

近 48 年来城市化对昆明地区气温的影响

王学锋¹,周德丽²,杨鹏武¹

(1. 云南省气候中心, 昆明 650034; 2. 云南省气象台, 昆明 650034)

摘 要: 以低纬高原城市昆明及邻近的安宁和太华山站分别代表大城市、小城市和无城市化影响的对比站, 利用 1960–2007 年气象资料, 分析不同规模城市发展对气温的影响。结果表明: ①昆明及邻近地区近 48 年来平均气温显著升高, 具有一致性。②城市化加剧了平均气温上升的幅度, 大城市和小城市的城市效应分别达到 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 急剧的变化出现在 20 世纪 80 年代后期城市高速发展期。③城市化加剧了平均最低气温的显著升高, 但对平均最高气温影响不明显。由此导致气温日较差的显著减小, 大城市和小城市气温日较差的城市效应分别达到 $-0.49\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。④城市化还导致了极端最低气温显著升高, 相对湿度显著降低, 霜日数显著减少。但对极端最高气温的影响并不显著。

关 键 词: 城市化; 城市效应; 气温; 检验; 昆明

1 引言

在全球变暖的背景下, 中国的地表温度也发生着变化。研究表明, 近 100a 中国地表平均气温上升了 $0.5\sim 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 近 50a 气温上升 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 增温速率为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 增温主要发生在 20 世纪 80 年代中后期, 并呈速度加快的趋势^[1]。由于该时段中国经济正进入的快速生长期, 人类活动和城市化可能对观测环境造成了一定的影响, 使得观测数据随城市化的进程发生了非自然因素的变化。

城市化对气候的影响, 国内外许多学者已经进行了大量研究。例如 Jones 等评估了城市化对大陆气温序列的影响^[2]; Karl 等对美国历史气候网资料研究后指出, 平均城市化影响约 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (1901–1984)^[3]; 赵宗慈等将全国 160 个站分为 5 类, 发现大城市增温明显高于小城市^[4]; 唐国利等研究指出全国台站中的城镇站资料多数可能存在城市热岛效应增强所造成的事实^[5]; 林学椿等研究得到北京城市效应增温率为 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 且改革开放后明显高于改革开放前^[6]。方锋等将西北地区分为 4 种环境分析了城市效应^[7], 另有许多学者研究了某一区域或某一城市对气温和其他气象要素的影响^[8–12], 都证明城市化对于气象要素的影响不可忽视。

对于低纬高原地区气候对全球变暖的响应, 许多学者也做过大量工作, 例如程建刚等认为云南区

域气温自 20 世纪 80 年代中后期开始出现增暖现象, 由此导致气候带发生显著变化^[13–14]; 陈铁喜等对近 50a 以来中国的气温日较差进行了分析, 发现 1952–2001 年间, 中国大陆总体上呈下降趋势, 其中云贵高原地区显著下降, 气候变化率达 $-0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ^[15]; 张一平等分析了昆明地区城市热岛效应的立体分布和对室内外气温的影响^[16–17], 何萍等对楚雄的城市热岛效应进行了研究^[18]。

本文选择昆明市及邻近区域内的昆明、安宁和太华山气象站, 分别代表大城市、小城市和基本不受城市化影响的环境, 对其历史气象记录序列进行研究, 重点分析 20 世纪 80 年代后期前后城市化进程明显加快时期的气温、气温日较差变化特征, 目的是进一步揭示城市化对低纬高原地区气象记录的影响, 对正确评估全球变暖在低纬高原地区的响应提供依据。

2 资料和方法

选取低纬高原地区城市昆明 ($25^{\circ}00'\text{N}$, $102^{\circ}39'\text{E}$, 1896.8m) 及邻近的安宁 ($24^{\circ}56'\text{N}$, $102^{\circ}29'\text{E}$, 1850.0m)、太华山 ($24^{\circ}57'\text{N}$, $102^{\circ}37'\text{E}$) 共 3 个常规气象站观测记录为研究对象。所选站点观测记录符合国家观测规范, 且两两相距很近 (最大纬度差为 $4'$, 最大经度差为 $10'$), 既能代表一个区域的气候状

