

刘伟东, 杨萍, 尤焕苓, 等. 2013. 北京地区热岛效应及日较差特征 [J]. 气候与环境研究, 18 (2): 171–177, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11147. Liu Weidong, Yang Ping, You Huanling, et al. 2013. Heat island effect and diurnal temperature range in Beijing area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (2): 171–177.

北京地区热岛效应及日较差特征

刘伟东¹ 杨萍¹ 尤焕苓² 张本志²

¹ 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

² 北京市气象局, 北京 100089

摘 要 通过对 2007~2010 年北京地区经质量控制后的 123 个自动气象站气温数据采用 *K* 均值聚类方法分类, 得到城区、郊区、西部和北部山区、西南和东北部山区 4 个温度分区, 分析了 4 个分区气温的年变化、日变化和日较差变化特征, 并对北京地区热岛效应的时间变化特征进行了细致分析。结果表明: 聚类分析方法可对北京地区温度很好地进行分区, 分区结果与站点的地形和下垫面情况较为吻合; 不同分区温度日较差在西部和北部山区最大, 在西南部和东北部山区次之, 郊区再次之, 在城区的日较差最小; 在一年中, 各温度分区以 2 月、5 月与 10 月日较差较大, 其中以 5 月的日较差为最大; 北京地区热岛效应在冬季和夜间较强, 而 3~8 月热岛较弱, 在夏季的白天比其它季节白天强。

关键词 热岛 日较差 自动站 聚类分析

文章编号 1006-9585 (2013) 02-0171-07

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11147

Heat Island Effect and Diurnal Temperature Range in Beijing Area

LIU Weidong¹, YANG Ping¹, YOU Huanling², and ZHANG Benzhi²

¹ Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

² Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

Abstract The *K*-means clustering method was used to determine quality-controlled hourly surface air temperature data of 123 automatic weather stations in the Beijing area. The sites of these stations were classified into the following four zones, that is urban stations, suburban stations, west and north mountainous area stations, and southwest and northeast mountainous area stations. Monthly and diurnal temperature variations and diurnal temperature range (DTR) of the four zones were analyzed and hourly and monthly urban heat islands were investigated. *K*-means clustering proved advantageous in classifying temperature zones, which were correlated with the terrain and underlying surfaces of the stations. The DTR of the urban zone was revealed to be smaller than that in suburban and mountainous areas. The west and north mountainous areas exhibited the highest DTR values. All zones exhibited high DTR values in February, May, and October. The urban heat island effect in the Beijing area was stronger in winter and at night. In the daytime, the urban heat island effect appeared to be stronger in summer than that in other seasons. From March to August, the urban heat island effect was the weakest.

Keywords Urban heat island, Diurnal temperature range, Automatic weather station, Clustering analysis

收稿日期 2011-09-14 收到, 2013-01-31 收到修定稿

资助项目 中国科学院战略性先导科技专项 XDA05090202, 国家自然科学基金项目 40975066、41005043

作者简介 刘伟东, 男, 1973 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为城市气候、城市遥感等。E-mail: wdliu@ium.cn

1 引言

近几十年来,北京及周边地区城市化进入了快速发展阶段,对城市生态环境产生了巨大影响。其中,热岛效应是城市化带来的最明显的环境特征之一。影响热岛效应的因素及各因素间的相互关系很复杂,热岛的水平结构和垂直结构也很复杂,热岛的边界随着时间空间而变化,具有很大的不确定性,要从常规观测数据揭示热岛的变化规律有很大困难(You, 2007; Rizwan et al., 2008)。根据文献总结,主要有 5 类热岛效应的研究方法(王迎春等, 2009): 1) 通过城郊气象资料的对比分析热岛的变化规律; 2) 通过遥感热红外波段影像进行地表温度反演,分析城市不同下垫面与热环境的关系; 3) 通过地表能量平衡模式对热岛效应的形成机理进行研究; 4) 应用数值模拟方法对城市热环境或热岛环流进行模拟分析; 5) 通过布置固定点或车载流动观测对热岛效应进行观测分析。

