

白莹莹,程炳岩,王勇,等. 2015. 城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响. 气象, 41(3):319-327.

# 城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响<sup>\* 1</sup>

白莹莹<sup>1</sup> 程炳岩<sup>1</sup> 王 勇<sup>1</sup> 张 焱<sup>2</sup> 向 波<sup>1</sup> 唐晓萍<sup>3</sup>

1 重庆市气候中心, 重庆 401147

2 重庆市气象台, 重庆 401147

3 重庆沙坪坝区气象局, 重庆 400030

**提 要:** 利用重庆 17 站观测资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 研究了城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响。结果表明: 随着城市化进程的加快, 城区代表站沙坪坝高温和炎热日数呈减少趋势, 与邻近的郊区呈现出明显差异。进一步分析其可能原因, 沙坪坝日最高气温升温较郊区缓慢, 相对湿度增加, 均呈现较为显著的城市化效应, 说明沙坪坝夏季高温和炎热日数与邻近郊区明显趋势不同的主要原因是由于城郊最高气温的变化差异。相关分析表明, 随着城市化进程的加快, 主城区炎热日数的变化与郊区的差异逐渐增大, 也说明沙坪坝炎热日数的减少不是大尺度的区域气候变化造成的, 而是城市化进程加快导致的。利用 OMR 方法分析了重庆都市圈观测气温与 NNR 气温的差异, 城市化进程加快对平均气温和最低气温是增温影响, 且以最低气温的影响较为明显, 同时对最高气温的影响则为降温效果。

**关键词:** 城市化进程, 重庆, 夏季, 高温炎热, OMR 方法

**中图分类号:** P461

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.03.007

## Influences of Urbanization Speed on the Summer High Temperature and Sultry Weather in Chongqing

BAI Yingying<sup>1</sup> CHENG Bingyan<sup>1</sup> WANG Yong<sup>1</sup> ZHANG Yan<sup>2</sup>  
XIANG Bo<sup>1</sup> TANG Xiaoping<sup>3</sup>

1 Chongqing Climate Centre, Chongqing 401147

2 Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147

3 Shapingba Meteorological Office of Chongqing, Chongqing 400030

**Abstract:** Daily meteorological observation data of 17 stations of Chongqing and NCEP/NCAR reanalysis data are employed to diagnose the influence of urbanization on the summer high temperature and sultry weather in Chongqing. Results show that high temperature days and hot days at Shapingba Station decrease with the rapidly accelerating of urbanization. Maximum temperature decrease is the main reason for the decrease of high temperature days and hot days. Correlation analysis indicates that the difference of hot days between the main urban zone and suburbs increases gradually, which indicates the decrease of high temperature days and hot days at Shapingba Station is caused by the rapidly accelerating of urbanization, not by the regional climate changes. Observation Minus Reanalysis (OMR) method is used to analyze the difference between observed temperature and NCEP/NCAR reanalysis (NNR) temperature. So, we found that along with the rapidly accelerating of urbanization, mean temperature and minimum temperature increase, especially for minimum temperature, but maximum temperature decreases.

\* 中国气象局气候变化专项 (CCSF201337)、重庆市自然科学基金计划项目 (CSTC2010BB7335、CSTC2012JJA20015 和 CSTC2013jcyjA20010)、重庆市科委应用开发重点项目 (CSTC2013yykfb00003)、中国气象局成都高原所开放基金项目 (LPM2012001) 和重庆气象局青年基金项目 (QNJJ201206) 共同资助。

2013 年 12 月 21 日收稿; 2014 年 4 月 9 日收修定稿

第一作者: 白莹莹, 主要从事区域气候诊断分析研究. Email: byying113@126.com

**Key words:** urbanization, Chongqing, summer, high temperature and sultry weather, observation minus reanalysis (OMR) method

## 引言

重庆作为新兴的直辖市和国家五大中心城市之一,主城九区面积达 5464.91 km<sup>2</sup>,近年来城市化发展速度受到世人瞩目。统计数据显示,重庆市全市 2013 年 GDP 为 12656.69 亿人民币。重庆主城九区面积仅占全市不到 7%,人口占全市 27.22%,GDP 即达到 5391.84 亿元,贡献重庆直辖市 GDP 达 42.6%。截止到 2012 年末,重庆市常住人口 2945.00 万人,其中,城镇人口 1678.11 万人,城镇化率达到 56.98%。随着经济的飞速增长,城市规模迅速膨胀,城市人口急剧增长,城市建筑物越来越密集,以及机动交通工具的成倍增长,显著地改变着整个城市的生态与环境,引起了社会的广泛关注。对于城市化对气温的影响,近年来很多学者围绕我国主要大城市如:北京(季崇萍等,2006;刘伟东等,2014;曹广真等,2010;郑祚芳等,2013)、上海(谈建国等,2008)、南京(刘霞等,2010)、杭州(陆琛莉等,2012)、合肥(杨元建等,2011),以及几大区域如:华北(周雅清等,2005)、西北(方锋等,2007)、西南(唐国利等,2008)、长江三角洲(谢志清等,2007)作了相关研究,得到了一些有意义的结论。目前针对重庆的研究大多关注于“城市热岛”效应,并取得了一些成果,揭示了重庆市城市热岛的主要变化规律及温度分布情况(李子华等,1993;何泽能等,2008;赵伟,2009)。