收稿日期: 2009–04; 修订日期: 2009–09。

基金项目: 中国气象局气候变化专项 (CCFS–09–19); 云南省气象局业务能力研究与提升建设专项重点项目 (Y200805); 云南省气象局气候变化专项 (QH09001)。

作者简介: 王学锋, 高级工程师, 主要从事气候变化影响及气候资源应用研究。 E-mail: wxf.yncc@yahoo.com.cn

况,又能排除不同区域的影响差异。其中,昆明为云南省省会和第一大城市,市区常住人口近 300 万、建成区面积 249.6 km²,代表大城市;安宁为昆明市所属县级市,市区常住人口 13.64 万人,建成区 19.2 km²,代表小城市;太华山地处自然保护区,周围很少人类活动,基本不受城市化影响,作为对比站。

本文所选取的时间序列为 1960–2007 年,涵盖了该区域内城市发展相对稳定期和快速发展期,为研究城市发展对气象记录的影响提供基础背景。气象资料由云南省气象信息中心提供,城市人口和建成区面积数据取自统计公报和由昆明市城市规划设计研究院提供。本文所用的研究方法为常规统计方法。

1、气候倾向率:用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程。 $\hat{x}_i = a + bt_i \quad i = 1, 2, \dots, n$
式中: a, b 为回归常数和回归系数,采用最小二乘法求取, b 也称为气候倾向率。求得线性倾向后,该倾向是否显著,须检验时间 t 与变量 x 之间的相关系数 r ;若 r 通过信度检验,则认为该倾向有统计意义,否则认为该倾向没有统计意义。

2、气候突变检验分析:采用 Mann–Kendall 法,具体方法见文献[19]。

3、城市效应:假定处于距离较近,气候和地理环境相同的站点气象要素自然变率相同,那么城市站与对比站气温变化率的差值就是由城市效应造成的,城市站气温变化量与其周围对比站气象要素变化量的差值表示城市效应。用城市站与对比站数值差构造一个城市效应数据序列,表达式如下:

$$U_i = (Tu_i - Tu_s) - (Tc_i - Tc_s) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中: U_i 为第 i 年的城市效应, Tu_i 为第 i 年城市站气象要素值, Tu_s 为城市站参考时段平均值, Tc_i 为第 i 年对比站气象要素值, Tc_s 为对比站参考时段平均值。本文参考时段均取 1960–1969 年平均值。

3 气温变化

图 1 给出 3 个站点 1960–2007 年平均气温距平年际变化(气候平均值取 1971–2000 年),3 个站的年际变化均具有很好的一致性,各年度变化的趋势基本相同,表明该区域平均气温变化的相对一致性。在年代际变化上,均呈 20 世纪 60 年代相对较低,70 年代气温呈下降趋势,80 年代开始增温,80 年代末–90 年代初期以后出现急剧增温的趋势。

1960–2007 年总体上呈增温趋势,两两相关系数均在 0.90 左右。其中,气温变化气候倾向率昆明为 0.437 °C/10a,安宁为 0.212 °C/10a,太华山 0.128 °C/10a,均能通过 99%的信度检验,结果具有较高的可信度。对 3 个站年平均气温序列进行了 Mann–Kendall 突变检验(图 2),发现也具有很好的一致性,即均在 1994 年发生了增温突变,这一结果说明了在这一区域内,无论是否受城市化影响,增温是客观存在并且相对同步的。

