

李丽光,梁志兵,王宏博,等. 2011. 不同天气条件下沈阳城市热岛特征[J]. 大气科学学报,34(1):66-73.

Li Li-guang, Liang Zhi-bing, Wang Hong-bo, et al. 2011. Urban heat island characteristics in Shenyang under different weather conditions[J]. Trans Atmos Sci, 34(1):66-73.

## 不同天气条件下沈阳城市热岛特征

李丽光<sup>1</sup>, 梁志兵<sup>2</sup>, 王宏博<sup>1</sup>, 李昌杰<sup>1</sup>, 王笑影<sup>1</sup>, 赵先丽<sup>1</sup>

(1. 中国气象局 沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 喀左县气象局, 辽宁 喀左 122300)

**摘要:** 利用1992—2008年沈阳站和新城子站逐日4个时次的平均气温、平均风速、降水量、云量和能见度资料, 对不同天气条件下沈阳的城市热岛效应进行研究。结果表明: 除雾和浓雾天气条件下, 沈阳城市热岛强度在08时最弱外, 其他天气条件下均表现为20时最强, 14时最弱; 不同天气条件下, 夜间城市热岛强度均高于白天; 晴朗无风条件下昼夜城市热岛强度差最大, 为0.73℃。四季相比, 除雾条件下秋季城市热岛强度最强外, 其他天气条件下均为冬季最强; 除大雨条件下春季城市热岛强度最弱外, 其他条件下均为夏季最弱。沈阳城市热岛强度随降水量的增加而减弱, 随能见度的降低而减弱, 随着风速的增加而减弱。白天和夜间两个时次的差值表现为, 1~3级风夜间变化幅度大于白天, 0级和4~5级风速有相反规律, 其他天气条件下无明显规律。

**关键词:** 城市热岛; 雾; 降水; 风速

**中图分类号:** X16    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1674-7097(2011)01-0066-08

## Urban heat island characteristics in Shenyang under different weather conditions

LI Li-guang<sup>1</sup>, LIANG Zhi-bing<sup>2</sup>, WANG Hong-bo<sup>1</sup>, LI Chang-jie<sup>1</sup>,  
WANG Xiao-ying<sup>1</sup>, ZHAO Xian-li<sup>1</sup>

(1. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110016, China;

2. Kazuo Meteorological Bureau, Kazuo 122300, China)

**Abstract:** Based on the mean air temperature, mean wind speed, precipitation, cloud cover and visibility data at Shengyang and Xinchengzi stations at 02:00, 08:00, 14:00 and 20:00 BST from 1992 to 2008, the effect of urban heat island (UHI) was analyzed under different weather conditions. Results show that UHI intensity in Shenyang region is the lowest at 08:00 BST under light and heavy fog conditions, while it is the highest at 20:00 BST and the lowest at 14:00 BST under other weather conditions. UHI intensity is higher in night than in daytime under different weather conditions. Difference of UHI intensity between nighttime and daytime is the largest under the clear and calm wind condition, with the value of 0.73℃. Under the light fog condition, UHI intensity is the strongest in autumn, but under other weather conditions, it is the strongest in winter. Under the heavy rain condition, UHI intensity is the lowest in spring, and under the other precipitation conditions, it is the lowest in summer. UHI intensity decreases with the precipitation increase, wind speed increases, and visibility decrease. The UHI intensity difference ( $UHI_{20:00} - UHI_{02:00}$ ) is larger in night than that ( $UHI_{08:00} - UHI_{14:00}$ ) in daytime under the condition from the first to third wind levels, and the rule is contrary under the other wind levels. There are not obvious rules under other weather conditions.

**Key words:** urban heat island; fog; precipitation; wind speed

收稿日期: 2010-03-26; 改回日期: 2010-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40605007)

作者简介: 李丽光(1973—), 女, 辽宁朝阳人, 博士, 副研究员, 研究方向为城市热环境、生态遥感及气候变化, llg7308@163.com.