近年来,重庆高温热浪灾害频繁发生,引起了社会各界广泛的关注。对于重庆高温天气的分析,许多学者作了不同方面的研究工作,邹旭恺等(2007)着重分析了 2006 年夏季川渝高温干旱的成因,韩世刚等(2009)分析了 1960—2006 年重庆高温日数时空变化特征,程炳岩等(2010)进一步分析了重庆地区夏季高温的气候特征与环流形势。白莹莹等(2010)的研究指出,在全球变暖的背景下,重庆极端高温事件也在变暖后呈显著增加趋势。由于重庆夏季不仅气温高,相对湿度也较大,这种“湿热”天气更使人体感觉不舒适。石磊等(2012)研究了西南区域体感温度的变化趋势,指出重庆地区属于体感温度高值区,夏季高温炎热。对于重庆高温炎热天气的

变化特征,是否与直辖后开展的大规模城市化建设有关?本文将重点分析城市化进程对重庆高温炎热天气的影响,并探讨其可能成因。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

重庆 17 站逐日平均气温、日最高气温、日最低气温和相对湿度观测数据。选取重庆“1 小时经济圈”范围作为重庆都市圈区域,包含 22 个区县 17 个气象观测站分别为:沙坪坝、北碚、渝北、巴南、长寿、合川、涪陵、永川、江津、万盛、璧山、綦江、荣昌、南川、大足、潼南和铜梁。选取该区域的原因有两方面:一方面由于该区域主要涵盖了重庆西部地区,区域内海拔高度落差较东南部和东北部的山区小,且均属于同一气候区,因此地形条件和气候特征差异相对较小;另一方面,该圈内涵盖了重庆区域内主要的经济主体和产业聚集区,能反映城市化的发展的主要影响。

参考重庆区域站点沿革资料,为了避开一些站点的明显迁站因素影响,真实客观反映城市化进程的影响,选取 1970—2009 年作为研究时段,期间都市圈内站点基本无明显迁站情况,站点资料可信度高。

NCEP/NCAR 逐月再分析地面(2 m)平均气温、日最高气温、日最低气温资料,时间长度同样取为 1970—2009 年(Kalnay et al,1996)。

### 1.2 方法及数据处理

通过对气象因素与中暑人数的相关分析得到,温度和相对湿度是引发人体中暑的两个重要因素,为表征高温、高湿共同对人体的影响,本文引入炎热指数作为衡量气象条件对人体影响的判别指标。炎热指数是热应力的舒适指标,是温湿指数的一种表示方法,能准确反映出人体在相对湿度与气温共同作用下的实际感受。炎热指数的计算公式为:

$$I_T = 1.8T_{\max} - 0.55(1.87T_{\max} - 26) \times (1 - RH) + 32 \quad (1)$$

式中, $T_{\max}$ 为日极端最高气温, $RH$ 为日平均相对湿度。炎热指数由 Tom 等(1959)提出,Bosen 又作了

发展。目前,北京、天津、南昌、郑州、南宁及内蒙古等地均利用该指数或其变形指数进行人体舒适度的预报评价(陈辉等,2009)。黄卓等(2011)基于炎热指数提出了热浪指数及分级。表明用炎热指数衡量温度和湿度对人体感受的影响具有一定的实用价值。如何根据炎热指数判断是否为高温炎热天气,参考重庆炎热指数阈值(黄卓等,2011),当炎热指数 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ ,表示重庆地区当日已达高温炎热级别,炎热指数 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ 的天数定义为炎热日数。

Kalnay等(2003)提出利用观测气温与NCEP/NCAR再分析气温的差值OMR(Observation Minus Reanalysis)方法来估算城市化和其他土地利用变化对气候的影响。这种方法的基本原理在于NCEP/NCAR再分析资料能够表现出由温室气体增加和大气环流改变等引起的大尺度气候变化,并且由于其同化系统中没有使用地表观测数据,故NCEP再分析地表气温资料对城市化和土地利用变化等下垫面状况不敏感,因此,将地表观测气温减去再分析气温就能将局地近地表气温变化信息从全球变暖中剥离出来(Kalnay et al,2003)。利用这种方法,Lim等(2005)分析了北半球气候变化对不同土地类型的敏感性,发现沙漠、城市为显著增温区域;Kalnay等(2006)估算了美国东部地区城市化和其他土地利用变化对地表气温的影响;杨旭超等(2009)研究了近40年中国地表气温变化对土地覆被类型的敏感性。

本文选取1970—2009年NCEP/NCAR的月平均地表(2 m)气温数据应用于OMR方法,该数据水

平分分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ,数据处理的具体操作过程为:首先,移除1971—2000年OBS观测气温和NCEP/NCAR再分析气温的30年平均值,只考虑距平,分析气温距平而非气温绝对值可以避免对气温插值进行海拔订正(Simmons et al,2004);再采用双线性插值法将NCEP/NCAR再分析地表气温距平插值到观测站点的经纬度上称为NNR气温。气温OMR值为观测气温距平与NNR气温数据距平的差值,OMR趋势值以每个格点上10年平均变化来计算以减少随机误差,具体计算参考Kalnay等(2003)的方法。

