

郑祚芳,任国玉,2018. 北京地区大气湿度变化及城市化影响分析[J]. 气象,44(11):1471-1478.

北京地区大气湿度变化及城市化影响分析^{*}

郑祚芳^{1,3} 任国玉^{2,3}

1 中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089

2 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

3 中国地质大学环境学院大气科学系,武汉 430074

提 要: 应用北京 20 个常规气象站 1976—2015 年逐日观测及同期北京城市发展数据,并借鉴一个新的城、郊区代表站点分类方法,分析了北京地区相对湿度的分布、变化特征及其对城市化的响应。结果表明:(1)北京地区相对湿度的空间分布不均匀,城市化发展早期相对湿度的分布主要受地形影响,城市化程度较高的年代城市效应的影响更为明显;(2)近 40 年来北京地区平均相对湿度呈现下降趋势,线性倾向率为 $-0.9\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。城区相对湿度的下降速率比郊区大,城、郊差异主要表现在 20 世纪 90 年代以后;(3)近 40 年来北京城市干岛强度呈上升趋势,线性倾向率为 $1.3\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,城市干岛效应在季节分布上以冬季为最强,秋、春季次之,夏季较弱。检验表明自 1995 年以来北京干岛效应呈现出更为明显的增强趋势;(4)北京城市干岛效应与城市化进程有密切联系,其与北京城市化率及城市热岛强度之间具有显著的高相关性,相关系数分别高达 0.87 和 0.86。

关键词: 城市化,相对湿度,气候变化,干岛效应,北京

中图分类号: P463.X16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.11.010

Analysis on Atmospheric Humidity Change and Its Response to Urbanization in Beijing Area

ZHENG Zuofang^{1,3} REN Guoyu^{2,3}

1 Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

2 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, CMA, Beijing 100081

3 Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074

Abstract: Based on the daily observations of Beijing's 20 conventional meteorological stations from 1976 to 2015 and the urban development data of Beijing in the same period, the distribution and variation characteristics of relative humidity in Beijing and its response to urbanization are analyzed by using a new classification method of representative stations in urban and suburban areas. The results show that the spatial distribution of relative humidity in Beijing is uneven, in which the spatial distribution of relative humidity is mainly affected by topography in the early stage of urbanization and by urbanization in the stage of higher urbanization. In recent 40 years, the average relative humidity in Beijing presents a downward trend with a linear tendency rate of $-0.9\% \cdot 10 \text{ a}^{-1}$, and the decline rate of urban relative humidity is larger than that of suburbs especially after 1990s. Moreover, the intensity of urban dry islands in Beijing shows an upward trend in the past 40 years, with a linear tendency rate of $1.3\% \cdot 10 \text{ a}^{-1}$. The urban dry island effect is the strongest in winter, followed by autumn and spring, and weaker in summer. Note that the dry island effect of Beijing has shown a more obvious trend of enhancement since 1995. Additionally, the urban

^{*} 国家重点研发计划(2017YFC1502104)、国家自然科学基金项目(41575010)和北京市自然科学基金重点项目(8171002)共同资助

2017 年 6 月 14 日收稿; 2018 年 2 月 28 日收修定稿

第一作者:郑祚芳,主要从事区域气候及精细天气预报相关研究. Email:zfzheng@ium.cn

dry island effect of Beijing is closely related to the urbanization process, and has a significant high correlation with the urbanization rate and the intensity of urban heat island, with the correlation coefficients as high as 0.87 and 0.86 respectively.

Key words: urbanization, relative humidity, climate change, dry island effect, Beijing

引 言

近年来,有关城市化对区域气候的影响开始引起人们越来越多的关注。城市化带来生产、生活活动的集中化,使得气象灾害和大气环境污染造成的影响更为集中且严重。同时城市大范围不透水下垫面也对大气结构和水热交换过程造成了明显的影响,这些结构导致城市区域局地气候的显著变化(徐祥德等,2004;王迎春等,2012)。以往有关城市化对局地气候的影响大多针对城市热岛效应展开(徐兆生等,1987;周淑贞,1983;沈滢洁等,2017),结果表明城市化对城市地区气温具有明显正效应,在不同季节均表现为增温趋势。相对于城市热岛效应而言,有关大气湿度影响的研究还不多见。城市下垫面对低层大气的的影响不仅包括热力方面,也包括动力影响。当地表气温增加以后,近地表大气露点温度上升,饱和水汽压增加,如果实际水汽压不变,则会使相对湿度减少(丁一汇和柳艳菊,2014)。大气湿度对远距离能源输送(常蕊等,2016)、降水(王宇虹等,2015)、大气能见度(白永清等,2016;樊高峰等,2016)、及环境空气质量(潘玮等,2017)、城市气候承载力(闫胜军等,2016)都有很明显的影。大气湿度其不仅会影响人体舒适度,而且在边界层雾-霾转变中亦起着重要的作用,探讨区域和局地尺度大气湿度变化的特征,对于深入认识雾、霾长期变化的原因与雾-霾转换宏观气象条件的变化也是十分有益的(丁一汇和柳艳菊,2014)。

