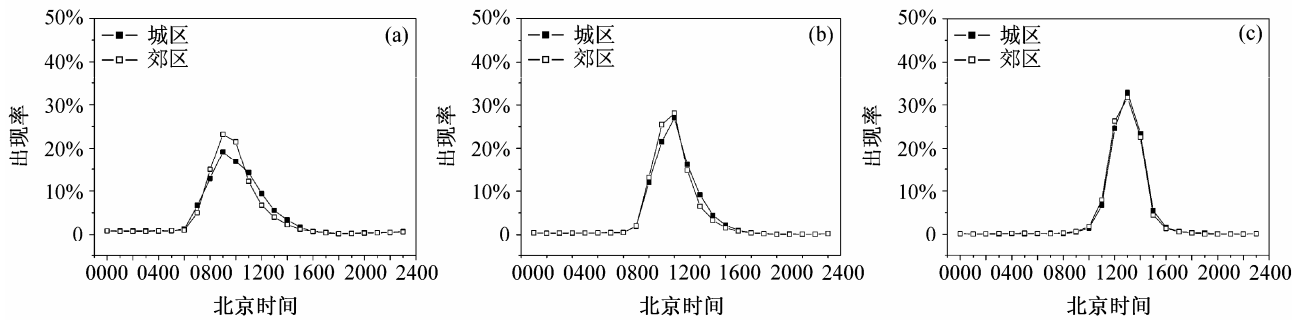


图8 城区(实心点线)和郊区(空心点线)最大正变温出现时间出现率的日变化:(a) 1小时变温;(b) 3小时变温;(c) 6小时变温

Fig. 8 Occurrence rate of maximum positive temperature increment in urban (solid point) and rural (hollow point) areas: (a) For 1 hour; (b) for 3 hours; (c) for 6 hours

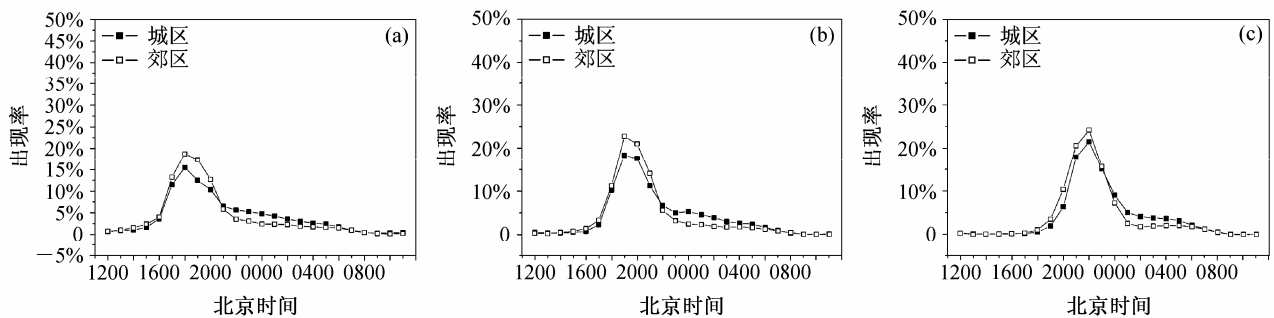


图9 城区(实心点线)和郊区(空心点线)最大负变温出现时间出现率的日变化:(a) 1小时变温;(b) 3小时变温;(c) 6小时变温

Fig. 9 Occurrence rate of maximum negative temperature increment in urban (solid point) and rural (hollow point) areas: (a) For 1 hour; (b) for 3 hours; (c) for 6 hours