为研究城市增温效应,以太华山站为对比站构

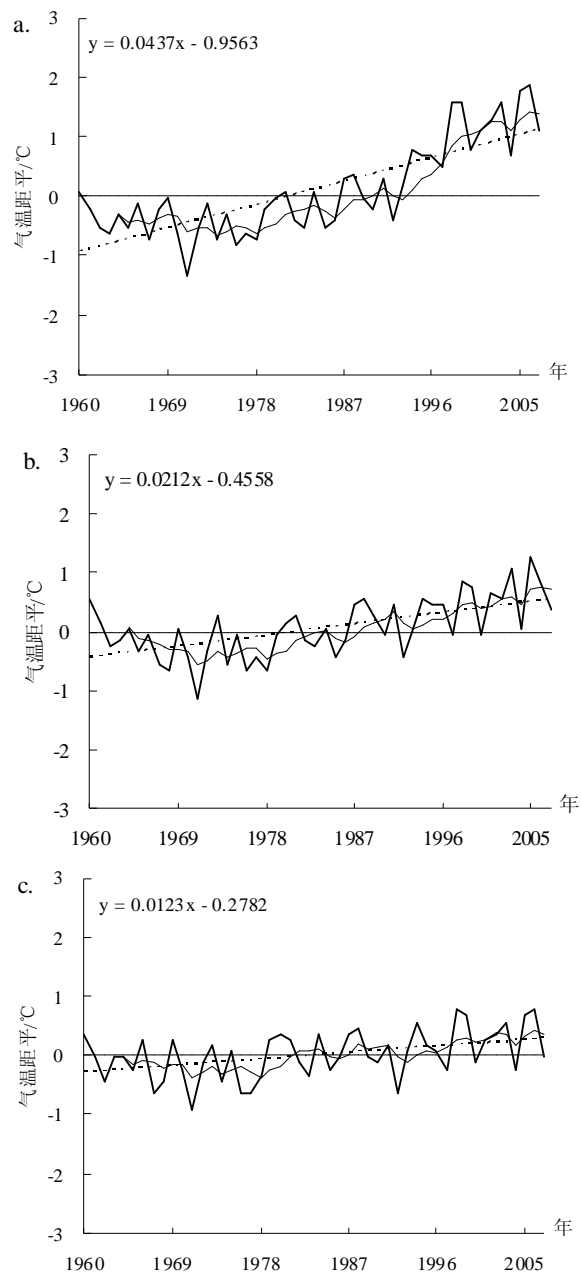


图 1 昆明邻近地区平均气温年际变化(a.昆明 b.安宁 c.太华山)
Fig.1 Interannual variations of annual mean temperature in the area nearby Kunming (a. Kunming b. Anning c. Taihuashan)

建昆明和安宁年平均气温城市效应变化序列,其年际变化见图 3。从图中可以看出,相对于太华山,1960–2007 年昆明和安宁均存在明显的上升趋势,气候倾向率分别为 0.31 °C/10a 和 0.09 °C/10a,均通过了 99% 的信度检验。从季节分布上看,城市效应以冬春季节最显著,昆明和安宁分别达到 0.36 °C/10a 和 0.12 °C/10a;夏季最小,仅为 0.18 °C/10a 和 0.03°C/10a。城市效应主要是在 20 世纪 80 年代后

期开始,表现出急剧上升的趋势。1990–2007 年,昆明和安宁的城市效应增温趋势达 0.70 °C/10a 和 0.15 °C/10a,2000–2007 年平均气温城市效应比 1960–1969 年高 1.22 °C 和 0.33 °C。与此对应的是,1990 年昆明市和安宁市区人口分别为 152.5 万人和 10.23 万人,2007 年增加至 297.1 万人和 13.64 万人,17 年间分别增加 94.5% 和 33.3%。

4 气温日较差变化

研究区域内平均最高气温均呈上升趋势,且均能通过 99% 的信度检验。2000–2007 年间与 1960–1969 年间相比,昆明、安宁和太华山年平均最高气温分别增加 0.86 °C、0.33 °C 和 0.51 °C。图 4 给出昆明和安宁年平均最高气温城市效应的年际变化。图中显示,城市站上升幅度较平均气温小,对比站上升幅度较平均气温大,导致平均最高气温城市化效应不显著,表明城市化对于最高气温的贡献不大。从季节分布来看,仅夏季城市效应达到了显著水