北京地区热岛效应的研究已有很多,其中多数是采用遥感资料和常规气象资料研究热岛效应的年际变化、季节变化等。徐兆生等(1987)用 1982~1985 年北京气象观测资料,讨论了热岛效应,指出城郊升降温速率的差异、城市建筑物的阻挡作用是热岛效应的重要原因。张景哲和刘启明(1988)用回归分析的方法分析了北京市气温与城市下垫面结构中绿地、建筑物、水域 3 要素的相关程度。张光智等(2002)采用北京市 16 个观测站的 1961~2000 年温度资料对北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变进行了分析,发现北京城区与郊区温度同位相升降,且郊区温度一直低于城区。谢庄等(2006)利用 1998~2001 年北京城区官园站和郊区密云站的气温差作为城市热岛强度指标,研究了热岛强度年、季、月及日变化特征,以及几种极端天气事件的逐时及平均热岛强度的变化。Liu et al. (2007)利用北京市 1977~2000 年气候资料研究了北京地区平均气温、最高和最低气温热岛强度的季节和年际变化特征,发现近 30 年来最低气温热岛强度增加趋势最为显著,最低气温和平均气温热岛强度季节变化表明冬季的热岛效应最强,在日变化中,夜间的热岛效应最强。王喜全等(2006)利用 2002 年北京自动气象站资料分析了北京热岛效应,发现热岛效应在夏季最强,秋、冬季次之,春

季最弱。这些研究对于揭示北京地区热岛效应的变化规律具有重要意义。然而,由于缺乏足够细致的地面观测资料,北京地区热岛效应的细致变化特征还有许多研究工作尚未开展。

聚类分析方法是气候研究中广泛应用的方法,尤其在气候分区方面(Lund and Li, 2009; Bürger, 2010; Dezfuli, 2011)。本文将采用 K 均值聚类分析方法对经质量控制后的北京地区 123 个自动气象站 2007~2010 年的逐时气温观测数据进行分类,分析各类分区的温度变化、日较差变化特征和热岛效应的细致变化特征,以弥补多年来在北京热岛效应细致特征分析方面的不足,加强自动气象观测数据在城市气候研究中的应用。

2 资料与方法

2.1 资料

北京市地处华北平原的北部,西面和北面多山,东南面为平原。近 10 年来城市人口突增,城市发展迅速。自 2007 年以来,北京地区建成各类自动气象站 200 多个,形成了城区平均间距 5 km、郊区 10~15 km 的地面自动气象观测网,为深入分析北京地区的城市气候特征提供了丰富的观测资料。杨萍等(2011)对北京地区自动气象站的运行情况和质量状况做了系统的评估和分析,建立了一套质量较好的北京地区自动气象站观测温度数据集。本文选取其中质量较好的 123 个自动站 2007~2010 年气温逐时观测资料研究北京地区气温变化特征。

2.2 方法

聚类分析是一种无导师的多元统计分析方法,通过把一个没有类别标记的样本集按某种相似性划分为若干类,使相似的样本尽可能的归为一类,而将不相似的样本尽量划分到不同的类中,类内样本距离尽量小,而不同类之间的距离尽可能大。该方法已广泛应用于气候区划、模式识别、数据分析、图像处理等方面。本文采用 K 均值快速聚类方法对 123 个自动气象站进行分类。 K 均值算法的工作过程说明如下:首先从 n 个数据对象任意选择 k 个对象作为初始聚类中心,而对于所剩下的其它对象,则根据它们与这些聚类中心的相似度(距离),分别将它们分配给与其最相似的(聚类中心所代表的)聚类。然后,再计算每个所获新聚类的聚类中

心(该聚类中所有对象的均值),不断重复这一过程直到标准测度函数开始收敛为止。一般都采用均方差作为标准测度函数,具体定义如下:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2, \quad (1)$$

其中, E 为数据库中所有对象的均方差之和, p 为代表对象的空間中的一个点, m_i 为聚类 C_i 的均值(p 和 m_i 均是多维的)。公式(1)所示的聚类标准,旨在使所获得的 k 个聚类具有各聚类本身尽可能的紧凑,而各聚类之间尽可能的分开的特点。