## 2 重庆都市圈高温炎热天气分布特征

### 2.1 区域平均概况

将日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天数定义为高温日数,炎热指数 $\geq 90^{\circ}\text{C}$ 的天数定义为炎热日数。图1给出了重庆都市圈区域平均高温和炎热日数时间变化,区域内高温日数气候均值为20.26 d,可以看出重庆都市圈区域平均高温日数总体变化趋势不明显,但最近10年呈显著增加趋势,主要经历了20世纪70年代的偏多、80—90年代偏少、21世纪00年代偏多三个阶段(图1a)。炎热日数气候均值为14.51 d,近40年总体略呈增加趋势,虽然趋势系数尚未通过显著性检验,其变化阶段也与高温日数基本一致,经历了“+”“-”“+”三个阶段,90年代末开始显著增加(图1b)。

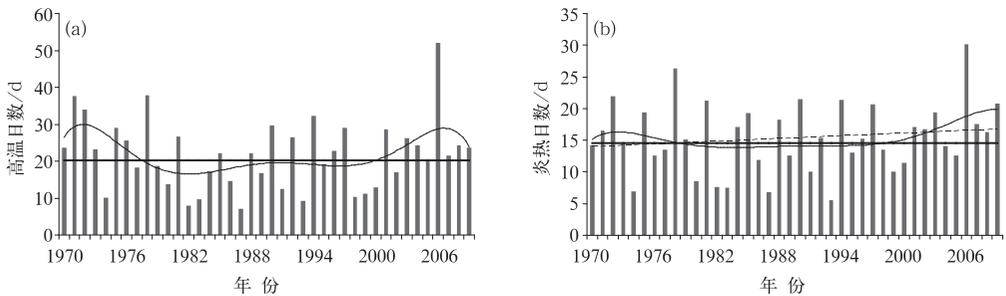


图1 重庆都市圈区域平均夏季高温日数(a)和炎热日数(b)的时间序列及趋势

Fig. 1 Time anomaly series and trends of high temperature days (a) and hot days (b) of Chongqing metropolitan region in summer

### 2.2 城市化发展不同阶段高温炎热天气空间差异

作者之前的研究指出,根据反映城市化进程速

度的人口密度、地区生产总值、工业能源消费及耕地面积的变化来划分城市化进程的不同阶段,结果表明可以1997年为界,划分重庆都市圈城市化发展阶

段(白莹莹等,2013)。并且根据美国地理学家诺瑟姆于 1975 年利用城市人口占总人口比重的变化,提出各国城市化过程可概括为一条稍被拉平的“S”型曲线。一般认为城市化水平在 30% 以下为初期阶段、30%~70% 为中期阶段、70% 以上为后期阶段。参考重庆城镇化率(重庆市统计局,2011),可以看出 1997 年重庆城镇化率达到 31% 开始超过 30% 进入城市化中期阶段,随后开始了城市化快速发展的阶段。因此认为以 1997 年作为分界划分城市化发展不同阶段是合理的。

对于经度和纬度跨度不超过 2° 的内陆区域而言,区域内气象要素一致的变化可认为是区域气候变化的影响,而区域内站点间差异,很大程度反映了

局地环境差异对气象要素的影响(孙继松等,2007)。分别计算了高温日数和炎热日数城市化快速发展阶段(1970—1997 年)和缓慢发展阶段(1998—2009 年)的差值(图 2),可以看出区域内超过 75% 的站点,呈现出高温日数和炎热日数一致增加的趋势,但主城代表站沙坪坝高温和炎热日数减少,与其邻近的郊区呈现出明显差异。这种差异主要发生在了主城区,说明城市化发展不同阶段主城区高温、炎热日数与区域气候变化不一致,这种差异可能是由于城市化进程加快带来的下垫面改变造成的。

将区域内 17 个站点,分为主城区沙坪坝、近郊 4 站(北碚、渝北、巴南、璧山)、远郊 12 站,分别计算高温日数和炎热日数的逐年变化(图 3),可以看

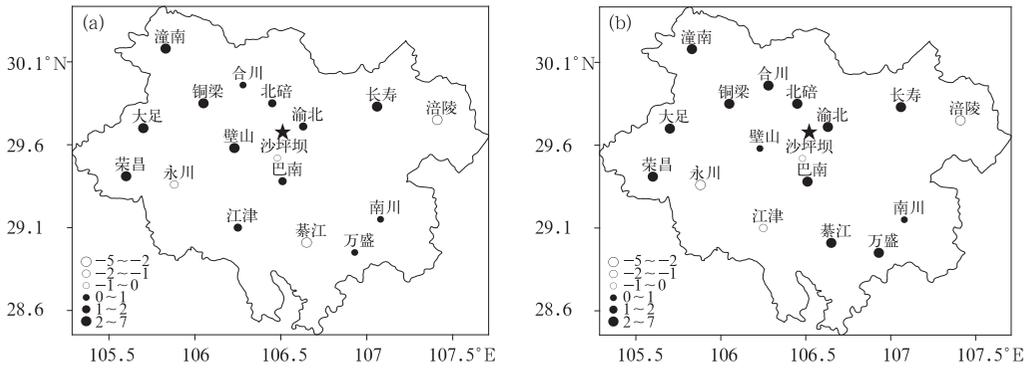


图 2 夏季高温日数(a)和炎热日数(b)城市化进程快速发展阶段和缓慢发展阶段的差值分布(实心圆表示相对日数偏多,空心圆表示日数偏少,偏多偏少的程度与圆圈的直径成正比,下同)