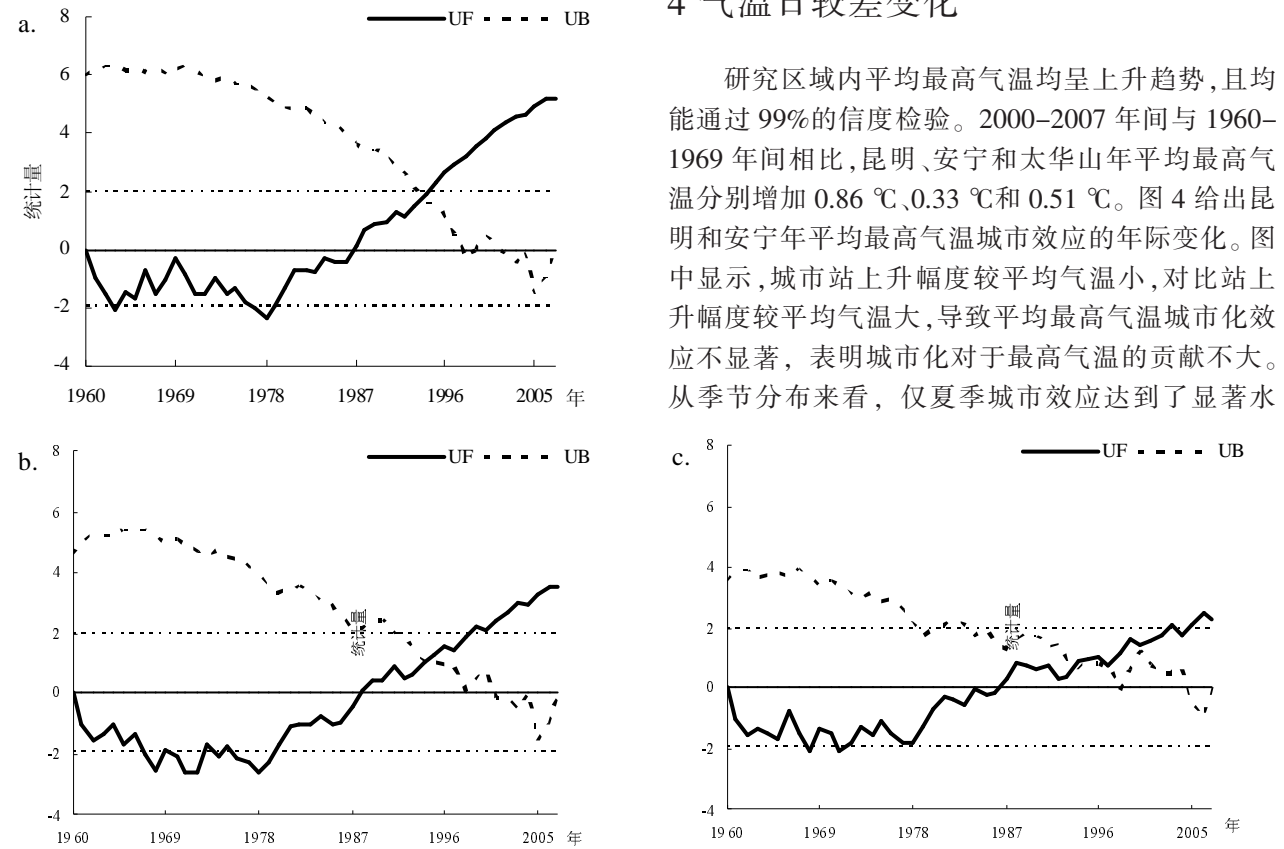


图 2 昆明邻近地区平均气温 M-K 突变检验(a.昆明 b.安宁 c.太华山)

Fig.2 Mann-Kendall tests of annual mean temperature in the area nearby Kunming (a. Kunming b. Anning c. Taihuashan)