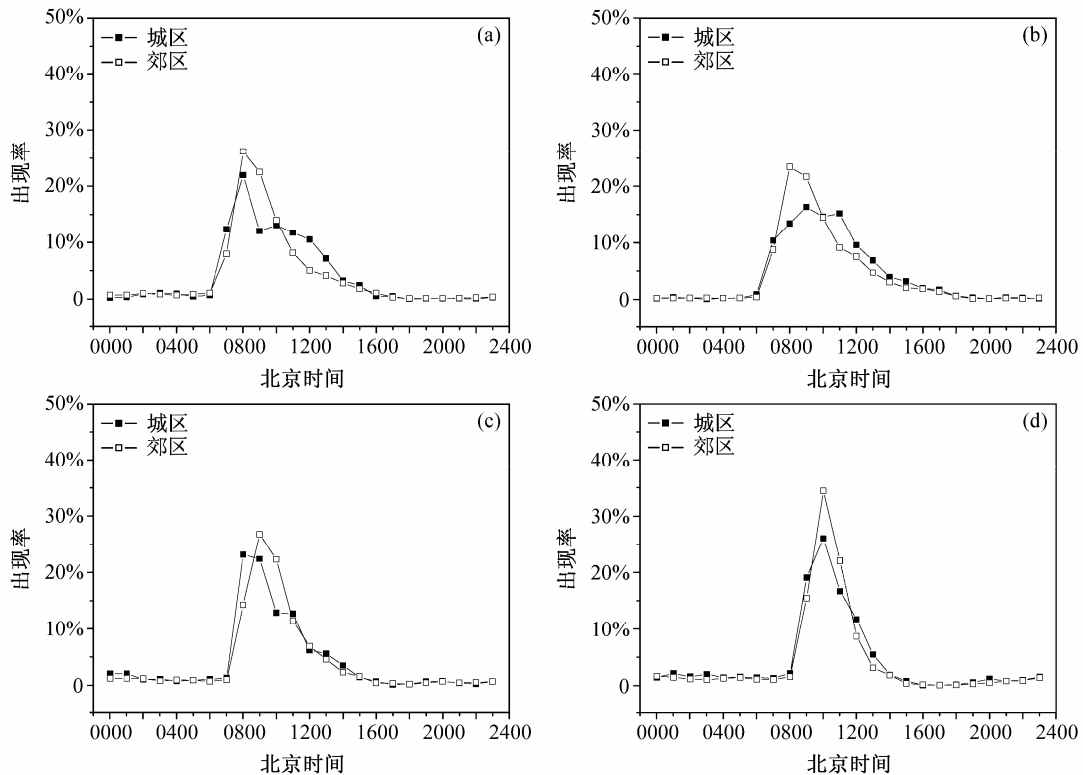


图10 城区(实心点线)和郊区(空心点线)1小时最大正变温出现时间:(a) 春季;(b) 夏季;(c) 秋季;(d) 冬季

Fig. 10 Occurrence rate of maximum positive temperature increment in urban (solid point) and rural (hollow point) areas for 1 hour: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