在研究北京地区热岛效应时取分类为城区的所有站点平均气温 T_u 与分类为郊区的所有站点平均气温 T_s 之差代表北京地区城市热岛强度(Urban heat island intensity, UHII),即

$$UHII = T_u - T_s.$$

3 结果与分析

3.1 北京地区温度的分区

根据北京地区的城市发展和地理特点,将北京地区分为4个温度分区(图1),可以看出, K 均值聚类分析方法很清晰地将自动站进行了分类,经过与自动站实际地形和下垫面类型的分析,分类结果较为合理,避免了在城郊站点分类方面的主观影响。在所获得的分类中,“1”代表西部和北部山区站

(简称西部和北部山区),有15个站,“2”代表包围在城区周边的郊区和平原地区站(简称郊区),有50个站,“3”代表城区,有38个站,“4”代表西南部和东北部山区(简称西南和东北部山区),有20个站。可以看出, K 均值分类在对123个站分类时,能够很好地体现出地形和下垫面的影响。此分类也为进一步分析北京地区的细致的气温变化特征奠定了基础。

3.2 不同分区温度变化特征

图2所示分别为2007~2010年不同分区平均每月逐小时的平均温度分布状况。可以看出,对于不同区域,均表现出相似的变化特征,夏季和白天的温度较高,而冬季和夜间的温度较低,高温多出现在15:00(北京时间,下同),低温多出现在凌晨05:00。城区和郊区最高温度可达30℃,而郊区的最高气温平均则为27℃,城区在冬季的夜间最低气温平均约为-3~0℃左右,郊区则为-6~3℃,西南部和东北部山区为-9~-6℃,西部和北部山区为-12~9℃。

图3为不同分区气温的年变化和日变化曲线,所示结果同图2类似。同时可以看出,几个温度分区差别最大的时刻多出现在夜间,城区比郊区在夜间的温度高达2℃,较西南部和东北部山区高4℃,较西部和北部山区高6℃。而在白天不同分区的温度差异逐渐减小,15:00左右,城区温度比郊区高

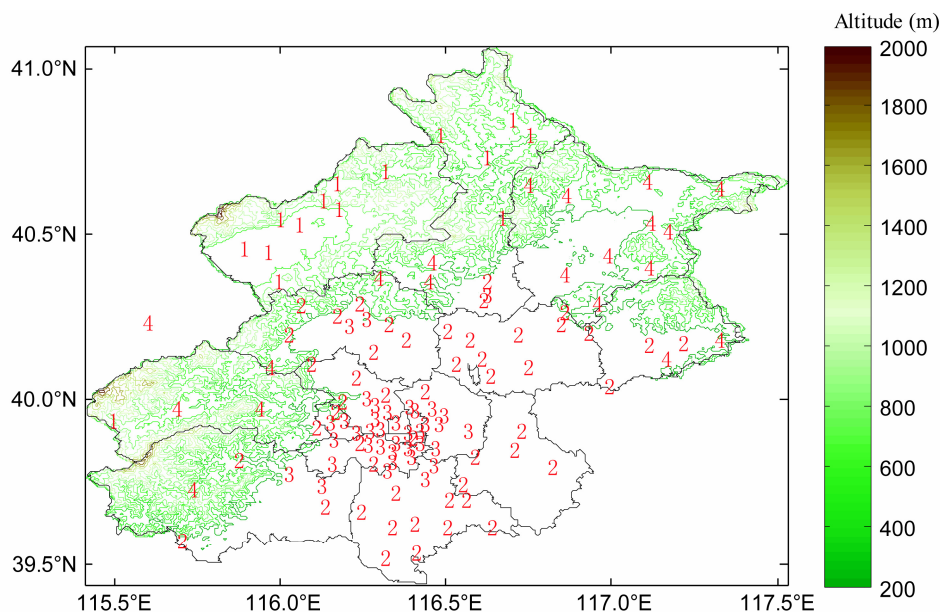


图1 应用 K 均值聚类分析方法对北京地区站点的气温分区(1代表西部和北部山区站;2代表郊区站;3代表城区站;4代表西南部和东北部山区站)