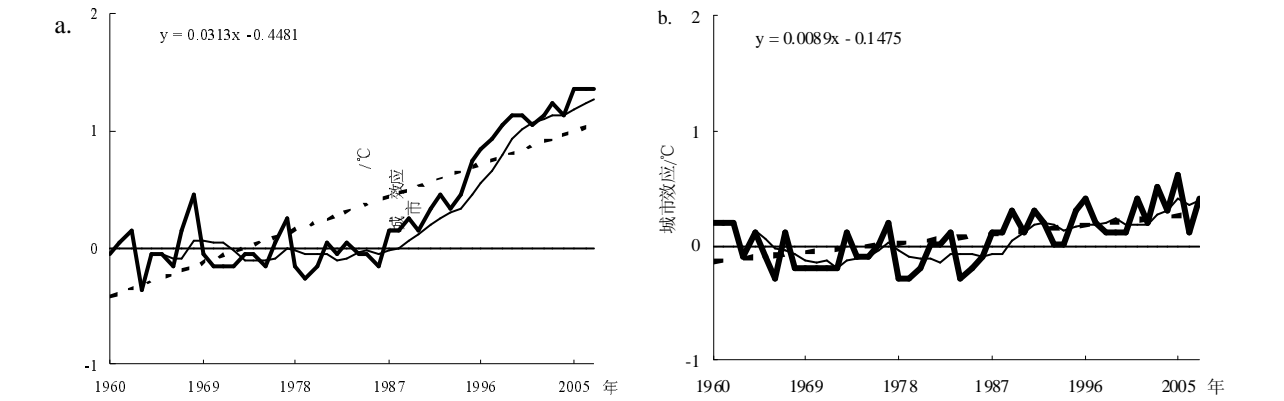


图 3 昆明(a)和安宁(b)平均气温城市效应年际变化

Fig.3 Interannual variations of annual mean temperature for urbanization effect in Kunming(a) and Anning(b)

平,昆明和安宁的增温效应分别达到 0.18 ℃/10a 和 0.07 ℃/10a。

1960–2007 年昆明和安宁平均最低气温显著升高,虽然对比站平均最低气温的变化也呈上升趋势,但达不到显著水平,因而造成城市效应非常显著。图 5 是昆明和安宁年平均最低气温城市效应的年际变化,图中显示城市效应十分显著。1960–2007 年昆明和安宁的平均最低气温气候倾向率分别为 0.56 ℃/10a 和 0.24 ℃/10a (均通过 99% 的信度检验),其中 1990–2007 年气候倾向率达 0.96 ℃/10a 和 0.37 ℃/10a。2000–2007 年间与 1960–1969 年间相比,昆明和安宁城市效应增温达 2.36 ℃和 0.94 ℃。从季节分布上看,除夏季以外,其他季节均通过了 99% 的信度检验。

气温日较差的减少仅在城市站点出现,说明气温日较差的减少基本上是城市化造成的。1960–2007 年,昆明和安宁平均日较差均显著下降,气候倾向率达 -0.86 ℃/10a 和 -0.55 ℃/10a (均通过了 99% 的信度检验),而对比站太华山日较差是显著增加的,气候倾向率为 0.09 ℃/10a(通过了 95% 的信度检验)。图 6 是年平均日较差城市效应年际变化,

从图中可以看出,日较差城市效应的年际变化随城市化的规模明显下降,昆明和安宁的气候倾向率分别为 -0.49 ℃/10a 和 -0.27 ℃/10a (均通过 99% 的信度检验),其中自 20 世纪 80 年代中期以后呈单调下降趋势。从季节分布上看,除夏季以外均显著下降,其中以春季最显著,昆明和安宁气候倾向率分别达到 -0.81 ℃/10a 和 -0.46 ℃/10a。

最低、最高温度变化趋势不同步是决定气温日较差变化的直接原因。在成因方面,有学者认为气溶胶变化引起大气浑浊度改变,从而影响到辐射,进而引起气温日较差变化^[15]。气溶胶粒子可以散射和吸收太阳辐射,从而直接造成大气吸收的太阳辐射能、到达地面的太阳辐射能以及大气顶反射回外空的太阳辐射能的变化,大气气溶胶粒子也可以吸收和散射长波红外辐射^[20]。任丽新等分析城市气溶胶的重要组成——总悬浮颗粒物(TSP)浓度日变化,发现昆明市在 08:00 为最大,而在 15:00 最小^[21]。据此分析,在出现最低气温时间(08:00 前后)之前太阳辐射很小,气溶胶的作用以吸收和散射长波辐射为主,对气温下降起到抑制作用。而出现最高气温时间(15:00 前后)太阳辐射较强,气溶胶的作用转而以