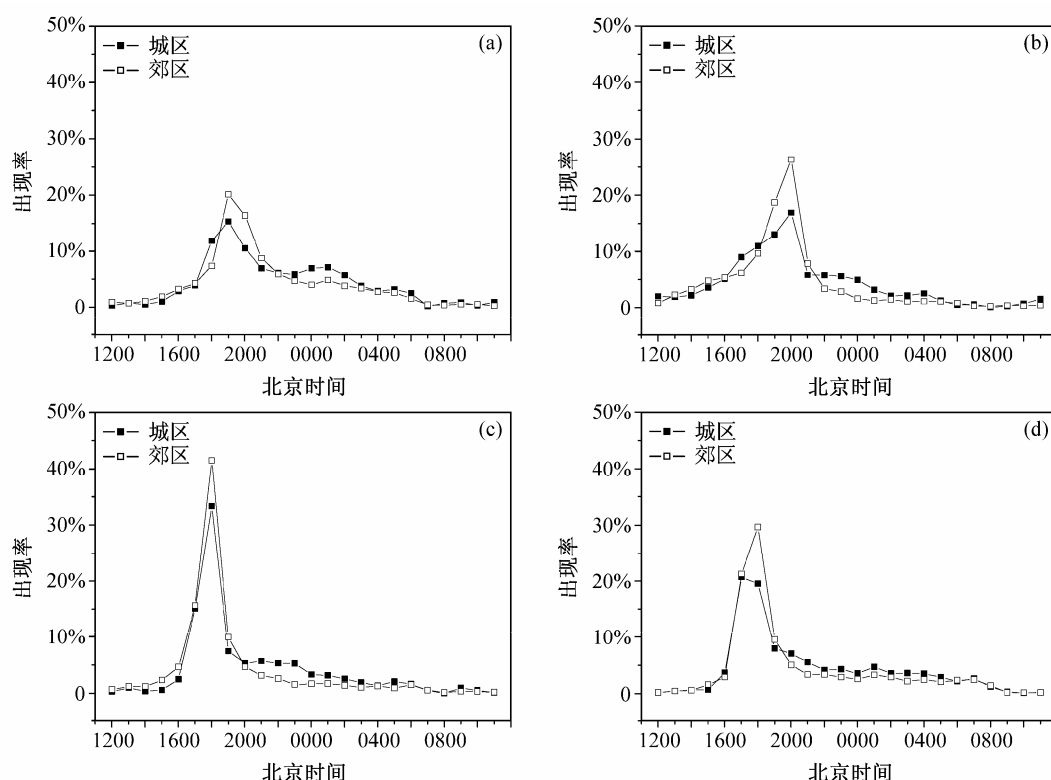


图 11 城区（实心点线）和郊区（空心点线）1 小时最大负变温出现时间: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 11 Occurrence rate of maximum negative temperature increment in urban (solid point) and rural (hollow point) areas for 1 hour: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

季城郊出现率峰值的发生时次一致，春季为 19 时，秋季为 18 时。城区较郊区发散，秋季最为集中，冬夏次之。秋季曲线中郊区最大概率所占的比例超过 40%，城区超过 30%，而春季郊区仅在 20% 左右，城区在 15% 左右。最大负变温出现的平均时间主要受日落时间影响，但天空状况变化对辐射冷却的影响，以及冷空气的入侵活动将使之发生偏移。春季冷空气活动频繁，气温波较大，使最大负变温的出现在各个时次的随机性增大。秋季最大负变温出现时间的概率分布为什么最为集中，其原因有待进一步研究。最大正、负变温出现的时间均表现出郊区比较集中的特点，表现了城市热容量比郊区大（刘树华等，2002；刘熙明等，2006），且具有更多变化的复杂性。

## 5 小结

本研究基于北京地区自动气象站逐小时气温观测资料，得到了城区和郊区日极值气温出现时间以及气温变化快慢的总体规律和季节特征，主要结论如下：

(1) 城区站点最高（低）温度最大出现率的时

次更加集中，而郊区相对分散，且城区不同站点最高（低）温度出现概率的日变化曲线也非常一致。与城区代表站点相比，郊区最高（低）温度不同站点日变化的差异性也更大。说明城区站环境的差异性比郊区小，平均热容量则比郊区大。

(2) 城区最高温度出现的时间较晚，可能原因是城区白天气溶胶含量较高，导致城区辐射加热的滞后效应所致，而最低温度出现的时间城区偏早于郊区，可能因为晚上到清晨郊区的水汽含量比城区大，太阳辐射开始启动加热的时间相对城区较晚。城郊温度日变化的不同特点，和城市的热岛效应、干岛效应有密切关系。

(3) 城区的整体变温幅度小于郊区，春、秋和冬季变温幅度较大，夏季变温幅度最小，其中郊区秋季最大正（负）变温幅度均超过  $2.5^{\circ}\text{C}$ ，城区超过  $1.5^{\circ}\text{C}$ ，而夏季最大正（负）变温幅度均在  $1.5^{\circ}\text{C}$  左右，城区在  $1.0^{\circ}\text{C}$  左右。最强的变温过程一般在 3 小时以内，其中正变温是比较急剧的过程，负变温相对比较缓慢的过程。