Fig. 1 Air temperature zones in Beijing area by using K -means clustering methods (1—West and north mountainous area stations; 2—Suburban stations; 3—Urban stations; 4—Southwest and northeast mountainous area stations)

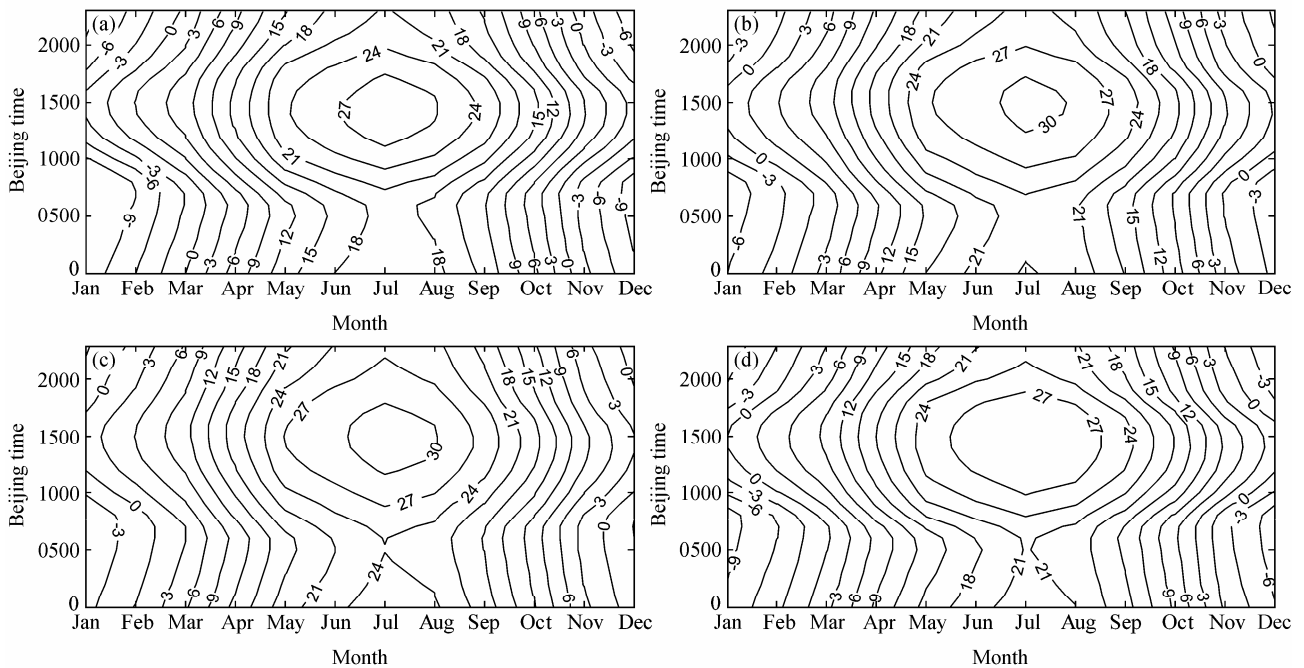


图2 北京地区不同分区气温随时间变化: (a) 西部和北部山区; (b) 郊区; (c) 城区; (d) 西南部和东北部山区

Fig. 2 Air temperature variations with time in four temperature zones of Beijing area: (a) West and north mountainous areas; (b) suburban; (c) urban; (d) southwest and northeast mountainous areas