## 0 引言

在全球气候变暖的大背景下,人类活动对气候变化的影响越来越受到重视。由于人类活动对气候的影响在城市中表现最为突出(黄雅丽等,2008),因此,城市热岛效应成为气候研究关注的重点。城市热岛效应的研究始于19世纪初,在方法上已经从最初的城郊气温对比法(Bejarán and Camilloni, 2003;林学椿和于淑秋,2005;季崇萍等,2006)发展到利用便携式温度测定仪定点观测(焦绪娟等,2007;倪黎等,2007)、通过遥感影像反演温度(Aniello et al., 1995; Streutker, 2002; 江樟焰等,2006;杨英宝和江南,2009;杨沈斌等,2010;)以及利用气象模式模拟(Oke, 1982; Atkinson, 2003; Priyadarsini et al., 2008)等。在城市热岛分布特征的研究中,从最初的日、月、季、年及年代等时间分布特征(Ackerman, 1985; Park, 1986; Jauregui, 1997; Kazimierz and Krzysztof, 1999; Montavez et al., 2000; 石春娥等,2005;郑祚芳等,2006;郝丽萍等,2007;戎春波等,2009),发展到利用气象铁塔获取的资料进行垂直方向的城市热岛分布特征(李兴荣等,2008)以及利用遥感资料进行的空间特征分析(Aniello et al., 1995; Streutker, 2002; 张佳华等,2005;王桂玲等,2007;黄一凡等,2009;朱炎和朱莲芳,2009),尤其是自2009年以来,利用中国气象局加密自动站的气象资料进行城市热岛效应的研究也见报道(王清川等,2009a,2009b;余永江等,2009)。同时,利用气象模式对城市热岛特征进行模拟(Oke, 1981; Priyadarsini et al., 2008),并分析其形成机理(李兴荣等,2007)。随着对城市热岛效应研究的深入,各种减缓城市热岛的措施也被提出,如增加城市绿地面积(周红妹等,2002;王勇等,2008; Ihara, et al., 2008; 唐罗忠等,2009)、减少人为热排放(肖荣波等,2007)以及合理规划城市布局(Bottyan and Unger, 2003; Sasaki et al., 2008)等。此外,大量研究探讨了城市化对城市热岛效应的影响(丁淑娟等,2008;赵志敏,2008)。

随着中国气象局加密自动站的建设,使得针对不同天气条件下城市热岛特征的研究成为可能,因此相关报道增加。如王清川等(2009a)对廊坊城市热岛研究表明,晴朗无风时城市平均热岛强度最大,为 $1.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,阴雨天气下平均热岛强度最小,仅为 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。余永江等(2009)指出,福州城市热岛强度随着降水量的增加逐步减弱,风速在 $1\text{ m/s}$ 左右时

最有利于福州城市热岛的维持与发展,城市热岛强度也最大;随着风速增大,城市热岛强度减弱,风速超过 $7\text{ m/s}$ 时城市热岛很难再维持。

目前对沈阳地区城市热岛的研究,主要是利用城郊温度差法进行城市热岛特征分析,其中以沈阳气象站代表城市站,而以4个郊县气象站的平均气温代表郊区站(李丽光等,2009)。也有利用NOAA遥感资料进行城市热岛特征分析的报道(纪瑞鹏等,2000)。由于沈阳地区4个郊县站距城市站均较远,制约着不同天气条件下沈阳城市热岛特征的研究。因此,本文利用长时间序列气候资料,以相距 $34.1\text{ km}$ 的两个气象站分别代表城郊气温,对不同天气条件下的城市热岛效应特征进行分析,为城市精细天气预报以及更好地研究城市热岛效应和合理规划城市布局提供科学依据。

## 1 资料与不同天气的定义

### 1.1 站点的选择

沈阳位于中国东北地区南部、辽宁省中部,属温带半湿润大陆性气候,降水集中,温差较大,四季分明,年平均气温为 $6.7\sim 8.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量为 $600\sim 800\text{ mm}$ ,年无霜期为 $150\sim 170\text{ d}$ (张云海等,2008)。沈阳市及周边地区时间序列超过 $10\text{ a}$ 的气象站共有6个,位于市区内的沈阳站可代表城市气象站,其余5站中,根据距沈阳站的距离、建站时间、站点位置(表1和图1)以及沈阳行政分区,确定新城子站代表郊区气象站。

### 1.2 资料与方法

选取1992—2008年沈阳站和新城子站每日4个时次的气温、风速、降水量、云量和能见度资料。所有资料均来自沈阳区域气候中心资料室。沈阳站代表城市,新城子站代表郊区。城市热岛强度是指城市与郊区气温的差值( $\Delta T_{\text{UHI}} = T_{\text{沈阳}} - T_{\text{新城子}}$ )。

### 1.3 不同天气定义

根据《地面气象观测规范》(中国气象局,2003)规定,晴朗无风天气是指总云量少于两成、无低云、风速小于等于 $2\text{ m/s}$ 的天气。降水天气是指08时—次日08时降水量大于等于 $0.1\text{ mm}$ 的天气,按降水量( $r$ )大小可分为小雨( $0.1\text{ mm} \leq r \leq 5\text{ mm}$ ),中雨( $5\text{ mm} < r \leq 25\text{ mm}$ ),大雨( $25\text{ mm} < r \leq 50\text{ mm}$ )和暴雨( $r > 50\text{ mm}$ )。雾日是指水平能见度小于等于 $1\text{ km}$ 的天气,根据水平能见度可分为强浓雾(能见度小于等于 $0.05\text{ km}$ )、浓雾(能见度为 $0.05\sim 0.5\text{ km}$ )和雾(能见度为 $0.5\sim 1.0\text{ km}$ )。根据日平