(4) 最大正变温出现的时间在冬季最为集中，夏季最为分散；而最大负变温概率在秋季最为集

中, 在春季最为分散。从变温的特征可以看到, 最大正、负变温出现的时间均表现出郊区比城区更为集中的特点, 表现了城市热容量比郊区大, 且具有更多变化的复杂性。

由于受到城市热岛、复杂环境、地理位置、多样性地形、天气系统等多重因素的影响, 城区和郊区的气温日变化特征值得研究的方面很多。本文仅是对北京城区和郊区的日变化平均情况进行了多方面的统计和分析。事实上, 地理位置、地形条件不同的郊区站之间日变化特征有何差别、晴空条件、有云条件、降水降雪条件等天气系统影响下的日变化特征有何差别, 这些方面的问题都值得在后续工作中进行更加深入和系统性的研究和探讨。

### 参考文献 (References)

- Chudnovsky A, Ben-Dor E, Saaroni H. 2004. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements [J]. *Energy and Buildings*, 36: 1063–1074.
- 丁金才, 叶其欣, 丁长根. 2001. 上海地区高温分布的诊断分析 [J]. *应用气象学报*, 12 (4): 494–500. Ding Jincai, Ye Qixin, Ding Changgen. 2001. Diagnostic analysis of high temperature distribution in Shanghai [J]. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 12 (4): 494–500.
- 胡文志, 梁延刚, 雷惠雯, 等. 2009. 香港城市与郊区气候差异分析 [J]. *气象*, 35 (2): 71–79. Hu Wenzhi, Liang Yan'gang, Lei Huiwen, et al. 2009. A study on the difference between urban and rural climate in Hong Kong [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 35 (2): 71–79.
- 李兴荣, 胡非, 舒文军, 等. 2008. 北京秋季城市热岛效应及其气象影响因素 [J]. *气候与环境研究*, 13 (3): 291–299. Li Xingrong, Hu Fei, Shu Wenjun, et al. 2008. Characteristics of urban heat island effect and its meteorological influencing factors over Beijing in autumn [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 13 (3): 291–299.
- 李兴荣, 张小丽, 隋高林, 等. 2010. 深圳夏季典型晴天不同小气候区温湿及舒适度特征 [J]. *气象*, 36 (10): 62–66. Li Xingrong, Zhang Xiaoli, Sui Gaolin, et al. 2010. The characteristics of temperature, humidity and comfort index of different microclimate zones on typical clear days in Shenzhen in summer [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 36 (10): 62–66.
- 林学椿, 于淑秋. 2005. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应 [J]. *地球物理学报*, 48 (1): 39–45. Lin Xuechun, Yu Shuqiu. 2005. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect [J]. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 48 (1): 39–45.
- 刘树华, 李洁, 文平辉. 2002. 城市及乡村大气边界层结构的数值模拟 [J]. *北京大学学报 (自然科学版)*, 38 (1): 90–97. Liu Shuhua, Li Jie, Wen Pinghui. 2002. Numerical simulation of atmospheric boundary-layer structure over urban and rural areas [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 38 (1): 90–97.
- 刘熙明, 胡非, 李磊, 等. 2006. 北京地区夏季城市气候趋势和环境效应的分析研究 [J]. *地球物理学报*, 49 (3): 689–697. Liu Ximing, Hu Fei, Li Lei, et al. 2006. Summer urban climate trends and environmental effect in the Beijing area [J]. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 49 (3): 689–697.
- 吕达仁, 周秀骥, 李维亮, 等. 2002. 30年来我国大气气溶胶光学厚度平均分布特征分析 [J]. *大气科学*, 26 (6): 721–730. Lü Daren, Zhou Xiuji, Li Weiliang, et al. 2002. Analyses on the spatial distribution of aerosol optical depth over China in recent 30 years [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 26 (6): 721–730, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2002.06.01.
- Ohashi Y, Kida H. 2002. Effects of mountains and urban areas on daytime local-circulations in Osaka and Kyoto regions [J]. *Journal of Meteorological Society of Japan*, 80 (4): 539–560.
- Peterson T C, Gallo K P, Lawrimore J, et al. 1999. Global rural temperature trends [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 26 (3): 329–332.