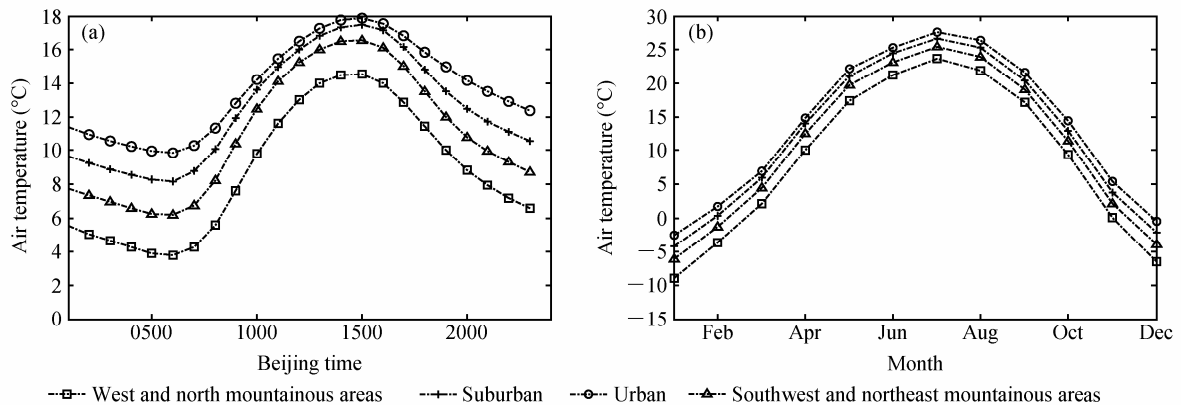


图3 北京地区不同分区气温 (a) 日变化和 (b) 年变化

Fig. 3 (a) Diurnal variations and (b) annual variations of air temperature with time in four temperature zones of Beijing area

不到 1°C , 比西南部和东北部山区高 2°C 左右, 而比西部和北部山区高 4°C 左右。对于一年中不同月份的各时刻的温度, 各分区之间的差异则表现并不显著。

3.3 北京地区不同温度区日较差变化特征

日较差 (Diurnal temperature range, DTR) 变化的最直接原因是日最高、最低气温变化不一致, 而且它比平均气温变化来说更能体现城市化对城市气候的影响。影响日较差变化的因素包括自然因素和人类活动因素, 如太阳辐射、云、降水、水汽含量等自然因素, 城市人为热、城市下垫面和大气气溶胶等人类因素, 都会对日较差造成共同影响。由

图4可知, 北京地区日较差不同温度分区具有大致相同的变化趋势, 在5月日较差最大, 而1月、7月和12月多数分区日较差较小, 对于受城市化与人类活动影响较小的西部和北部山区、西南部和东北部山区, 其日较差最大, 可达到 12°C 以上, 而其日较差最小为 9°C 左右。对于城区, 其日较差比其它地区小, 且变化趋势趋于平缓, 其最大达到 10°C , 其最低可达 6°C 左右, 而对于郊区, 其日较差则介于城区和山区之间, 其最大为 11°C , 最小为 8°C 。因温室气体的排放对最高气温和最低气温的影响程度相近, 对日较差的影响很小, 因此在北京地区大的气候背景下, 造成几个温度分区日较差

