

天津市气候变化及其与城市化发展的关系

孟丹^{1,2} 王连喜^{1,2} 李琪^{1,2} 薛红喜³

摘要

根据天津地区气象站近 50 年的气象数据,采用回归分析、滑动平均、Morlet 小波变换和 Mann-Kendall 检验法研究天津地区气候要素的变化规律;采用趋势拟合与相关分析,研究近 30 年各气候要素与地区生产总值、城镇人口百分比、城乡居民收入差、全社会固定资产投资额等各项城市化进程指标的关系.结果表明:1)近 50 年来,天津地区年均气温增幅为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,呈极显著的上升趋势,年降水量减少趋势不明显,但其时间序列周期振动较明显,日照时数呈极显著的下降趋势;2)20 世纪 80—90 年代初期为天津地区气温、日照时数和城郊温差、日照时数差的跃变年份;3)各项城市化进程指标分别与天津地区气温、日照时数有着极显著的正相关、负相关性,表明它们与天津城市热岛、暗岛的发展关系密切.

关键词

天津;气温;降水;日照时数;城市化

中图分类号 P463.3

文献标志码 A

收稿日期 2012-02-20

资助项目 城市气象科学研究基金(UMRF200-902);干旱气象科学研究基金(IAM200919)

作者简介

孟丹,女,硕士生,主要研究方向为生态气象、农业气象. mengdan19891101@126.com

王连喜(通信作者),男,教授,主要从事农业气象、应用气象、生态气象等方面的研究工作. 001895@muist.edu.cn

0 引言

目前,由于温室气体大量排放引起的全球气候变暖已成为共识. IPCC 的评估报告表明,经济发展与温室气体排放的关系非常密切. 导致全球变暖的因素中,城市化发展伴随的一系列问题是最主要的. 城市化的发展是全球气候变暖的一个重要因素,而全球气候变暖反过来又对城市化发展构成严重威胁.

自 20 世纪 60 年代以来,国内外学者开始关注城市化进程对气候变化的影响^[1-4]. Steve 等^[5]研究了新加坡土地利用对于其周围热岛效应的影响,发现白天和晚上不同土地利用类型对于热岛效应的贡献率不同, Alexander 等^[3]发现 San Juan 城郊温差十分明显,城市热岛强度在过去的 40 年内以 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速度增长,并预测 2050 年热岛强度将达到 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. 近些年来,我国城市化势头迅猛,北京、上海、天津、广州等大城市继续快速发展,由此而引起的城市化效应日益显著,受到研究者的广泛关注. 林学椿等^[6-7]根据气象观测资料研究北京地区气温的年际变化和热岛效应,发现近 40 年热岛强度的增温率为 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,季崇萍等^[8]研究认为北京市热岛强度和总人口的对数值呈线性相关关系,且建成区范围与热岛强度影响范围呈同步变化趋势,曾侠等^[9]研究发现珠江三角洲都市群的热岛强度呈明显的季节变化和日变化,并且热岛强度大的地方均为广东经济活动最活跃的地区.

天津市是京津冀城市群中的重要城市,对该城市群的发展有重要的作用. 刘德义等^[10]研究了天津市的城市气候问题,而有关天津市城市气候变化与城市化进程关系的研究还不多见. 本文根据天津地区气象站近 50 年的气象资料,采用滑动平均法、Morlet 小波变换和 Mann-Kendall(M-K)检验对天津地区温度、降水、日照 3 个气候要素的变化规律进行分析,并将这 3 个要素与城市化进程指标进行相关性分析,研究天津市的城市化进程对城市气候的影响,为天津市合理规划发展,减少城市化的负面效应提供理论依据.

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文采用 1960—2009 年天津地区 5 个气象台站(宝坻、东丽、北辰、天津、塘沽)的气温、降水量和日照时数资料进行气候变化分析,

1 南京信息工程大学 江苏省大气环境监测与污染控制高技术重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 环境科学与工程学院,南京,210044

3 中国气象局气象探测中心,北京,100081

并从中选取天津和宝坻 2 个典型站点分别代表天津城区和郊区的气候变化情况进行分析. 天津城市化进程指标的统计数据来源于天津市 1980—2009 年的统计年鉴^[11].