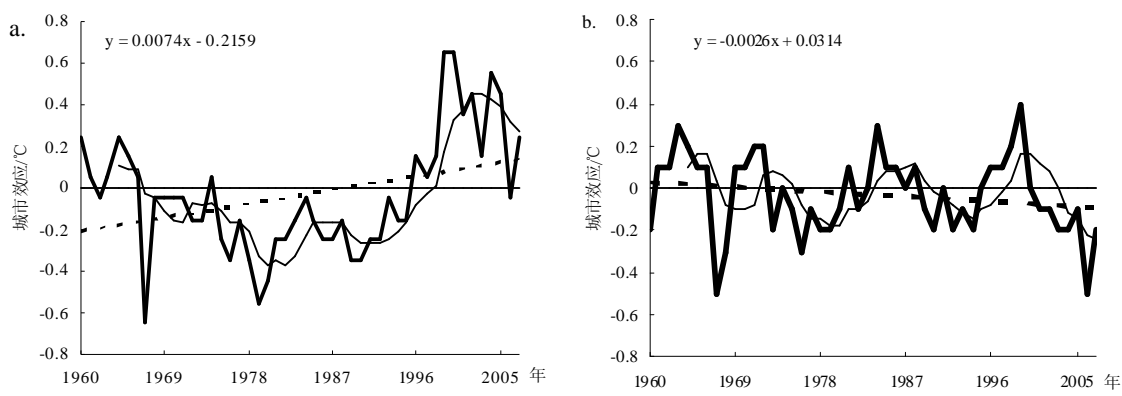


图 4 昆明(a)和安宁(b)平均最高气温城市效应年际变化

Fig.4 Interannual variations of annual mean maximum temperature for urbanization effect in Kunming(a) and Anning(b)

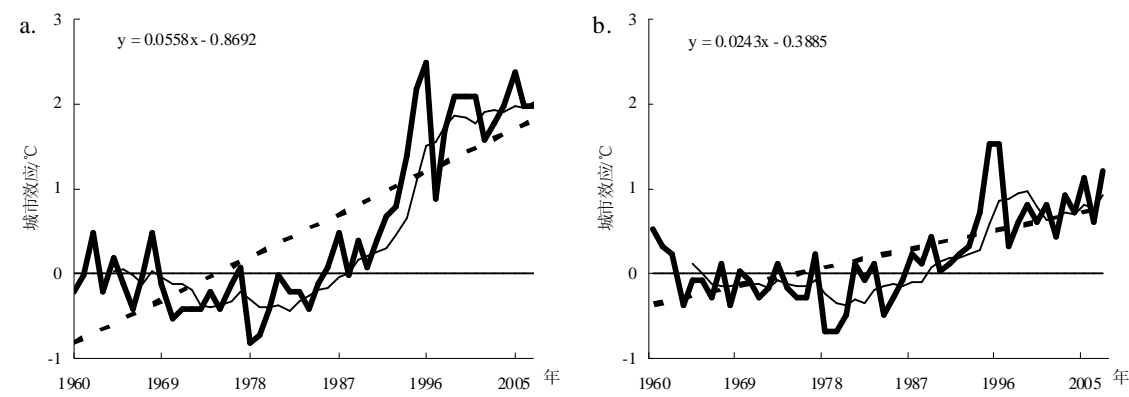


图 5 昆明(a)和安宁(b)平均最低气温城市效应年际变化

Fig.5 Interannual variations of annual mean minimum temperature for urbanization effect in Kunming(a) and Anning(b)

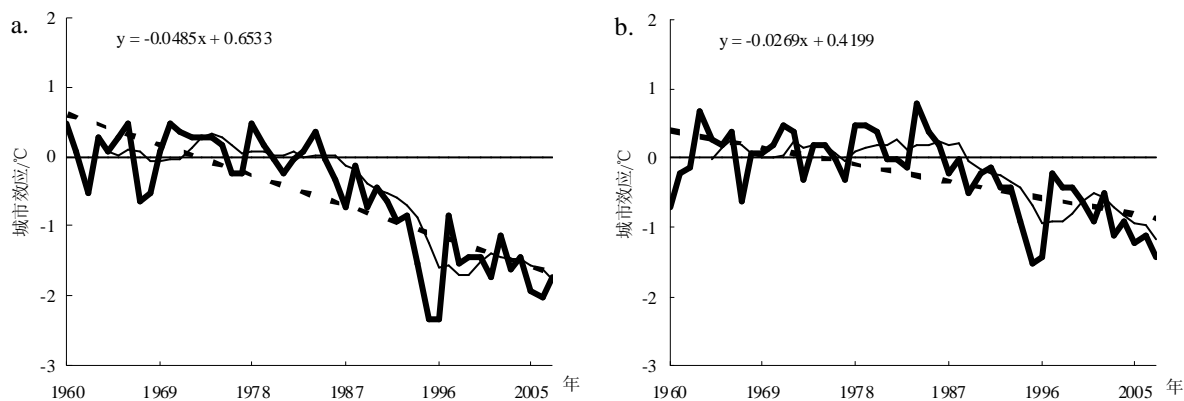


图 6 昆明(a)和安宁(b)平均日较差城市效应年际变化

Fig.6 Interannual variations of annual mean diurnal temperature range for urbanization effect in Kunming(a) and Anning(b)