表 1 沈阳地区气象站的基本状况

Table 1 Basic information of meteorological stations in Shenyang region

站名	经度/°E	纬度/°N	海拔高度/m	距沈阳站/km	站点类型	站点位置	建站年份
沈阳	123.45	41.73	49.0		观象台	沈阳市区内	1951
新民	122.80	41.98	30.9	60.7	一级	县城内,偏城边	1959
法库	123.40	42.50	97.8	85.8	二级	县城内,偏城边	1957
康平	123.33	42.75	118.6	114.0	二级	县城内,偏城边	1959
辽中	122.72	41.52	12.2	65.1	二级	县城内,偏城边	1957
新城子	123.53	42.03	61.6	34.1	二级	沈阳城外,近郊	1992

均风速,将风力分为 7 级,即 0 级(风速为 0~0.2 m/s),1 级(风速为 0.3~1.5 m/s),2 级(风速为 1.6~3.3 m/s),3 级(风速为 3.4~5.4 m/s),4 级(风速为 5.5~7.9 m/s),5 级(风速为 8.0~10.7 m/s)和 6 级及 6 级以上(风速大于 10.8 m/s)。在沈阳站和新城子站两站中只要有一个站符合上述的天气条件,就定义为一个这种天气条件进行统计,最后统计出不同天气条件下的日数,并计算不同天气条件下的城市热岛强度,同时在不同天气条件下,按春、夏、秋、冬季分别进行城市热岛强度的统计。四季的划分标准为,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—翌年 2 月为冬季。

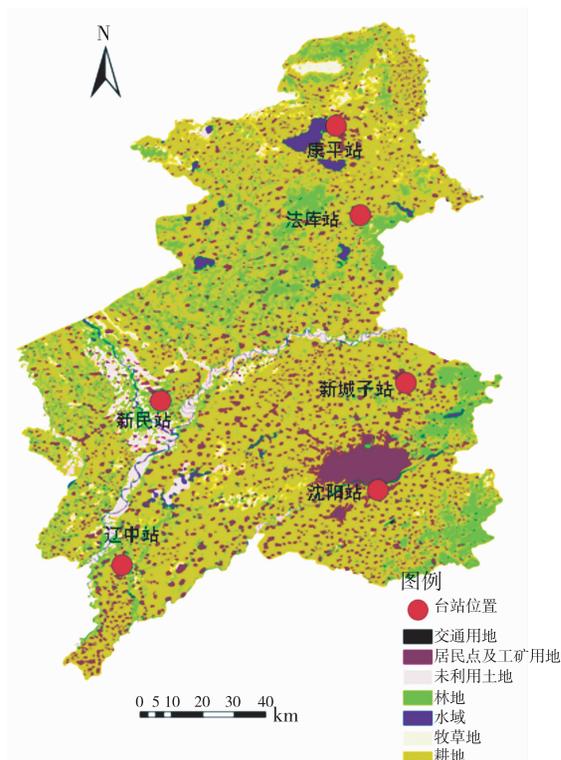


图 1 沈阳地区气象站分布

Fig. 1 Distribution of weather stations in Shenyang region

## 2 结果分析

### 2.1 城市热岛强度的一般特征

1992 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日,合计总样本数为 6 210 个。沈阳城市热岛强度从 02 时到 08 时再到 14 时呈递减趋势,而后上升(图 2)。四个时次的情况相比可见,20 时城市热岛强度最强(0.99 °C),02 时城市热岛强度次强,14 时城市热岛强度最弱(0.30 °C),08 时城市热岛强度次弱。夜间城市热岛强度(02 时和 20 时平均,下同)高于白天(08 时和 14 时平均,下同),这与北京(张佳华等,2005;郑祚芳等,2006;Liu et al.,2007;李兴荣等,2008)、郑州(郑敬刚等,2005)等地的研究结论一致。沈阳夜昼城市热岛强度差为 0.41 °C(表 2)。夜间两个时次城市热岛强度差为 0.37 °C,而白天两个时次城市热岛强度差为 0.19 °C,表明夜间城市热岛强度变化较大。

四季相比(表 3)可知,城市热岛强度分别以冬、秋、春、夏的顺序递减,这与已有的研究结论(孙石阳等,2007;黄雅丽等,2008)一致。沈阳四季城市热岛强度以冬季最强(0.91 °C),夏季最弱(0.41 °C)。日内四个时次城市热岛强度相比,春、夏、秋、

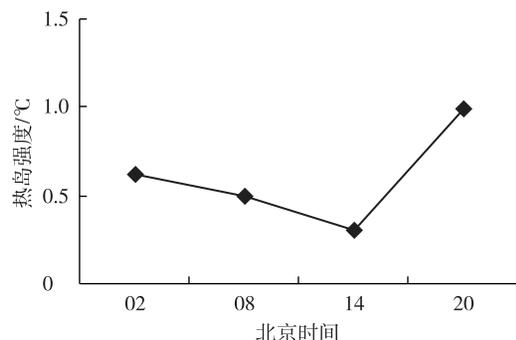


图 2 1992—2008 年沈阳城市热岛强度的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of UHI intensity in Shenyang from 1992 to 2008