1.2 研究方法

本文采用回归分析法、滑动平均法和 M-K 检验法研究近 50 年天津地区的气温、降水和日照时数的变化规律,在此基础上,依据小波变换和小波功率谱的理论^[12-14],对天津地区 50 年来的年平均气温、降水和日照时数进行多尺度特征分析,建立相应的影响锥,去除边界效应对降水周期特征的影响,并对得到的降水周期特性进行 0.05 水平上的高斯白噪声检验^[15-18],采用相关分析方法研究城市化进程与城市气候要素之间的关系.

2 天津地区气候变化

2.1 气候要素的变化趋势

图 1 给出了天津地区 1960—2009 年平均气温、降水量和日照时数的变化趋势. 从图 1 可以看出,除 1969 年以前气温有个较小的降温趋势外,近 50 年来,天津地区年平均气温以及 5 年滑动平均气温都呈明显的波动上升趋势,年平均气温增加幅度为 $0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$. M-K 趋势检验结果(表 1)表明天津地区的温度在近 50 年都有极显著的上升趋势(M-K 趋势检验结果值都大于 1.96). 从表 1 还可以看出,天津地区温度的突变发生在 20 世纪 90 年代初期.

从近 50 年的降水变化情况来看,天津地区的年降水量变幅较大,呈下降趋势,但 M-K 趋势检验结果表明这种下降趋势并不明显,并且降水没有发生明显的突变(表 1). 从年日照时数的变化来看,天津地区的日照时数呈下降趋势. 从 M-K 趋势检验结果可知这种下降趋势是极显著的,并且,日照时数在 20 世纪 80 年代末发生了突变(表 1).

图 2 是天津地区多年平均温度、降水和日照时数经过 Morlet 小波变换后的功率谱. 图 2 中的粗虚线所包围部分表示通过了在 0.05 显著性水平上的高斯白噪声检验的尺度周期(锥形线所包围部分为

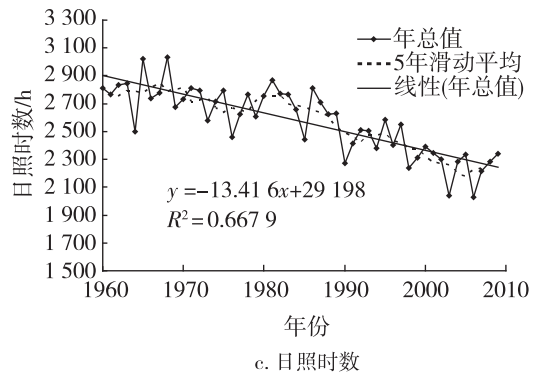
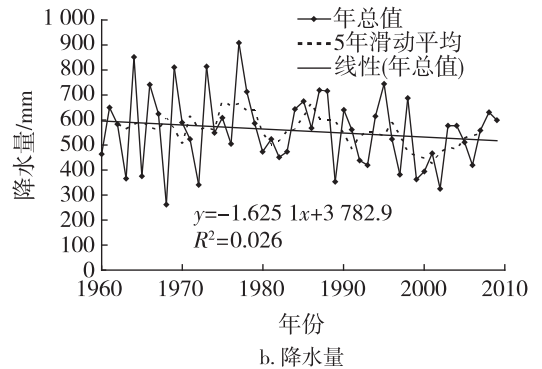
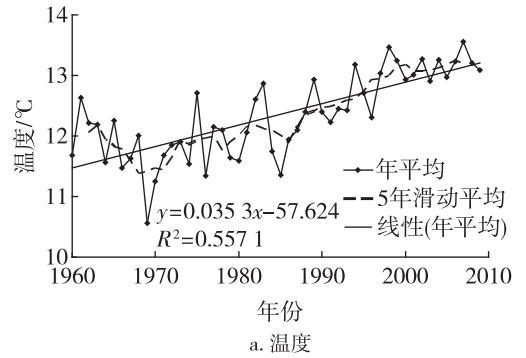