Fig. 2 Differences between rapid acceleration period and slow acceleration period of high temperature days (a) and hot days (b) of summer (Solid circle represents more days, hollow circle represents fewer days)

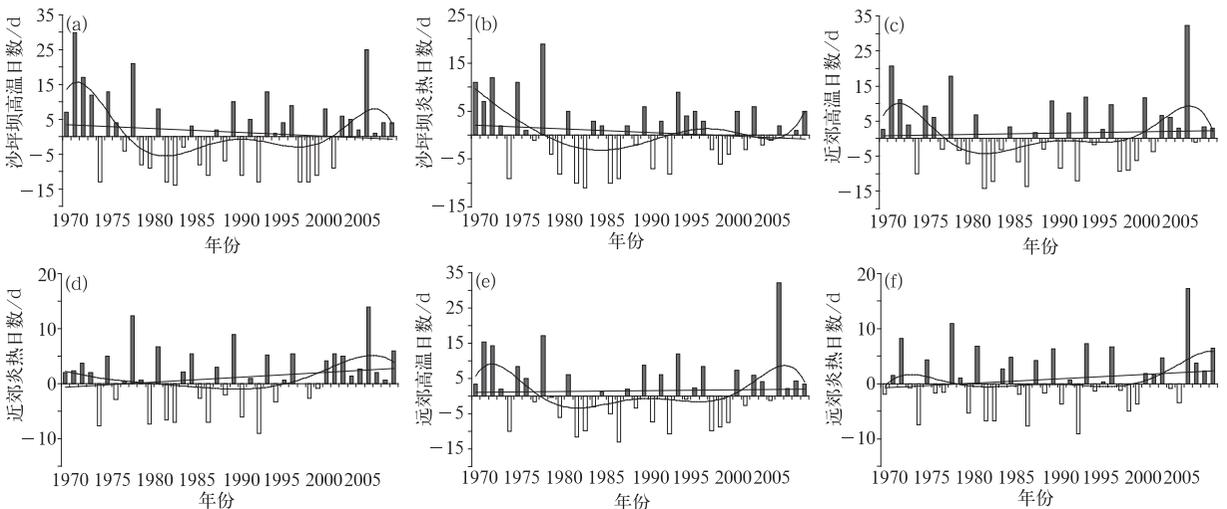


图 3 夏季沙坪坝(a, b)、近郊 4 站(c, d)、远郊 12 站(e, f)高温日数距平(a, c, e)和炎热日数距平(b, d, f)时间序列及趋势

Fig. 3 High temperature days (a, c, e) and hot days (b, d, f) anomalies time series and trend of Shapingba (a, b), suburb (c, d) and outskirts (e, f) in summer

出沙坪坝高温、炎热日数呈现出减少的趋势(图 3a, 3b)。近郊和远郊平均高温日数和炎热日数则呈一致增加趋势。说明主城区沙坪坝站的高温炎热日数与其临近的郊区呈现明显差异,特别是炎热日数。

### 3 主城区高温炎热天气与邻近郊区的差异及其可能成因

#### 3.1 主要气象要素变化

为了进一步弄清主城区高温炎热天气减少的原因,首先分别计算了平均气温、日最高气温以及相对湿度在城市化快速发展阶段和缓慢发展阶段的差

值。从平均气温来看,站点间差异较小,气温差异主要集中在了一0.1~0.1℃,60%站点平均气温升高,主城沙坪坝气温略偏高(图 4a)。图 4b 给出了日最高气温的差值空间分布,呈现显著的城市化效应,沙坪坝最高气温降低,而其外围近郊都呈增温趋势。相对湿度的差值分布,也呈现较为显著的城市化效应,沙坪坝及其北侧的北碚相对湿度增加,主城区邻近区域多为相对湿度减少,呈现“城市湿岛”效应(图 4c)。白莹莹等(2013)研究了城市化进程对重庆都市圈降水空间分布的影响,指出由于盛行风向的季节性转变造成夏季主城及其北侧郊区降水增多,这种“城市湿岛”效应也进一步印证了降水空间分布差异的原因。

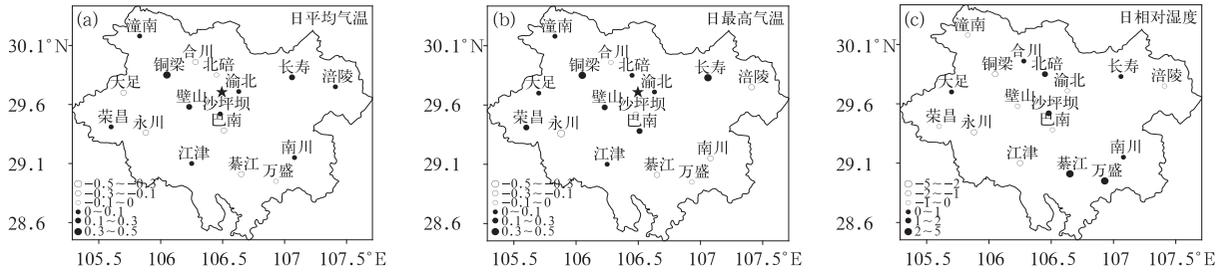


图 4 日平均气温(a)、日最高气温(b)和相对湿度(c)城市化快速发展阶段和缓慢发展阶段差值分布

Fig. 4 Differences between rapid acceleration period and slow acceleration period of mean temperature (a), maximum temperature (b) and relative humidity (c) of summer