表 2 不同天气条件下城市热岛强度的昼夜变化

Table 2 Diurnal variation of UHI intensity under different weather conditions  $^{\circ}\text{C}$ 

天气类型	夜间热岛强度	白天热岛强度	昼夜热岛强度差
所有天气	0.81	0.40	0.41
晴朗无风	1.07	0.34	0.73
小雨	0.79	0.42	0.37
中雨	0.63	0.31	0.32
大雨	0.52	0.18	0.33
暴雨	0.45	0.31	0.14
雾	0.79	0.59	0.40
浓雾	0.70	0.33	0.37
0 级风	1.08	0.59	0.49
1 级风	0.95	0.38	0.57
2 级风	0.78	0.41	0.37
3 级风	0.64	0.40	0.24
4 级风	0.63	0.39	0.24
5 级风	0.63	0.22	0.41

冬季均表现为 14 时最低,20 时最高,其中 14 时最低值为春季的  $0.17^{\circ}\text{C}$ ,20 时最高值为冬季的  $1.30^{\circ}\text{C}$ 。夜间两个时次的差值以秋季最大( $0.64^{\circ}\text{C}$ ),春季最小( $0.22^{\circ}\text{C}$ ),而白天两个时次的差值以冬季最大( $0.28^{\circ}\text{C}$ ),夏季最小( $0.13^{\circ}\text{C}$ )。

表 3 不同天气条件下四季城市热岛强度

Table 3 Seasonal variation of UHI intensity under different weather conditions  $^{\circ}\text{C}$ 

天气类型	春季	夏季	秋季	冬季
所有天气	0.49	0.41	0.60	0.91
晴朗无风	0.64	0.48	0.55	0.82
小雨	0.47	0.37	0.71	1.35
中雨	0.42	0.39	0.67	0.91
大雨	0.15	0.39	0.32	—
雾	0.24	0.13	1.10	0.47
浓雾	0.05	0.21	0.31	0.99
0 级风	0.79	0.09	0.93	1.08
1 级风	0.45	0.38	0.60	1.04
2 级风	0.51	0.45	0.59	0.88
3 级风	0.50	0.36	0.60	0.63
4 级风	0.42	0.21	0.74	0.85
5 级风	0.37	—	—	—

注:—表示无样本。

## 2.2 不同天气条件下的城市热岛特征

### 2.2.1 晴朗无风

晴朗无风天气条件的样本数为 704 个。由图 3a 可见,城市热岛强度从 02 时到 20 时呈先降后升的趋势,14 时城市热岛强度最弱( $0.32^{\circ}\text{C}$ ),20 时最强( $1.24^{\circ}\text{C}$ )。夜间城市热岛强度高于白天,其城市热岛强度差为  $0.73^{\circ}\text{C}$ (表 2),远高于所有天气类型统计中的差值  $0.41^{\circ}\text{C}$ ,表明晴朗无风的天气容易形成城市热岛,其强度较强。夜昼城市热岛强度差较大,原因可能是白天由于太阳辐射的存在,使得城区和郊区热量收支相差不大,因此城市热岛强度变化不大;夜间,由于城市下垫面导热率和热容量比郊区大,蓄热能力比郊区高,在日落后郊区因白天下垫面储热量小,通过长波净辐射,下垫面温度和近地层气温下降速度较快,而城区下垫面温度和近地面气温的下降速度比较慢;此外,由于城市中建筑物参差错落,这种具有“立体”特征的建筑群在白天可通过墙壁之间的多次反射和吸收,储存更多的太阳能量。在夜间的能量交换中,市区除了有来自大气的逆辐射,还有来自墙壁之间的向下长波辐射(周淑贞和束炯,1994),从而造成夜间城郊温差加大,城市热岛强度增强。夜间两个时次城市热岛强度差为  $0.35^{\circ}\text{C}$ ,而白天两个时次相差仅为  $0.03^{\circ}\text{C}$ 。城市热岛强度的变化幅度在晴朗无风时呈现昼弱夜强、14 时最低的特点,与 Oke(1981)认为的“理想状态”下城市热岛强度的昼夜变化特征是一致的。

冬季晴朗无风的样本最多,达 53.3%,而夏季仅为 4.3%。四季城市热岛强度以冬、春、秋、夏的顺序递减(表 3),冬季最强( $0.82^{\circ}\text{C}$ ),夏季最弱( $0.48^{\circ}\text{C}$ )。这可能与沈阳冬季取暖有关,由于取暖产生了大量的人为热,并且在城区不易散失,从而造成冬季城郊温差加大,城市热岛强度增强。日内四个时次城市热岛强度相比,春夏秋冬四季均表现为 20 时最高,而最低值在冬春为 14 时,在夏秋则为 08 时,尤其是秋季 08 时甚至表现为冷岛效应(即城市气温低于郊区气温)。其中 20 时最高值为秋季的  $1.40^{\circ}\text{C}$ ,最低值为秋季 08 时的  $-0.08^{\circ}\text{C}$ 。夜间两个时次的差值以秋季最大( $0.73^{\circ}\text{C}$ )、冬季最小( $0.13^{\circ}\text{C}$ ),而白天两个时次的差值在秋季最大( $-0.30^{\circ}\text{C}$ )、春季最小( $0.03^{\circ}\text{C}$ )。