图 1 1960—2009 年天津地区气候变化情况
Fig. 1 Characteristics of annual temperature, precipitation, and sunshine hours changes in Tianjin during 1960—2009

去除边界效应之后的尺度周期). 从图 2a 可知,天津地区的温度在 20 世纪 60 年代中期至 80 年代存在显著的 2~4 年的尺度周期,但不连续,80 年代中后期有显著的 4~6 年的尺度周期,20 世纪 90 年代以

表 1 天津地区气候变化 M-K 趋势和突变检验结果

Table 1 Results of Mann-Kendall trend and mutation test for climate change in Tianjin

温度		降水量		日照时数		城郊温差		城郊降水差		城郊日照时数差	
Z 值	突变年份	Z 值	突变年份	Z 值	突变年份	Z 值	突变年份	Z 值	突变年份	Z 值	突变年份
5.67	1992	0	—	-6.46	1988	6.91	1984	0	—	-16.62	1985

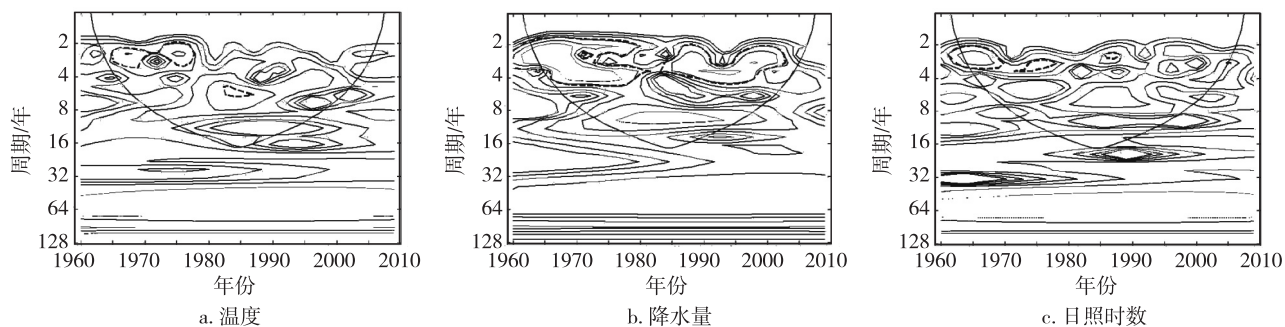


图2 1960—2009年天津地区气候要素小波功率谱分析

Fig. 2 Wavelet analysis for temperature, precipitation, and sunshine hours changes in Tianjin during 1960—2009

后随着气温的不断升高,没有明显的尺度周期存在.

虽然降水的变化趋势不明显,但天津地区降水时间序列的周期振动较为明显.从图2b可以看出,近50年里,天津地区的降水除了20世纪80年代中期的个别年份外,还存在着显著的2~4年的尺度周期.从图2c可以得到,随着日照时数的显著下降,天津地区日照时数时间序列的周期性主要出现在20世纪80年代之前,其尺度周期基本为2~4年.

2.2 天津地区气候要素城郊差异

上述数据均为平均数据,并不能完全反映出城市化背景下的气候变化情况,因此本文采用城郊气候要素的差值(以宝坻站点代表郊区,天津站点代表市区)进一步分析城市化背景下城市气候变化规律.

2.2.1 城郊气温差及其年际变化

图3显示了天津地区城郊气温差的时间变化情况.由图3可知,天津城区和郊区的温度在近30或50年呈显著的上升趋势,但由于城区的温度上升速度更快,因此天津的城郊温差逐渐增大,而且天津的城郊温差通过了M-K趋势检验的显著性水平检验(表1),说明这种趋势是极显著的.此外,从市区和

郊区的年际温度变化趋势还可知,1970年以前天津地区城郊区的温度都表现为下降趋势,这是因为改革开放以前,市区气象站处于郊区,其温度变化主要受自然地理条件影响,而20世纪80年代以后,随着天津城市范围的扩张^[19],市区气象站周围建筑物增多,绿地面积减少,其下垫面特征由郊区下垫面逐渐被复杂的城市下垫面代替,再加上人口增多,加剧了人为热的释放,使得城郊温差的明显增大,表明天津在城市化过程中具有明显的城市“热岛”效应.从图3还可以看出,天津近50年的城郊温差以0.19℃/(10a)的速度在增加.