由式(1)可知,炎热日数主要与日最高气温和相对湿度的变化有关,而夏季沙坪坝站相对湿度增加,由此进一步说明,沙坪坝夏季高温和炎热日数的减少主要是由于最高气温的降低造成的。已有的研究表明,热岛效应对平均气温、最低气温以及日较差的增温影响较大,对日最高气温变化趋势的影响微弱,甚至可能造成降温(周雅清等,2005)。因此,对于主城区日最高气温的降温、高温日数以及炎热日数的减少,也是城市化效应的一种体现。

为了进一步验证结果,选取沙坪坝站和北碚站作为城区和近郊站的对比,因两站资料序列较长,且无迁站记录,利用其分析了年际和年代际城郊差异(图 5)。图 5a 给出了平均气温城郊变化,20 世纪 60 年代郊区平均气温高于城区,70 年代开始逆转,在 80 年代重庆普遍降温,郊区气温下降更为明显,使得城郊差异增大,此后城郊共同增温,温差一直维持;图 5b 给出了最低气温城郊变化,可以看出两个阶段城郊发生显著差异,一是 80 年代郊区显著的

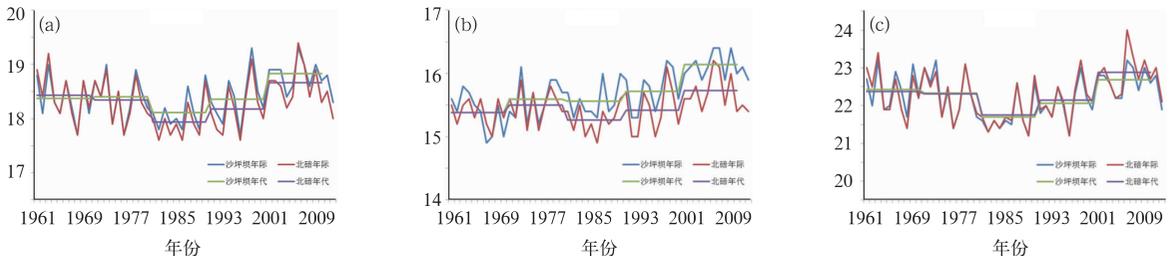


图 5 城区(沙坪坝)和郊区(北碚)平均气温(a)、日最低气温(b)、日最高气温(c)年际及年代际演变

Fig. 5 Interannual and interdecadal variations of mean temperature (a), minimum temperature (b), maximum temperature (c) of urban (Shapingba) and suburb (Beibei)

降温,二是21世纪00年代城区最低气温的显著升高,最低气温的显著升高体现了城市的热岛效应;图5c给出了最高气温的城郊差异,在20世纪80年代以前很小,90年代起有差异,郊区最高气温开始高于城区,到了21世纪00年代,郊区气温显著高于城区,并且1997年后,郊区最高气温均高于城区。因此这种局地小范围的差异可能是由于城市化下垫面改变导致的。

### 3.2 主城区与周边站点的关系

图6分别给出了城市化缓慢发展阶段和快速发展阶段,沙坪坝的炎热日数分别和都市圈内其他站

点的炎热日数相关系数空间分布,图6a中可以看出城市化缓慢发展阶段,都市圈内其他16个站点全部可以通过0.05的显著性水平检验,并且以沙坪坝邻近的北碚、巴南璧山等相关最为显著,进入了城市化快速发展阶段,沙坪坝的炎热日数与都市圈内其他站点的相关系数较图6a整体偏小(图6b),只有9个站点可以通过0.05的显著性水平检验,特别是主城区附近的郊区站点相关系数减少最为明显,由此说明,随着城市化进程的加快,主城区的炎热日数的变化与郊区的差异逐渐增大,其受城市化影响更为显著,也说明沙坪坝炎热日数的减少不是大尺度的区域气候变化造成的,而是城市化进程加快导致的。

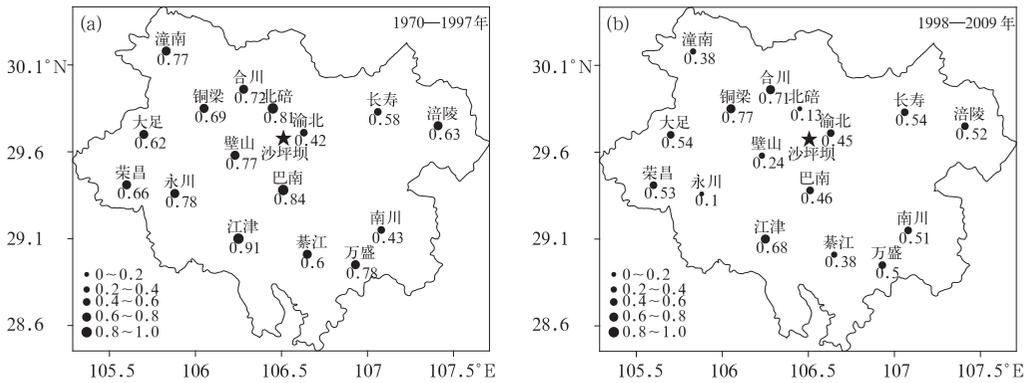


图6 沙坪坝炎热日数与各站点炎热日数的相关系数空间分布

(a)1970—1997年, (b)1998—2009年

Fig. 6 Correlations coefficients between hot days of Shapingba Station and other stations