### 2.2.2 降水

降水天气条件的样本数为 1 638 个,其中小雨、中雨、大雨和暴雨的样本数分别为 1 417 个、131 个、67 个和 23 个。4 种降水类型的城市热岛强度变化

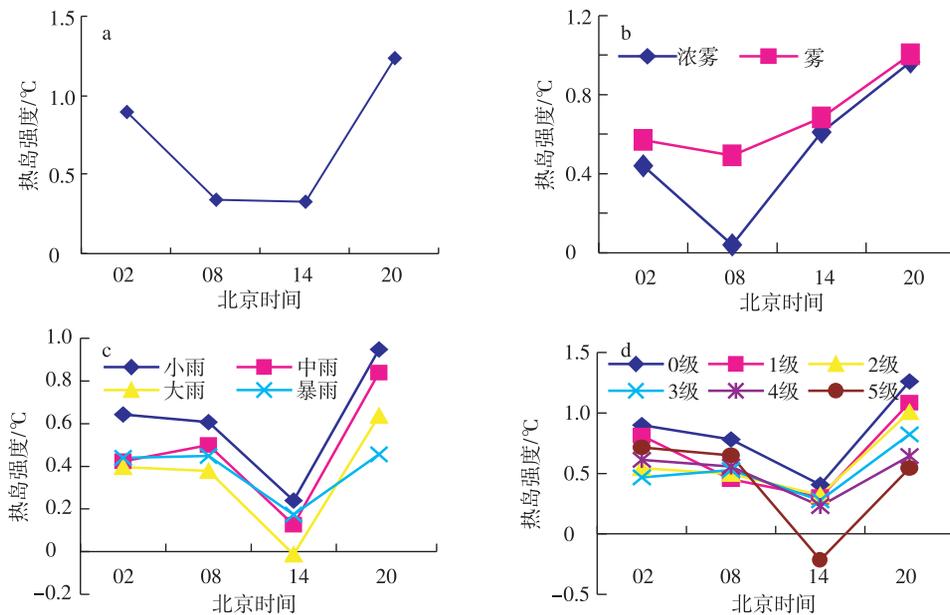


图 3 不同天气条件下沈阳地区城市热岛强度的日变化 a. 晴朗无风; b. 不同强度雾; c. 不同雨强; d. 不同风力

Fig. 3 Diurnal variation of UHI intensity under different weather conditions in Shenyang region a. clear and calm wind; b. different fog intensity; c. different rainfall intensity; d. different wind force

均表现为从 02 时到 08 时变化不大,但 14 时城市热岛强度明显降低,然后再回升,至 20 时达最强(图 3c),暴雨的变化规律与其他三种类型有所差异,这可能与暴雨持续时间短、强度大有关。研究表明,降水分布、降水起止时间和局地强对流降水等因素对城市热岛效应影响较大(王清川等,2009a)。随着降水量的增加,城市热岛强度逐渐减弱(图 3),表明降水对城市热岛有明显的减弱作用,余永江等(2009)也得出相似结论。其原因可能是降水时大量的云阻挡了太阳直接辐射,在仅有散射辐射时,城郊下垫面气温差别不大,所以城市热岛强度较低。昼夜城市热岛强度相比,4 种降水类型均为夜间城市热岛强度大,昼夜差大雨时最小,小雨时最大(表 2)。夜间两个时次城市热岛强度差以中雨最大(0.42 °C),然后依次为小雨(0.30 °C)、大雨(0.24 °C),暴雨最小(0.02 °C)。白天两个时次城市热岛强度差以大雨最大(0.39 °C),中雨和小雨均为 0.37 °C,暴雨最小(0.27 °C)。

小雨、中雨和大雨均在夏季样本最多,分别为 38.5%、53.4% 和 76.1%,其次是春秋季节。四季城市热岛强度相比(表 3),小雨和中雨均以冬、秋、春、夏的顺序递减,而暴雨则为夏季最强,然后是秋春季,冬季无样本。日内四个时次城市热岛强度相比,无论小雨、中雨还是大雨,四季均表现为 20 时最高,14 时最低。其中 20 时最高值的小雨和中雨均出现

在冬季,而大雨为夏季,最低值的小雨和大雨为夏季,而中雨为夏季。小雨时,夜间两个时次的差值以秋季最大(0.54 °C)、冬季最小(0.19 °C),而白天两个时次的差值以冬季最大(1.02 °C)、夏季最小(0.13 °C);中雨时,夜间两个时次的差值以冬季最大(0.58 °C)、春季最小(0.24 °C),而白天两个时次的差值以冬季最大(1.58 °C)、夏季最小(0.32 °C);大雨时,夜间两个时次的差值以夏季最大(0.31 °C),白天两个时次的差值以春季最大(0.47 °C)。