- 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 2005. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 [J]. *气象学报*, 63 (6): 642–956. Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. 2005. Climate changes of China's mainland over the past half century [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 63 (6): 642–956.
- Saaroni H, Ben-Dor E, Bitna A, et al. 2000. Spatial distribution and microscale characteristics of the urban island in Tel-aviv, Israel [J]. *Landscape and Urban Planning*, 48: 1–18.
- 唐国利, 丁一汇. 2006. 近 44 年南京温度变化的特征及其可能原因的分析 [J]. *大气科学*, 30 (1): 56–68. Tang Guoli, Ding Yihui. 2006. The changes in temperature and its possible causes in Nanjing in recent 44 years [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 30 (1): 56–68. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2006.01.05.
- 王旻燕, 吕达仁. 2005. GMS5 反演中国几类典型下垫面晴空地表温度的日变化及季节变化 [J]. *气象学报*, 63 (6): 957–967. Wang Minyan, Lü Daren. 2005. Diurnal and seasonal variation of clear-sky land surface temperature of several representative land surface types in China retrieved by GMS5 [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 63 (6): 957–967.
- 吴凌云, 张井勇, 董文杰. 2011. 中国植被覆盖对日最高最低气温的影响 [J]. *科学通报*, 56 (3): 274. Wu Lingyun, Zhang Jingyong, Dong Wenjie. 2011. Vegetation effects on mean daily maximum and minimum surface air temperature over China [J]. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 56 (3): 274.
- 徐阳阳, 刘树华, 胡非, 等. 2009. 北京城市化发展对大气边界层特性的影响 [J]. *大气科学*, 33 (4): 859–867. Xu Yangyang, Liu Shuhua, Hu Fei, et al. 2009. Influence of Beijing urbanization on the characteristics of atmospheric boundary layer [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 33 (4): 859–867. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2009.04.18.
- 徐祥德, 施晓辉, 张胜军, 等. 2005. 北京及周边城市群落气溶胶影响域及相关气候效应 [J]. *科学通报*, 50 (22): 2522–2530. Xu Xiangde, Shi Xiaohui, Zhang Shengjun, et al. 2005. Influence domain and climate effect related to aerosol of urban community around Beijing [J]. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 50 (22): 2522–2530.
- 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.
- 杨玉华, 徐祥德, 翁永辉. 2003. 北京城市边界层热岛的日变化周期模

- 拟 [J]. 应用气象学报, 14(1): 61–68. Yang Yuhua, Xu Xiangde, Weng Yonghui. 2003. Simulation of daily cycle of boundary layer heat island in Beijing [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 14 (1): 61–68.
- 张朝林, 苗世光, 李青春, 等. 2007. 北京精细下垫面信息引入对暴雨模拟的影响 [J]. 地球物理学报, 50 (5): 1373–1382. Zhang Chaolin, Miao Shiguang, Li Qingchun, et al. 2007. Impacts of fine-resolution land use information of Beijing on a summer severe rainfall simulation [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 50 (5): 1373–1382.
- 赵娜, 刘树华, 虞海燕. 2011. 近 48 年城市化发展对北京区域气候的影响分析 [J]. 大气科学, 35 (2): 373–385. Zhao Na, Liu Shuhua, Yu Haiyan. 2011. Urbanization effects on local climate in Beijing in recent 48 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (2): 373–385. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2011.02.15.