(a) 1970—1997, (b) 1998—2009

分别计算了沙坪坝高温炎热日数与近郊和远郊高温炎热日数的相关系数,结果表明,高温日数相关系数分别为0.95、0.94,说明沙坪坝的高温日数年际变化与近郊和远郊基本一致,沙坪坝炎热日数与近郊和远郊的相关系数也达到了0.77和0.73,因为炎热指数的计算还考虑了相对湿度,相对湿度的局地变化较大,因此炎热日数的相关系数达到0.7以上也说明沙坪坝炎热日数与近郊及远郊的年际变化基本一致。

表1 沙坪坝高温炎热日数和近郊、远郊高温炎热日数相关系数

Table 1 Correlation coefficient between urban (Shapingba), suburb and outskirts of high temperature and hot days

	近郊	远郊
高温日数	0.95	0.94
炎热日数	0.77	0.73

### 3.3 OMR方法应用分析

图7给出了近40年重庆观测平均气温和NCEP/NCAR再分析气温(简称NNR气温)的相关系数分布图,区域内17个站点有14个站OBS和NNR气温的相关系数超过0.7,其中沙坪坝站的相关系数达到0.81,其余3站也超过了0.6,最高气温和最低气温的结果也基本一致,全部站点均可通过0.01的显著性水平检验,由此说明应用OMR方法分析得出的结论应该是合理的。NNR气温资料较好地反映了观测气温的扰动,但由于NNR分析系统对于地表面状况不敏感,因此其与观测资料的温差(称为OMR温差)可以认为是由于城市化或者其他地表类型的改变所致。

以沙坪坝为例,对比各年代观测平均气温和NNR平均气温的变化(表2)。20世纪70年代,观

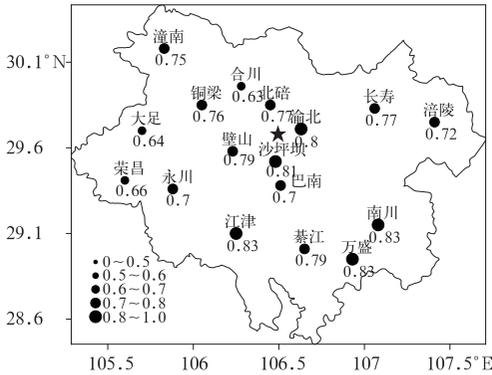


图 7 1970—2009 年重庆都市圈观测平均气温与 NNR 气温的相关系数

Fig. 7 Correlations coefficients between observed temperature and NNR temperature of 1970—2009

表 2 重庆沙坪坝站观测与 NNR 平均、最高和最低气温差(单位:℃)

Table 2 Mean, maximum, minimum temperature differences between observed temperature and NNR temperature of Shapingba Station(unit:℃)

		20 世纪	80 年代	90 年代	21 世纪
		70 年代			00 年代
平均气温	OBS	0.10	-0.25	0.15	0.50
	NNR	-0.05	-0.08	0.13	0.43
	OMR	0.15	-0.17	0.02	0.07
最低气温	OBS	-0.11	-0.08	0.14	0.49
	NNR	-0.07	-0.52	0.11	0.21
	OMR	-0.04	-0.03	0.03	0.28
最高气温	OBS	0.37	-0.42	0.09	0.58
	NNR	-0.11	-0.12	0.23	0.86
	OMR	0.48	-0.30	-0.14	-0.28

测资料平均气温为 0.10℃、NNR 资料为 -0.05℃, 观测气温高于 NNR 气温 0.15℃;80 年代, 观测资料平均气温为 -0.25℃、NNR 资料为 -0.08℃, 观测气温低于 NNR 气温 0.17℃;90 年代, 观测资料平均气温为 0.15℃、NNR 资料为 0.13℃, 观测气温略高于 NNR 气温 0.02℃;21 世纪 00 年代, 观测资

料平均气温为 0.50℃、NNR 资料为 0.43℃, 观测气温比 NNR 气温高出 0.07℃。可见, 对于重庆沙坪坝站 20 世纪 90 年代以后开始的升温, 观测资料比 NNR 资料明显, 这也与重庆 90 年代才开始的城市化快速发展阶段相一致。

同时, 沙坪坝最低气温的升温速率变化趋势与平均气温的变化基本一致, 但较平均气温的增温更为显著, 观测资料与 NNR 资料的温差 4 个年代逐年增加, 21 世纪 00 年代, 观测气温为 0.49℃, NNR 气温为 0.21℃, 两者之差 0.28℃, 说明下垫面改变引起的对重庆中心城区最低气温的影响十分显著。沙坪坝最高气温的变化与平均气温和最低气温呈现出显著的差异, 观测气温与 NNR 气温的差值总体呈减少趋势, 00 年代, 观测的增温 0.58℃比 NNR 气温低了 0.28℃, 说明城市化对气温的影响不一定是增温, 对重庆中心城区最高气温的影响是降温。