### 2.2.3 雾

雾日的样本数为 155 个,由于强浓雾样本只有 3 个,无统计学意义,因此未对其规律进行分析。城市热岛强度在 08 时最弱(图 3b),20 时最强,尤其是浓雾条件下,08 时城市热岛强度低至 0.04 °C,这可能与雾出现和消散的时间有关。研究表明,沈阳主要为辐射雾,69% 的雾出现在 02—08 时(邢江月等,2009)。雾出现时,太阳辐射减弱,气温明显下降,城郊气温差降低,城市热岛强度减弱。随着雾的强度变大,城市热岛强度逐渐减弱,表明雾对热岛存在明显的减弱作用。这是因为雾的存在,阻挡了太阳直接辐射,在仅有散射辐射时,城郊下垫面温差减小,因此城市热岛强度减弱。在雾和浓雾天气条件下,夜间城市热岛强度均高于白天,昼夜城市热岛强度差分别为 0.37 °C 和 0.40 °C(表 2);夜间两个时

次的差分别为 0.53 °C 和 0.43 °C,白天两个时次的差分别为 -0.57 °C 和 0.20 °C。

秋冬季雾日样本较多,雾和浓雾在秋冬季分别为 77.9% 和 69.7%。四季城市热岛强度相比(表 3),雾以秋、冬、春、夏季的顺序递减,而浓雾以冬、秋、夏、春的顺序递减。日内四个时次城市热岛强度相比,浓雾条件下,春、夏、秋、冬季均表现为 20 时最高,08 时最低(冬季 02 时最低),春、夏、秋季 08 时均表现为冷岛效应。其中 20 时最高值为冬季的 1.22 °C,最低值为夏季 08 时的 -1.02 °C。雾天气条件下,春、秋、冬季均为 20 时最高,而夏季 14 时最高。浓雾条件下,夜间两个时次的差值以春季最大(0.82 °C)、夏季最小(0.35 °C),而白天两个时次的差值与其他天气条件下不同,在春夏秋季均为负值,并且夏季的差值最大。雾天气条件下,夜间两个时次的差值以春季最高(1.77 °C)、夏季最低(-0.18 °C),而白天夏、冬季均为负值,即 08 时城市热岛强度低于 14 时,而春秋季节则为正值。

#### 2.2.4 风速

不同风速天气条件的样本数为 6 210 个,其中 1~3 级风占风日总样本的 95.7%。所统计的 7 个级别的风中,6 级和 6 级以上风资料只有 1 个样本,没有统计学意义,未进行分析。各级风力中,城市热岛强度均表现为 14 时最弱(图 3d)、20 时最强(5 级风 02 时最强)。各级风力相比,城市热岛强度随风速的增加逐渐减弱(表 4),表明风速对城市热岛为减弱作用。其原因可能是当风速达到一定强度时,空气层结不稳定,城郊之间空气的水平 and 垂直方向的混合作用较强,地面风可以带走城市热量和城市气体,起到减小城市热岛效应的作用。各级风力条件下均表现为夜间城市热岛强度高于白天,夜昼城市热岛强度差以 1 级风最大,为 0.57 °C(表 2)。夜间和白天两个时次的差最大值分别为 2 级风的 0.46 °C 和 5 级风的 0.86 °C。

表 4 不同风力条件下城市热岛强度的变化

Table 4 Variation of UHI intensity under different wind speed conditions

风力	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
城市热岛强度/°C	0.84	0.66	0.59	0.52	0.51	0.42

四季相比,1~2 级风春夏秋冬四季所占比例相差不大,3~4 级风主要出现在春季。四季城市热岛强度相比(表 3),0~5 级风力均以冬、秋、春、夏季

的顺序递减。日内四个时次城市热岛强度相比,1~3 级风春、夏、秋、冬四季均表现为 20 时最高、14 时最低。其中 20 时最高值为 1 级风冬季的 1.39 °C,最低值为 1 级风春季 14 时的 0.16 °C。其他级别的风力没有相似规律。0~5 级风夜间两个时次的差值以 1 级风秋季最大(0.57 °C)、1 级风夏季最小(0.15 °C),而白天两个时次的差值以 0 级风冬季最大(0.70 °C)、3 级风冬季最小(0.13 °C)。

### 3 结论与讨论

1) 不同天气条件下,城市热岛强度是不同的。除雾和浓雾天气条件下,沈阳城市热岛强度 08 时最弱外,其他天气条件下均表现为 20 时最强,14 时最弱;不同天气条件下,夜间城市热岛强度均高于白天;晴朗无风条件下昼夜城市热岛强度差最大,为 0.73 °C。四季相比,除雾条件下秋季城市热岛强度最强外,其他均为冬季最强;除大雨条件下春季城市热岛强度最弱外,其他均为夏季最弱。沈阳城市热岛强度随降水量的增加而减弱,随能见度的降低而减弱,随着风速的增加而减弱。白天和夜间两个时次的差值以 1~3 级风夜间变化幅度大于白天,0 级和 4~5 级风速有相反规律,其他天气条件下无明显规律。