吸收和散射太阳辐射为主,对气温的上升又起到抑制作用,两个方面作用的结果对气温日较差总体上有降低作用。

昆明及邻近地区城市的发展在 20 世纪 80 年代以前较为缓慢,其后进入了一个高速发展期。1985–2005 年,昆明城市建成区面积由 80 km² 增加到 117 km²,增长 2.125 倍,安宁市建成区面积由 1.67 km² 增加到 19.2 km²,增加近 11.5 倍。在此期间昆明和安宁两地日较差城市效应为-0.74 °C/10a 和-0.57 °C/10a,远高于 1960–2007 年平均水平。可以认为城市的发展导致人类活动的急剧增加,使气溶胶的浓度大幅上升,有效降低了日较差。在季节变化上,冬春季是城市化效应最显著的季节,而在夏季最不显著,其原因可能与冬春季节空气干燥、气溶胶浓度较大,而夏季云雨天气较多,气溶胶随雨水沉降至地面,空气透明度较好有关。

5 其他气象要素变化

5.1 极端气温

3 种环境下年极端最高气温均没有出现显著变化,城市效应变化也并不显著。而极端最低气温则均出现了升高的趋势,其中极端最低气温气候倾向率昆明为 0.79 °C/10a,安宁为 0.69 °C/10a (均通过 99%的信度检验),太华山有 0.32 °C/10a 小幅升高,未能通过 95%的信度检验。昆明和安宁的城市效应为 0.47 °C/10a 和 0.36 °C/10a(分别通过 99%和 95%的信度检验)。城市化所产生的人类活动加剧,以及地表属性的改变对极端最低气温的下降起到显著的抑制作用。

5.2 相对湿度

分析表明,昆明和安宁相对湿度均显著下降,气候倾向率分别为-1.49%/10a 和-0.47%/10a (通过

99%和 95%的信度检验),而太华山却显著上升,气候倾向率为 0.41%/10a(通过 95%的信度检验)。城市效应昆明为-1.89%/10a,安宁为-0.88%/10a(均通过 99%的信度检验),且在季节分布上十分均匀。这一结果与文献[22]所得到的结果相一致,可能是由于城市建设造成地面硬化、地表含水量减少和气温升高所造成。

5.3 霜日数

昆明霜日数显著减少(-7.27 d/10a,通过 99%的信度检验)。安宁霜日数小幅减少(-1.51 d/10a),而太华山小幅增加 (1.83 d/10a),2 站均不能通过 95%的信度检验。但霜日数城市效应比较显著,昆明和安宁分别达到-12.30 d/10a 和-2.84 d/10a (分别通过 99%和 95%的信度检验)。由于霜的形成需要以地面温度降低至 0°C 为条件,城市站霜日数的显著减少与最低气温显著升高关系密切。对于太华山站霜日数的增加,则可能与其他条件关系更为密切。例如该区域的霜基本上是辐射霜,且几乎都出现在冬季晴朗无风的早晨,虽然太华山站冬季最低气温也呈上升趋势,但升温幅度不大,不能通过显著性检验。而太华山站冬季总云量和风速是减少的,有利于霜的形成。

6 小结

通过分析可以得到如下结论。

①1960–2007 年间,处于不同环境下的昆明及邻近地区气温显著上升,且具有一致性。②城市化加剧了平均气温上升的幅度,大城市和小城市的平均气温城市效应分别达到 0.31°C/10a 和 0.09°C/10a,急剧的变化出现在 1980 年代后期城市高速发展期。③城市化加剧了平均最低气温的显著升高,但对平均最高气温影响不明显。由此导致气温日较

差的显著减小,大城市和小城市的城市效应分别达到 $-0.49^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,急剧的变化也出现在1980年代后期。(4)城市化还引发了其他气象要素的变化。其中极端最低气温显著升高,相对湿度显著降低,霜日数显著减少,且城市规模越大越显著。

本研究结果可对长序列气象要素变化的城市化环境因素修正提供依据。

参考文献

[1] 丁一汇,任国玉,石广玉. 气候变化国家评估报告 I: 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.