2.2.2 城郊降水差及其年际变化

图4显示了天津城郊降水差随时间变化的情况.天津城区和郊区的降水在近30或50年都呈振荡下降趋势,但M-K趋势检验的结果表明天津城区和郊区的降水下降趋势都不显著.图4中给出的拟合方程表明天津城区降水下降的幅度略小于郊区的,因此天津的城郊降水差表现出增加的趋势,但显著性水平检验结果也表明这种趋势不显著.这一结果表明天津在城市化过程中并没有表现出明显的城

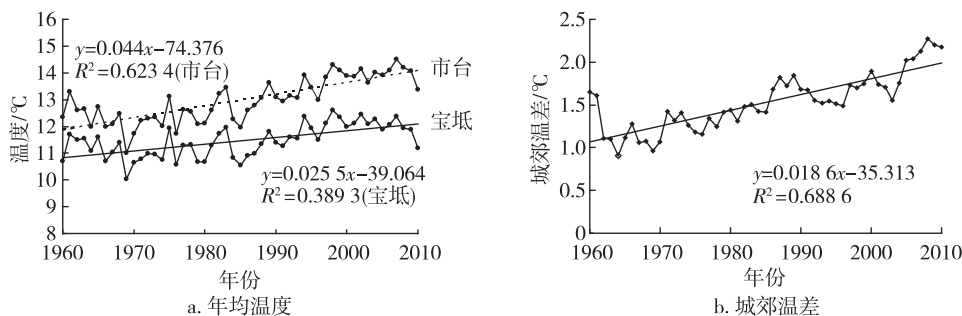


图3 1960—2009年天津地区城郊年均温度及温差

Fig. 3 Average annual temperatures and temperature difference between urban and suburban area in Tianjin during 1960—2009

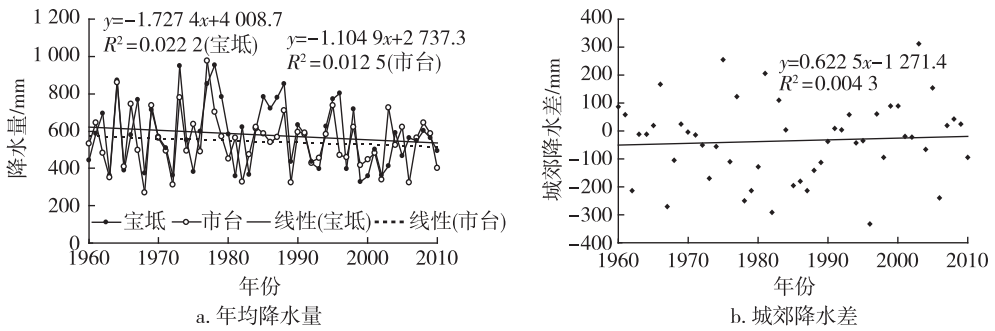


图4 1960—2009年天津城郊年降水量及降水量差

Fig. 4 Annual precipitations and precipitation difference between urban and suburban area in Tianjin during 1960—2009

市“雨岛”效应. 产生这一结果的原因是多方面的, 还有待进一步的研究.

2.2.3 城郊日照时数差及其年际变化

图5显示了天津城郊日照时数差的时间变化情况. 从图5中可以看出, 天津城区和郊区的日照时数在近30或50年都呈下降趋势, 自1960—2009年这50年里, 城区和郊区的年日照时数分别减少了756.8和141.5 h, M-K趋势检验结果表明此下降的趋势是极显著的. 从天津城区和郊区拟合的日照时数的时间变化方程可以看出, 城区的日照时数比郊区下降的速度更快, 因此天津城郊日照时数差在逐渐被拉大并表现出下降的趋势, 而城郊日照时数差通过了M-K显著性水平的检验, 说明这种趋势是极显著的. 城郊日照时数差的明显增大, 表明天津在城市化过程中具有明显的城市“暗岛”效应. 从图5还可以看出, 天津市近50年的城郊日照时数差以110 h/(10 a)的速度在减少.