2) 目前利用城郊温差值法对城市热岛的研究最多。由于我国自动气象站较少,尤其在沈阳用于城市热岛研究的理想站点更少,导致资料的代表性较差,制约着对城市热岛的研究。利用遥感资料可以解决城郊站点代表性的问题,但其时间的不连续性同样限制着城市热岛研究。加密自动站站点众多,分布均匀(沈阳市内及郊区每隔 3~4 km 分布一个加密自动站),但由于建站时间较短(沈阳自 2006 年下半年数据正常传输)以及建站初期时仪器不稳定等原因使许多资料无法使用,使得可用于不同天气条件的统计样本较少,研究结果不具有统计学意义。因此,本文尽管只用一个郊区气象站代表郊区气温,但这种长时间序列由于样本众多,使得对不同天气条件下沈阳城市热岛的分析具有较高的可信度。在未来的研究中,如果将沈阳加密自动站资料(时间序列至少达到 5 a)与现有的长时间序列气象站资料相结合,同时利用遥感资料,将会使城市热岛的研究更完善。

3) 鉴于目前自动气象站点分布不均以及数量较少,无法对不同天气条件下城市不同方向(如城市东南西北方向)以及不同水平梯度(如沈阳环城

高速内外)城市热岛效应进行研究,即无法对城市热岛进行精细化研究。因此,如何利用加密自动站点众多且分布均匀的特点,以城市中心站为城区代表,分别对不同方向、不同位置的城市热岛效应进行精细化研究是未来需要探讨的问题。同时,结合加密自动站资料进行的城市热岛研究结果如何为城市精细化天气预报、城市建设和城市长远规划服务,也是未来研究的重点。