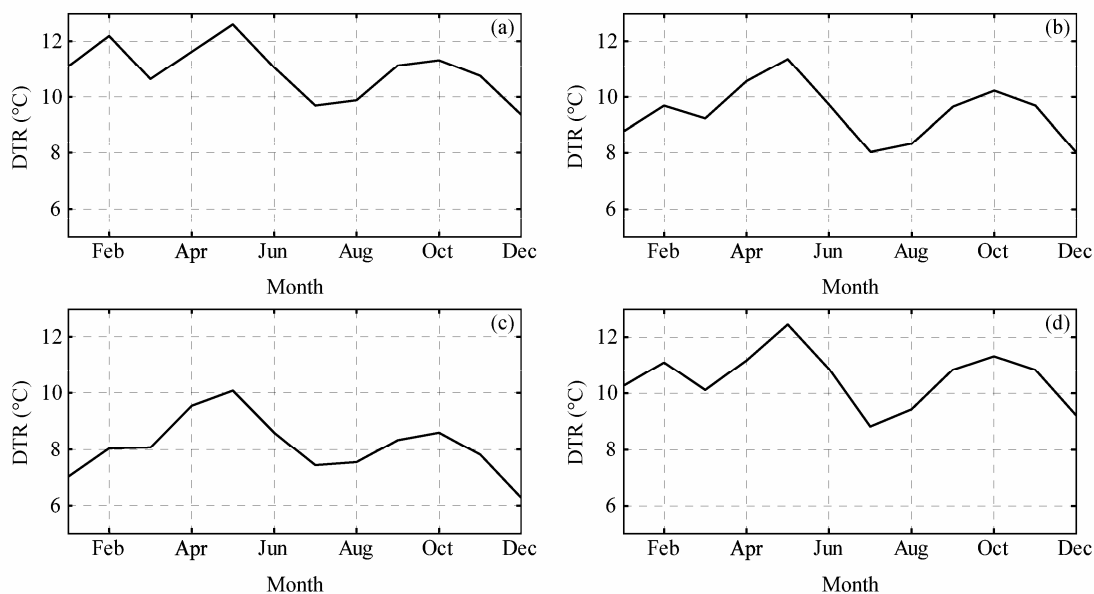


图4 同图2, 但为日较差年变化

Fig. 4 Same as Fig. 2, bur for annual variation of diurnal temperature range

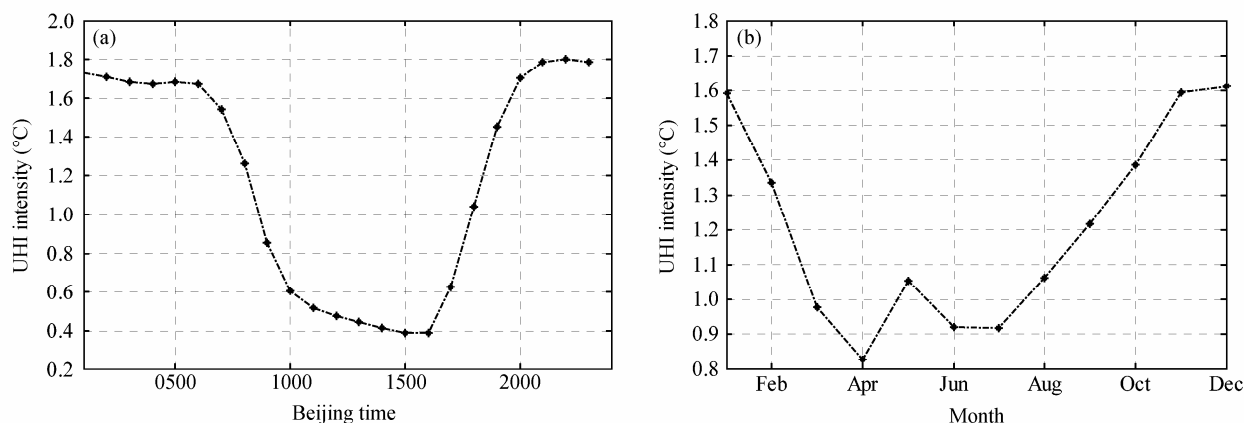


图5 北京地区热岛强度的 (a) 日变化和 (b) 年变化

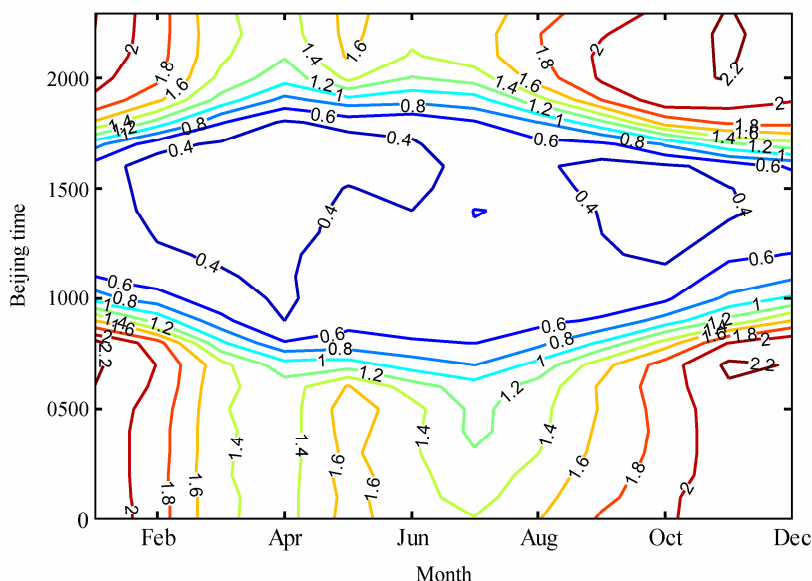
Fig. 5 (a) Diurnal variation and (b) annual variation of urban heat island intensity (UHII) with time in Beijing area