3 天津气候变化与城市化进程的关系

城市化进程对城市气候的影响是一个复杂的过程, 是城市化过程中的各因素叠加在城市小气候形

成规律之上的综合作用的结果. 从城市化的定义来看, 单一的城市化指标无法全面描述城市化进程. 城市化进程中, 地区生产总值的提高, 城镇人口比重的增加, 城乡生活水平差异的拉大, 社会投资额的增多都是衡量城市化水平提高的重要标志. 因此, 选取地区生产总值、城镇人口百分比、城乡居民收入差、全社会固定资产投资额等指标来分别代表城市化进程中的经济、人口、人民生活、社会发展的情况, 并用这几个指标分别与城市气候要素进行相关性研究, 拟合城市化进程与气候变化之间的响应关系方程. 由前面的分析可知, 天津地区城郊降水差趋势变化不显著, 因此, 此处只考虑了温度和日照时数2项气候要素.

从图6可以看出, 天津地区生产总值与温度之间可以用指数方程来拟合, 其余3项指标与气温之间可以用三次方程拟合, 通过相关性检验得出, 温度与地区生产总值、城镇人口百分比、城乡居民收入差、全社会固定资产投资额的相关系数分别为0.603、0.722、0.674、0.513, 均通过了0.01显著性水平的检验, 城市化进程与气温呈极显著的正相关. 总体来看, 天津表现出了城市化进程带来的较显著

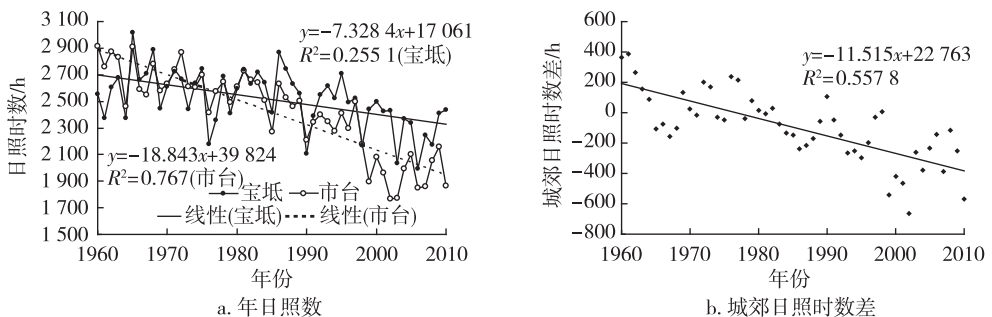


图5 1960—2009年天津城郊年日照时数及日照时数差

Fig. 5 Sunshine hours and sunshine hours difference between urban and suburban area in Tianjin during 1960—2009