## 参考文献:

- 丁淑娟,张继权,刘兴明,等. 2008. 哈尔滨市城市发展与热岛效应的定量研究[J]. 气候变化研究进展,4(4):230-234.
- 郝丽萍,方之芳,李子良,等. 2007. 成都市近 50 a 气候年代际变化特征及其热岛效应[J]. 气象科学,27(6):648-654.
- 黄雅丽,邓斌,杨书运,等. 2008. 合肥城市热岛变化特征研究[J]. 安徽农业科学,36(12):5088-5089.
- 黄一凡,李锋,王如松,等. 2009. 基于遥感信息的常州市热岛效应[J]. 生态学杂志,28(8):1594-1599.
- 季崇萍,刘伟东,轩春怡. 2006. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报,49(1):69-77.
- 纪瑞鹏,张喜民,李刚. 2000. 沈阳等 6 城市热岛效应卫星监测研究[J]. 辽宁气象(4):22-23.
- 江樟焰,陈云浩,李京. 2006. 基于 Landsat TM 数据的北京城市热岛研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,31(2):120-123.
- 焦绪娟,赵文飞,张衡亮,等. 2007. 几种绿化树种降低城市热岛效应的研究[J]. 江西农业大学学报,29(1):89-93.
- 李丽光,金巍,王宏博,等. 2009. 辽宁中部城市群城市热岛特征及其影响因子分析[J]. 安徽农业科学,37(5):2113-2116;2133.
- 李兴荣,胡非,舒文军. 2007. 北京夏季强热岛分析及数值模拟研究[J]. 气象,33(6):25-31.
- 李兴荣,胡非,舒文军. 2008. 北京春季城市热岛特征及强热岛影响因子[J]. 南京气象学院学报,31(1):129-134.
- 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.
- 倪黎,沈守云,黄培森. 2007. 园林绿化对降低城市热岛效应的作用[J]. 中南林业科技大学学报,27(2):36-43.
- 戎春波,刘红年,朱焱. 2009. 苏州夏季城市热岛现状及影响因子分析研究[J]. 气象科学,29(1):84-87.
- 石春娥,王兴荣,吴必文,等. 2005. 合肥市夏季热岛特征研究[J]. 南京气象学院学报,28(5):672-678.
- 孙石阳,陈新光,李春梅,等. 2007. 深圳市热岛强度特征分析及情景预估[J]. 气象研究与应用,28(增刊 II):89-91.
- 唐罗忠,李职奇,严春风,等. 2009. 不同类型绿地对南京热岛效应的缓解作用[J]. 生态环境学报,18(1):23-28.
- 王桂玲,蒋维楣,魏鸣. 2007. 城市热岛效应的卫星遥感分析[J]. 南京气象学院学报,30(3):298-304.
- 王清川,郭立平,张绍恢. 2009a. 不同气象条件下廊坊城市热岛效应变化特征[J]. 气象与环境学报,25(6):44-48.
- 王清川,郭立平,张绍恢. 2009b. 廊坊市城市热岛效应的昼夜变化特征分析[J]. 气象研究与应用,30(2):26-30.
- 王勇,李发斌,李何超,等. 2008. RS 与 GIS 支持下城市热岛效应与绿地空间相关性研究[J]. 环境科学研究,21(4):81-87.
- 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 2007. 城市热岛时空特征及其影响因素[J]. 气象科学,27(2):230-236.
- 邢江月,邢婉如,唐亚平,等. 2009. 辽宁雾预报区的划分初探[J]. 气象与环境学报,25(5):31-35.
- 杨英宝,江南. 2009. 近 50 a 南京市气温和热岛效应变化特征[J]. 气象科学,29(1):88-91.
- 杨沈斌,赵小艳,申双和,等. 2010. 基于 Landsat TM/ETM+ 数据的北京城市热岛季节特征研究[J]. 大气科学学报,33(4):427-435.
- 余永江,林长城,王宏,等. 2009. 福建省福州市热岛效应与气象条件的关系研究[J]. 安徽农业科学,37(3):1165-1166;1174.
- 张佳华,侯英雨,李贵才. 2005. 北京城市及周边热岛日变化及季节特征的卫星遥感研究与影响因子分析[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,35(增刊 I):187-194.
- 张云海,王扬锋,马雁军. 2008. 沈阳大气成分观测站站址环境特征分析[J]. 气象与环境学报,24(4):31-36.
- 赵志敏. 2008. 城市化进程对城市热岛效应因子的对比分析[J]. 中国环境监测,24(6):77-79.
- 郑敬刚,张景光,李有. 2005. 郑州市热岛效应研究与人体舒适度评价[J]. 应用生态学报,16(10):1838-1842.
- 郑祚芳,刘伟东,王迎春. 2006. 北京地区城市热岛的时空分布特征[J]. 南京气象学院学报,29(5):694-697.
- 中国气象局. 2003. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社.
- 周红妹,丁金才,徐一鸣,等. 2002. 城市热岛效应与绿地分布的关系监测和评估[J]. 上海农业学报,18(2):83-88.
- 周淑贞,束炯. 1994. 城市气候学[M]. 北京:气象出版社.
- 朱焱,朱莲芳. 2009. 应用卫星资料分析苏州夏季城市热岛效应[J]. 气象科学,29(1):77-83.
- Ackerman B. 1985. Temporal march of the Chicago heat island[J]. J Climate Appl Meteor,24:547-554.
- Aniello C, Morgan K, Busbey A, et al. 1995. Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS[J]. Computers and Geosciences,21(8):965-969.
- Atkinson B W. 2003. Numerical modeling of urban heat-island intensity[J]. Boundary-Layer Meteorology,100(3):285-310.
- Bejarán R A, Camilloni I A. 2003. Objective method for classifying air masses: an application to the analysis of Buenos Aires' (Argentina) urban heat island intensity[J]. Theoretical and Applied Climatology,74:93-103.
- Bottyan Z, Unger J. 2003. A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island[J]. Theoretical and Applied Climatology,75:233-243.
- Ihara T, Kikegawa Y, Asahi K, et al. 2008. Changes in year-round air temperature and annual energy consumption in office building areas by urban heat-island countermeasures and energy-saving measures[J]. Applied Energy,85(1):12-25.
- Jauregui E. 1997. Heat island development in Mexico city[J]. Atmospheric Environment,22:3821-3831.
- Kazimierz K, Krzysztof F. 1999. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland[J]. Atmospheric Environ-

- ment,33;3885-3895.
- Kim Y-H,Baik J-J. 2002. Maximum urban heat island intensity in Seoul [J]. *Journal of Applied Meteorology*,41(4):651-659.
- Liu W, Ji C, Zhong J, et al. 2007. Temporal characteristics of the Beijing urban heat island [J]. *Theoretical and Applied Climatology*,87(1/2/3/4):213-221.
- Montavez J P, Rodriguez A, Jimenez J I. 2000. A study of the urban heat island of Granada [J]. *International Journal of Climatology*, 20: 899-911.
- Oke T R. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations [J]. *International Journal of Climatology*,1(3):237-254.
- Oke T R. 1982. The energetic basis of the urban heat island [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*,108(455):1-24.
- Park H S. 1986. Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities [J]. *Atmospheric Environment*,20:1859-1866.
- Priyadarsini R, Hien W N, David C K W. 2008. Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island [J]. *Solar Energy*,82(8):727-745.
- Santamouris M, Paraponiaris K, Mihalakakou G. 2007. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece [J]. *Climatic Change*,80:265-276.
- Sasaki K, Mochida A, Yoshino H, et al. 2008. A new method to select appropriate countermeasures against heat-island effects according to the regional characteristics of heat balance mechanism [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,96(10/11):1629-1639.
- Streutker D R. 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas [J]. *Int J Remote Sens*,23(13):2595-2608.

(责任编辑:倪东鸿)