不同的原因主要在于城市化的影响, 由于城区不透水层一般具有低反射率和高热容, 白天通过吸收太阳辐射储存较多的热量, 这些热量在夜间释放使得日最低气温上升, 导致日较差降低, 这也与许多研究的结果相同, 即城市化导致了日较差的显著变化。

3.4 北京地区热岛强度变化特征

图5为北京地区2007~2010年逐时平均热岛强度随时间变化曲线, 可以看出, 此处所得热岛强度并没有以往研究中的大, 大约为 $0.4\sim 1.9^{\circ}\text{C}$ 左右, 原因之一可能在于所选的城区和郊区站点有关, 以往研究多通过主观选取个别站作为城区或郊区的代表站, 所得结果具有较强的典型性。而本文采用

聚类分析方法得到的站点, 从站点数量和站点分布范围都比以往研究更为客观和全面, 二是近年来北京地区郊区的城市化导致城区与郊区的差异越来越小, 温差也有所减小, 三在于以往平均温度取值多为一天的4个时刻, 即02:00、08:00、14:00与20:00。从图5日变化曲线可以看出, 02:00与20:00的热岛强度几乎为一日中热岛强度最大时刻, 08:00热岛强度也较大, 而只有14:00的热岛强度较小, 因此通过4个时次平均计算的平均气温热岛强度也会较大。热岛效应日变化较大的原因可能与太阳辐射、城区与郊区的下垫面性质、空气污染和人为热排放等有关。日落后, 郊区空旷, 净辐射转为负值有效辐射逐渐增强, 空气层结稳定, 整个下垫面处于散

图6 北京地区热岛强度(单位: $^{\circ}\text{C}$) 随时间变化Fig. 6 UHII ($^{\circ}\text{C}$) variation with time in Beijing area

热状态,降温率变大,而城区下垫面温度高,白天积蓄的热量多,地面长波辐射和湍流显热提供给大气的热量较多,晚间风速又比郊区小,不利于热量向外扩散,使得城市温度还要持续一段时间才能下降。热岛强度的年变化曲线表明,城市热岛效应每个月都存在,冬季是北京地区热岛效应最强季节,而4~7月则是热岛效应最小一段时期,但在5月则表现出一个小的峰值,其原因与副高、季风、雨季的季节变化等影响均有密切关系。

图6为北京地区2007~2010年城区与郊区温度差值(热岛强度)随时间变化的等值线图,与图5所示规律相同,热岛强度在4月白天为最低,大约为 0.4°C 左右,其在夜间的热岛强度约为 1.4°C 。而在整个白天期间,不论任何季节,热岛强度均较小,在 $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 范围内,而在冬季夜间,热岛强度最大可达 2.2°C 左右,夏季7月也是热岛强度的一个低值区,热岛强度在夜间在 $1.4\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ 之间,而在白天其热岛强度反而较其它季节为高,为 $0.4\sim 0.6^{\circ}\text{C}$,这是一个值得关注的现象,该结果与王喜全等(2006)的研究结果也较为吻合,而其它季节的白天热岛强度则在 0.4°C 范围内。

4 结论

(1)应用 K 均值聚类分析方法将北京地区分为4个温度区,经过与自动站地形和下垫面类型的分

析,证明 K 均值分类能够很好地将城区、郊区、山区站点进行分类,分类结果较为合理,避免了在城郊站点分类方面的主观影响。

(2)不同分区逐小时的平均温度变化表明,不同区域具有相似的变化特征,夏季和白天的温度较高,而冬季和夜间的温度较低,高温多出现在15:00,低温多出现在凌晨05:00。不同分区温度差别最大的时刻多出现在夜间,温度差异最小时刻在白天。