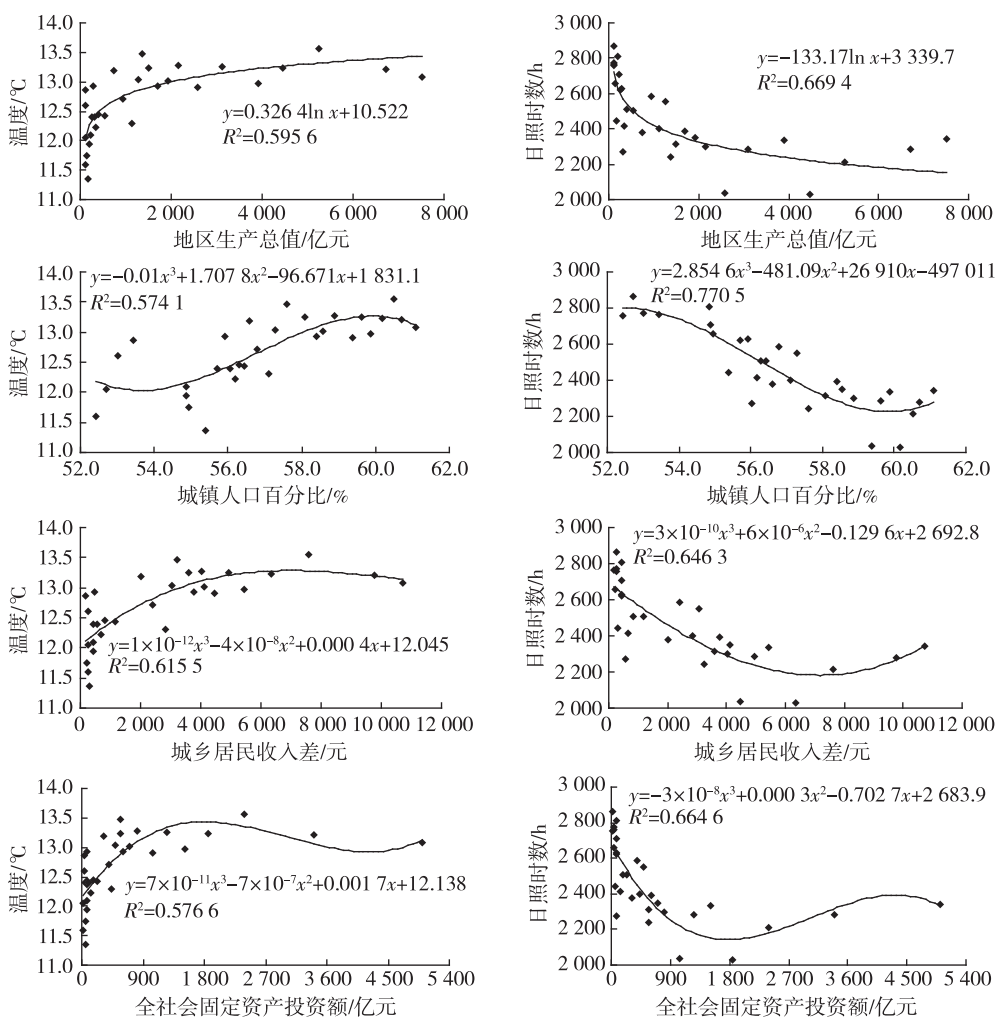


图6 天津地区城市化进程与温度、日照时数的关系

Fig. 6 Relationships between temperature, sunshine hours and urbanization indicators in Tianjin

的城市“热岛”效应。20世纪90年代以后,天津市的国民经济有了较快发展,地区生产总值显著增加。城镇人口增多,建筑物增加以及交通运输、工业燃煤等造成温室气体排放量的增加,使得城市产热量大而散热能力弱,城市热岛强度不断增强。

天津城市化进程各指标与日照时数之间的关系也可以用指数方程或三次方程进行拟合,日照时数与城市化指标的相关系数依次为-0.621、-0.853、-0.674、-0.513,且都通过了0.01显著性水平的检验,可以看出城市化进程与日照时数之间有极显著的负相关性。由于天津城市化进程的加快,气象站周围下垫面建筑物密度的增大和集中,再加上城市发展过程带来的城市污染问题(如城市雾、霾天气发生频率的增加)^[20],给日照时数的观测结果带来了一定的影响。总体来看,天津表现出了城市化进程带来的较显著的城市“暗岛”效应。

天津市的城市化进程与降水量的变化之间没有明显的相关关系,说明天津市的降水量的变化受到的影响因素较多,还需在降水形成的气候规律的基础上,作进一步的分析。

以上气候变化与城市化进程的拟合方程结果表明,城市化进程对气温和日照时数的影响显著,从拟合的方程类型(指数方程或三次方程)和决定系数来看,城市化进程与城市气候变化之间的关系十分复杂。马明敏等^[21]发现沈阳城市化进程对区域的温度影响最显著,呈正相关,城市化与风速、相对湿度、降水量呈负相关,其中城市化对风速的影响最显著,对降水量影响最小;白虎志等^[22]研究兰州城市化效应对局地气候的影响,得出城市化使温度显著升高,而降水量和日照时数均显著减少。不同城市化进程指标与气候要素之间具有一定的影响与响应关系,单一的指标无法全面描述这种复杂关系。