[2] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature*, 1990, 347(4): 169-172.

[3] Karl T R, Diaz H F, Kukla G. Urbanization: It's detection and effect in the United States climate record. *Journal of Climate*, 1988, (1): 1099-1123.

[4] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响. 气象, 1991, 17 (4): 14-17.

[5] 唐国利,任国玉. 近百年来中国地表气温变化趋势的再分析. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 792-798.

[6] 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. 自然科学进展, 2005, 15(7): 882-886.

[7] 方锋,白虎志,赵红岩,等. 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, 2007, 26(3): 579-585.

[8] 初子莹,任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响. 气象学报, 2005, 63(4): 534-540.

[9] 林学椿,于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2005, 48(1): 39-45.

[10] 陈燕,蒋维楣,吴润,等. 利用区域边界层模式对杭州市热岛的模拟研究. 高原气象, 2004, 23(4): 519-528.

[11] 李文莉,李栋梁,杨民. 近 50 年兰州城乡气温变化特征及其周末效应. 高原气象, 2006, 25(6): 1161-1167.

[12] 白虎志,任国玉,张爱英,等. 城市热岛效应对甘肃省温度序列的影响. 高原气象, 2006, 5(1): 90-94.

[13] 程建刚,解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析. 地理科学进展, 2008, 27(5): 19-26.

[14] 程建刚,王学锋,范立张,等. 近 50 年来云南气候带的变化特征. 地理科学进展, 2009, 28(1): 18-24.

[15] 陈铁喜,陈星. 近 50 年中国气温日较差的变化趋势分析. 高原气象, 2007, 26(1): 150-157.

[16] 张一平,何云玲,马友鑫,等. 昆明城市热岛效应立体分布特征. 高原气象, 2002, 21(6): 604-609.

[17] 张一平,彭贵芬,李佑荣,等. 低纬高原地区城市化对室内外气温的影响研究. 高原气象, 2001, 20(3): 311-317.

[18] 何萍,陈辉,李宏波,等. 云南高原楚雄市热岛效应因子的灰色分析. 地理科学进展, 2009, 28(1): 25-32.

[19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007: 63-66.

[20] 石广玉,王标,张华,等. 大气气溶胶的辐射与气候效应. 大气科学, 2008, 32(4): 826-840.

[21] 任丽新,游荣高,吕位秀,等. 城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响. 气候与环境研究, 1999, 4(1): 67-73.

[22] 郑思轶,刘树华. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响. 气候与环境研究, 2008, 13(2): 123-133.

The Impact of Urbanization on Temperature in Kunming for the Last 48 Years

WANG Xuefeng¹, ZHOU Deli², YANG Pengwu¹

(1. Yunnan Climate Center, Kunming 650034, China; 2. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

Abstract: Selecting Kunming, Anning and Taihuashan stations represent big city, small city and rural area over Low Latitude Plateau respectively, using the meteorological data of three observation stations from 1960 to 2007, analyzed the variations of temperature by the development of the different city size. The results show: (1) The mean temperature of the area nearby Kunming is rising remarkably and conformably in recent 48 years. (2) Urbanization quickens the rising range of mean temperature. Urbanization effects reach $0.31^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ in big city and $0.09^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ in small city. The sharp rise has happened in later period of 1980s that has a high-speed urbanization. (3) Urbanization quickens the rising of mean minimum temperature remarkably, but the influence of mean maximum temperature is not obvious. That bring diurnal temperature range to remarkable decrease, urbanization effects reach $-0.49^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ in big city and $-0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ in small city. (4) Urbanization brings other climate elements to remarkable variations too, such as the rise of extreme minimum temperature, the drop of relative humidity, the decrease of frost days. But the influence of extreme maximum temperature is not obvious.

Key words: urbanization; urbanization effect; temperature; test; Kunming

本文引用格式:

王学锋,周德丽,杨鹏武. 近 48 年来城市化对昆明地区气温的影响. 地理科学进展, 2010, 29(2): 145-150.