(3)北京地区日较差不同温度分区具有大致相同的变化趋势,在5月日较差最大,而1月、7月和12月日较差最小,对于受城市化与人类活动影响较小的远山区和近山区,其日较差最大。对于城区,其日较差比其它地区小,且变化趋势趋于平缓,而对于郊区,其日较差介于城区和山区之间。

(4)逐时平均热岛强度日变化表明,热岛强度最大时刻为夜间和凌晨,白天尤其是午后热岛强度最低。热岛强度的年变化曲线表明,热岛效应每个月都存在,冬季热岛效应最强,而4~7月热岛效应较弱,5月热岛效应则表现出一个小的峰值。夏季7月也是热岛强度的一个低值区,热岛强度在夜间在 $1.4\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ 之间,而在白天其热岛强度反而较其它季节为高。

(5)因本文所采用的自动站观测数据时间序列还较短,只是从气温、热岛强度、日较差的年变化、日变化等方面进行了分析,如果结合长期的逐时观

测的历史数据分析, 对各季节进行细致分析, 则会得到更多具有价值的结果。

参考文献 (References)

- Bürger G. 2010. Clustering climate reconstructions [J]. *Climate of the Past Discussions*, 6: 659–679.
- Dezfuli A K. 2011. Spatio-temporal variability of seasonal rainfall in western equatorial Africa [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 104 (1–2): 57–69.
- Liu W, Ji C, Zhong J, et al. 2007. Temporal characteristics of the Beijing urban heat island [J]. *Theor. Appl. Climatol.*, 87 (1–4): 213–221.
- Lund R, Li B. 2009. Revisiting climate region definitions via clustering [J]. *J. Climate*, 22 (7): 1787–1800.
- Rizwan A M, Dennis Y C L, Liu C H. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 20 (1): 120–128.
- 王喜全, 王自发, 郭虎. 2006. 北京“城市热岛”效应现状及特征 [J]. *气候与环境研究*, 11 (5): 627–636. Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu. 2006. The study of the urban heat island in Beijing city [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (5): 627–636.
- 王迎春, 郑大玮, 李青春. 2009. 城市气象灾害 [M]. 北京: 气象出版社, 43pp. Wang Yingchun, Zheng Dawei, Li Qingchun. 2009. *Urban Meteorological Disasters (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 43pp.
- 谢庄, 崔继良, 陈大刚, 等. 2006. 北京城市热岛效应的昼夜变化特征分析 [J]. *气候与环境研究*, 11 (1): 69–75. Xie Zhuang, Cui Jiliang, Chen Dagang, et al. 2006. The annual, seasonal and monthly characteristics of diurnal variation of urban heat island intensity in Beijing [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (1): 69–75.
- 徐兆生, 沈建柱, 王德辉. 1987. 北京城市热状况及热岛形成原因的探讨 [J]. *地理研究*, 6 (3): 17–25. Xu Zhaosheng, Shen Jianzhu, Wang Dehui. 1987. An analysis of the temperature situation and the causes of urban heat island in Beijing [J]. *Geographical Research (in Chinese)*, 6 (3): 17–25.
- 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.
- Yow D M. 2007. Urban heat islands: Observations, impacts, and adaptation [J]. *Geography Compass*, 1 (6): 1227–1251.
- 张光智, 徐祥德, 王继志, 等. 2002. 北京及周边地区城市尺度热岛特征及其演变 [J]. *应用气象学报*, 13 (增刊): 43–50. Zhang Guangzhi, Xu Xiangde, Wang Jizhi, et al. 2002. A study of characteristics and evolution of urban heat island over Beijing and its surrounding area [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 13 (S1): 43–50.
- 张景哲, 刘启明. 1988. 北京城市气温与下垫面结构关系的时相变化 [J]. *地理学报*, 43 (2): 159–168. Zhang Jingzhe, Liu Qiming. 1998. Temporal variations in the relationship between urban temperature and the structure of urban surface in Beijing [J]. *Acta Geographica Sinica (in Chinese)*, 43 (2): 159–168.