4 结果与讨论

1) 近 50 年来,天津地区的气温、降水、日照时数 3 气候要素的变化幅度不同,气温呈极显著的上升趋势,日照时数呈极显著的下降趋势,降水变化的幅度较大但没有明显的变化趋势.从城郊温差、降水差和日照时数差来看,天津表现出明显的城市“热岛”和“暗岛”效应,但没有表现出城市“雨岛”效应.从气候变化的周期来看,有明显变化趋势的气温和日照时数的周期变化现象不明显,尤其是 20 世纪 90 年代后期,基本不存在明显的周期变化,而没有明显变化趋势的降水则表现出了较为显著的 2~4 年的尺度周期.

2) 天津地区的国民经济、人口变动、人民生活、社会发展和产业结构调整与气温、日照时数之间分别存在极显著的正相关、负相关关系,也就是说,气温和日照时数对城市化发展极为敏感.

3) 现有的城市化进程指标和气候要素通常是一个地区的平均值或总值,既包括城区值又包括郊区值,其所代表的并非是完全的“城市化”指标.本文所选用的城郊温差、城郊降水差和城郊日照时数差以及城郊居民收入差等,相当于扣除了郊区背景值的“城市化”指标,因此较其他指标更能说明“城市化”问题.城市化进程和城市气候是多个方面因素产生的结果,因此有必要再增加此类表征“城市化背景下”的城市化进程以及城市气候要素指标,这样研究的结果才能更加全面地反映二者之间的影响和响应关系.

参考文献

References

[1] 吴息,王少文,吕丹苗.城市化增温效应的分析[J].气象,1994,20(3):7-9
WU Xi, WANG Shaowen, LÜ Danmiao. The analysis of heating effect of urbanization[J]. Meteorological Monthly, 1994, 20(3): 7-9

[2] 程胜龙.城市化对兰州气温变化影响的定量分析[J].气象,2005,31(6):29-34
CHENG Shenglong. Urbanization effect on air temperature change in Lanzhou city for recent 60 years[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(6): 29-34

[3] Alexander V L, Jorge E G, Amos W. Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(9): 1731-1741

[4] Weng Q H, Yang S H. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city[J]. Journal of Environmental Management, 2004, 70(2): 145-156

[5] Steve K J, Wong N H, Emlyn H, et al. The influence of land use on the urban heat island in Singapore[J]. Habitat International, 2007, 31(2): 232-242

[6] 林学椿,于淑秋.北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J].地球物理学报,2005,48(1):39-45
LIN Xuechun, YU Shuqiu. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect[J]. Chinese J Geophys, 2005, 48(1): 39-45

[7] 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[J].自然科学进展,2005,15(7):882-886
LIN Xuechun, YU Shuqiu, TANG Guoli. The progress of urbanization and its relationship to the heat island intensity in Beijing[J]. Progress in Natural Science, 2005, 15(7): 882-886

[8] 季崇萍,刘伟东,轩春怡.北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J].地球物理学报,2006,49(1):69-77
JI Chongping, LIU Weidong, XUAN Chunyi. Impact of urban growth on the heat island in Beijing[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2006, 49(1): 69-77

[9] 曾侠,钱光明,潘蔚娟.珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究[J].气象,2004,24(10):1161-1167
ZENG Xia, QIAN Guangming, PAN Weijuan. Study on urban heat island effect in Pearl River Delta urban group[J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(10): 12-16

[10] 刘德义,黄鹤,杨艳媛,等.天津城市化对市区气候环境的影响[J].生态环境学报,2010,19(3):610-614
LIU Deyi, HUANG He, YANG Yanyuan, et al. The climate impact of urbanization in Tianjin city[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(3): 610-614

[11] 天津市统计局.天津市统计年鉴[M].天津统计出版社,2010
Tianjin Statistics Bureau. Tianjin statistical yearbook[M]. Tianjin: Tianjin Statistics Press, 2010

[12] 崔锦泰.小波功率谱分析导论[M].西安:西安交通大学出版社,1997:161-333
CUI Jintai. Introduction to wavelets power spectrum analysis[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1997: 161-333