图 8 给出了城市化快速发展阶段, 沙坪坝站观测气温与 NNR 气温的逐月气温距平差值演变(逐月变化已去掉季节变化, 即以 12 个月长期的气候平均作为平均值, 分别计算各月气温距平), 从图 6a 可以看出, 平均气温 OMR 温差在城市化快速发展阶段略呈增加趋势, 并且观测气温高于 NNR 气温;从最低气温的 OMR 温差演变可以看出明显的增加趋势, 观测最低气温平均高于 NNR 气温 0.20℃;最高气温的 OMR 温差变化趋势则与平均气温和最低气温的变化相反, 随着城市化进程的加快, 观测气温低于 NNR 气温, 并且温差增加, 此阶段观测气温平均低于 NNR 气温 0.28℃。由此说明, 城市化进程加快对平均气温和最低气温是增温影响, 且以最低气温的影响较为明显, 同时对最高气温的影响则为降温效果。这与图 5 的观测分析结果基本一致, 并且也进一步解释了图 4 为何重庆主城区高温日数和炎热日数与邻近郊区的差异。

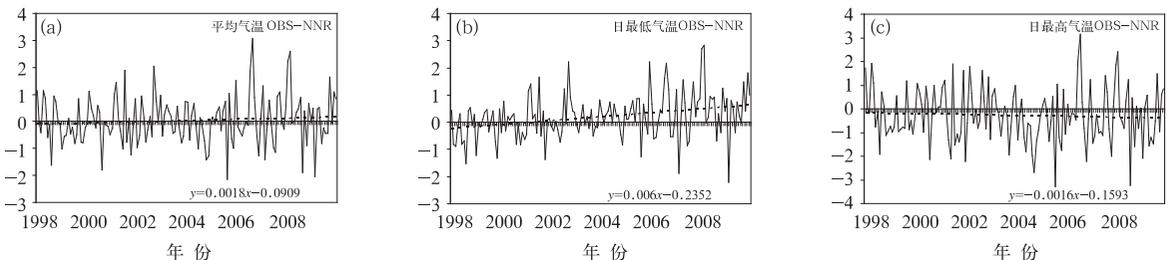


图 8 1998—2009 年沙坪坝逐月 OMR 温差(单位:℃)

(a) 平均气温, (b) 日最低气温, (c) 日最高气温

Fig. 8 Monthly OMR temperature differences (unit:℃) of Shapingba Station in 1998—2009

(a) mean temperature, (b) maximum temperature, (c) minimum temperature

## 4 结 论

(1)以 1997 年为界,划分重庆都市圈城市化发展阶段,分别计算了高温日数和炎热日数城市化快速发展阶段和缓慢发展阶段的差值,可以看出区域内超过 75%的站点,呈现出高温日数和炎热日数一致增加的趋势,但主城代表站沙坪坝高温和炎热日数则呈减少趋势,与其邻近的郊区呈现出明显差异。将区域内 17 个站点,划分为城区、近郊和远郊,城区高温、炎热日数呈现出减少的趋势,近郊和远郊平均高温日数和炎热日数则呈一致增加趋势。说明主城区沙坪坝站的高温炎热日数与其邻近的郊区呈现明显差异,特别是炎热日数。

(2)分别计算了平均气温、日最高气温以及相对湿度在城市化快速发展阶段和缓慢发展阶段的差值。日最高气温的差值空间分布,沙坪坝最高气温降低,而其外围近郊都呈增温趋势;相对湿度的差值分布,沙坪坝及其北侧的北碚相对湿度增加,主城区邻近区域多为相对湿度减少,均呈现较为显著的城市化效应。炎热日数主要与日最高气温和相对湿度的变化有关,由此进一步说明,沙坪坝夏季高温和炎热日数的减少主要是由于最高气温的降低造成的。

(3)城市化发展不同阶段,沙坪坝的炎热日数分别和都市圈内其他站点的炎热日数相关系数空间分布可以看出城市化缓慢发展阶段,都市圈内其他 16 个站点全部可以通过 0.05 的显著性水平检验,并且以沙坪坝邻近的北碚、巴南璧山等相关最为显著,进入了城市化快速发展阶段,沙坪坝的炎热日数与都市圈内其他站点的相关系数整体偏小,特别是主城区附近的郊区站点相关系数减少最为显著,由此说明,随着城市化进程的加快,主城区的炎热日数的变化与郊区的差异逐渐增大,其受城市化影响更为显著,也说明沙坪坝炎热日数的减少不是大尺度的区域气候变化造成的,而是城市化进程加快导致的。

(4)利用 OMR 方法分析了重庆都市圈观测气温与 NNR 气温的差异,肯定了 OMR 方法在重庆地区的可用性,不同年代的演变进一步指出,对于重庆沙坪坝站 20 世纪 90 年代以后开始的升温,观测资料比 NNR 资料明显,这也与重庆 90 年代才开始的快速城市化发展阶段相一致。城市化快速发展阶段 OMR 温差的逐月变化分析表明,城市化进程加快对平均气温和最低气温是增温影响,且以最低气温