[13] 李建平,唐远炎.小波功率谱分析方法的应用[M].重庆:重庆大学出版社,1999:1-169
LI Jianping, TANG Yuanyan. Application of wavelet power spectrum analysis method[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 1999: 1-169

[14] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78

[15] 卜正明,李相迎,黄顺东.基于小波功率谱估计的空间目标 RCS 特性分析[J].现代雷达,2004,26(2):47-49
PU Zhengming, LI Xiangying, HUANG Shundong. Analysis of characteristics of space target RCS based on wavelet power spectrum estimation[J]. Modern Radar, 2004, 26(2): 47-49

[16] 吴洪宝.气候变率诊断与预测方法[M].北京:气象出版社,2005:208-244
WU Hongbao. The diagnosis of climate variability and prediction methods[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005: 208-244

[17] 江静,钱永甫.南海地区降水的时空特征[J].气象学

报,2000,58(1):60-69

JIANG Jing, QIAN Yongfu. The general character of precipitation over the south China sea[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(1): 60-69

- [18] 孙卫国, 黄海仁, 程炳岩. NINO 海区冷暖事件的小波功率谱分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 435-440
SUN Weiguo, HUANG Hairen, CHENG Bingyan. Analysis on wavelet power spectrum of warm and cold events in the NINO regions[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2005, 21(4): 435-440
- [19] 何丹, 蔡建明, 周璟. 天津开发区与城市空间结构演变分析[J]. 地球科学进展, 2008, 27(6): 97-103
HE Dan, CAI Jianming, ZHOU Jing. Analysis on development zone and urban spatial structure evolution in Tianjing[J]. Progress in Geography, 2008, 27(6): 97-103
- [20] 郭军, 任国玉. 天津地区近 40 年日照时数变化特征及其影响因素[J]. 气象科技, 2006, 34(4): 415-420

GUO Jun, REN Guoyu. Variation characteristics of sunshine duration in Tianjin in recent 40 years and influential factors[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(4): 415-420

- [21] 马明敏, 姜晓艳, 刘树华, 等. 近 47 年城市化发展对沈阳区域局地气候的影响研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2007, 2(2): 1-7
MA Mingmin, JIANG Xiaoyan, LIU Shuhua, et al. Urbanization effects on local climate in Shenyang in recent 47 years[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 2(2): 1-7
- [22] 白虎志, 张焕儒, 张存杰. 兰州城市化发展对局地气候的影响[J]. 高原气象, 1997, 16(4): 410-416
BAI Huzhi, ZHANG Huanru, ZHANG Cunjie. The influences of Lanzhou urban development on local climate[J]. Plateau Meteorology, 1997, 16(4): 410-416

Climate change characteristics of Tianjin and its relationship to urbanization

MENG Dan^{1,2} WANG Lianxi^{1,2} LI Qi^{1,2} XUE Hongxi³

1 Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environmental Monitoring and Pollution Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Environmental Science & Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Meteorological Observation Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract Based on meteorological data of recent 50 years at meteorological stations in Tianjin region, and employing methods of regression analysis, moving average, the Morlet wavelet transform and the Mann-Kendall test, this paper studied into annual changes of climate elements in Tianjin. The indicators for urban development, including GDP, the percentage of urban population, the income differences between urban and rural residents, and total fixed assets investment, were also considered for trend fitting and correlation analysis to the relation for nearly 30 years of each climate element. The results show that Tianjin has an average annual temperature increase of 0.35 °C/(10 a) in past 50 years with a significant upward trend, while the decreasing trend for annual precipitation is not obvious, yet the time series cycle vibration is evident. Sunshine hours showed a very significant downward trend. 1980s to early 1990s is the jumping point of air temperature, sunshine hours, temperature and sunshine hours differences between urban and suburban area for Tianjin region. There is a significant correlation between all the indicators for urban development and the temperature and sunshine hours, which means that all the indicators are closely related to the development of heat island and dark island effect in Tianjin.

Key words Tianjin; temperature; precipitation; sunshine hours; urbanization