的影响较为明显,同时对最高气温的影响则为降温效果。这也进一步解释了为何重庆主城区高温日数和炎热日数在城市化快速发展阶段有所减少。

需要说明的是,本文只是发现了重庆主城区高温炎热天气变化的这一有趣现象,城区高温炎热天气相对郊区的减少主要是由于日最高气温呈下降的趋势,而最高气温降低的原因可能是由于城市化进程的加快,导致城区空气污染加重,气溶胶粒子增多,影响太阳短波辐射,从而影响城区白天气温的攀升,使得郊区最高气温反高于城区。对于其更详细的影响机制,需要更精细的资料以及区域气候模拟来确定,这也是我们下一步的工作重点。

## 参考文献

- 白莹莹,高阳华,张焱,等. 2010. 气候变化对重庆市旱涝灾害的影响. 气象, 36(9): 55-63.
- 白莹莹,张焱,何泽能,等. 2013. 城市化进程对重庆都市圈降水空间分布的影响. 气象, 33(5): 592-599.
- 曹广真,侯鹏,毛显强. 2010. 北京市城市化对地表温度时空特征的影响. 气象, 36(3): 19-26.
- 陈辉,黄卓,田华,等. 2009. 高温中暑气象等级评定方法. 应用气象学报, 20(4): 451-457.
- 程炳岩,孙卫国,郭渠. 2010. 重庆地区夏季高温的气候特征与环流形势分析. 西南大学学报, 32(1): 73-80.
- 重庆市统计局. 2011. 重庆统计年鉴 2011. 59-77.
- 方锋,白虎志,赵红岩,等. 2007. 中国西北地区城市化效应及其在增暖中的贡献率. 高原气象, 26(3): 579-585.
- 韩世刚,周浩,何军,等. 2009. 1960—2006 年重庆高温日数时空变化特征. 气象, 35(9): 68-76.
- 何泽能,李永华,陈志军,等. 2008. 重庆市 2006 年夏季城市热岛分析. 热带气象学报, 24(5): 38-43.
- 黄卓,陈辉,田华. 2011. 高温热浪指标研究. 气象, 37(3): 345-351.
- 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. 地球物理学报, 49(1): 69-77.
- 李子华,唐斌,任启福,等. 1993. 重庆市区冬季热岛和湿岛效应的研究. 地理学报, 48(4): 358-366.
- 刘霞,景元书,王春林,等. 2010. 城市化进程对南京市气温变化影响的主成分分析. 热带气象学报, 26(4): 509-512.
- 刘伟东,张本志,尤焕菱,等. 2014. 1978—2008 年城市化对北京地区气温变化影响的初步分析. 气象, 40(1): 94-100.
- 陆琛莉,范晓红,宋文英,等. 2012. 杭州湾北岸持续热浪天气特点及城市化发展的影响. 气象, 38(3): 329-335.
- 石磊,王腾,孙晓光. 2012. 西南区域体感温度变化趋势分析. 西藏科技, 9: 54-58.
- 孙继松,舒文军. 2007. 北京城市热岛效应对冬夏季降水的影响研究. 大气科学, 31(2): 1-10.
- 谈建国,郑有飞,彭丽,等. 2008. 城市热岛对上海夏季高温热浪的影响. 高原气象, 27(suppl): 144-149.

- 唐国利,任国玉,周江兴. 2008. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响. *应用气象学报*, 19(6):722-730.
- 谢志清,杜银,曾燕,等. 2007. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响. *地理学报*, 62(7):717-727.
- 杨旭超,张懿铨,刘林山,等. 2009. 中国地表气温变化对土地类型/覆被变化的敏感性. *中国科学 地球科学*, 39(5):638-646.
- 杨元建,石涛,苟尚培,等. 2011. 基于遥感资料研究合肥城市化对气温的影响. *气象*, 37(11):1423-1430.
- 赵伟. 2009. 重庆市夏季气温及热岛效应分析研究. *安徽农业科学*, 37(14):6516-6519.
- 郑祚芳,王在文,高华. 2013. 北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响. *气象*, 39(12):1635-1641.
- 周雅清,任国玉. 2005. 华北地区地表气温观测中的城镇化影响的监测与订正. *气候与环境研究*, 10(4):743-753.
- 邹旭恺,高辉. 2007. 2006年夏季川渝高温干旱分析. *气候变化研究进展*, 3(3):149-153.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40 Year Reanalysis Project. *Bull Amer Meteor Soc*, 77:437-471.
- Kalnay E, Cai M. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423:528-531.
- Kalnay E, Cai M, Li H, et al. 2006. Estimation of the impact of land-use changes and urbanization on climate trends east of the Rockies. *J Geophys Res*, 111(D06106), doi:10.1029/2005JD006555.
- Lim Y K, Cai M, Kalnay E. 2005. Observational evidence of sensitivity of surface climate changes to land types and urbanization. *Geophys Res Lett*, 32(L22712), doi:10.1029/2005GL024267.
- Simmons A J, Jones P D, Bechtold V C, et al. 2004. Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40, and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature. *J Geophys Res*, 109:D24115, doi:10.1029/2004JD005306.
- Tom E C, Bosen J R. 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12:59-60.