国外针对大气湿度的研究开展较早,Hage(1975)利用城区及郊区机场地面观测资料对美国芝加哥市大气湿度进行的研究发现,芝加哥城、郊相对湿度差具有明显的季节差异。在冬季,芝加哥市区相对湿度要高于乡村;其他季节,市区相对湿度则要低于乡村。Fortuniak et al(2006)分析了波兰 Lodz 地区 1997—2002 年相对湿度的城、乡差异,亦发现城市地区的相对湿度要明显低于乡村,在某些时段内城、郊相对湿度差值甚至可达到 40%。Ahmed(2003)进一步研究了不同相对湿度下人体体感舒适

气温的分布特征,发现在气温较高时,人体体感舒适性对局地相对湿度具有高敏感性。Willett et al(2008)的分析还发现,1973—2003 年全球比湿整体具有增加的趋势,并且这种增湿趋势在热带地区和北半球尤为显著。国内有关区域大气湿度及其与城市化影响的相关研究开展较晚,姜江等(2017)研究发现,中国区域年干湿指数总体上呈现下降趋势,空间上表现为西部湿润化和东部干旱化共存的特征;Liu et al(2009)分析表明,大规模的城市效应会使得城区的相对湿度和水汽压减小。窦晶晶等(2014)应用近 5 年自动气象站观测资料,分析了北京区域平均大气湿度的日变化及季节差异,得到和 Hage(1975)类似的结论。由于城市化本身是一个较长时间的发展过程,为了更好地探讨城市化的区域气候效应,需要考虑更长时间气象要素的变化情况。王晓默等(2014)分析了近 30 年来山东省济宁市城市化过程对本地相对湿度的影响,发现济宁城市干岛效应呈增加趋势,并具有明显的季节性变化特征,表现为春季干岛效应最强,秋、冬季次之,夏季最弱。

近几十年来北京城市化进程加快,城市规模迅速扩大,但目前对于这种快速、大规模城市化过程对大气湿度产生的影响,还缺少足够的了解。本文应用 20 个常规气象站较长时间的逐日观测资料,分析讨论北京地区相对湿度的分布、变化特征及其对城市化的响应,以期增进对相关科学问题的认识。

1 资料及处理方法

本文所用的资料主要为 1976—2015 年北京地区 20 个常规站逐日观测序列,以及同期北京城市化率数据(城市人口占总人口数比率),分别来源于北京市气象信息中心及北京统计信息网。有研究表明(Li and Yan, 2009; 薛笋笋等,2017),历史观测期间气象观测站点的迁站及观测手段、时次的变化,容易导致观测数据出现不连续现象(或称“断点”),这种资料的非均一性会直接影响气候统计结果的代表性及准确性。朱亚妮等(2015)的研究亦指出,中国

地面相对湿度资料存在较严重的非均匀性问题,其中高达 68% 的台站数据存在断点。因而,对历史观测资料进行非均匀性检测和修订正,对于提高气象预报预测服务水平和气候变化研究水平,都具有重要的意义(任国玉等,2010)。最近,赵煜飞和朱亚妮(2017)采用薄盘样条法进行空间内插,建立了中国地面均一化相对湿度月值 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点资料集,这套数据为相关研究提供了较好的数据基础,但针对精细化的分析,分辨率仍显不足。Reeves et al (2007)曾经对标准正态检验、双相回归及威尔科克森非参数检验等几种主要的断点检测和订正方法进行了比较评估,结果表明在不使用参考序列时,标准正态检验方法效果最好。本文即采用标准正态检验方法,并借鉴 Wang and Gaffen(2001)的做法,首先对北京 20 站 1—12 月的年数据序列进行检验。对于被确认的资料断点,用断点年前后各 5 年的平均值的差值作为补偿值,来进行订正处理。例如,经检测发现北京站(54511 站)在 1981、1997 年存在数据断点,经查证历史沿革资料证实,这两个数据断点是由迁站引起的。订正时先对 1997 年的断点进行处理,即用 1998—2002 年各月平均值,减去 1992—1996 年相应月平均值,得到 12 个月的补偿值;然后把过去的序列订正到现在的站址记录上,即把断点前直至再早一个断点所有年的各个月,均加上那个月的补偿值,得到月订正值。之后再对前一个断点,依次进行订正。

作为一个样例,图 1 给出的是北京站订正前、后的年平均相对湿度序列。原序列中 1981、1997 年前后湿度分布具有较大的跃变,经过订正处理后的序列较好地修复了这种记录中的不连续性。订正前、后

北京站近 40 年来的变率分别为 $-1.8\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 和 $-2.2\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。经过断点订正后,相对湿度的下降趋势更为明显。

在讨论城市化影响的时候,其中一个关键的问题在于不同站点类型(如城市站和乡村站)的划分方法。过去的研究大多采用人口或经济规模,夜晚灯光指数以及遥感观测的土地覆盖信息,或者直接依据站点地理位置进行城乡站点划分(Ren et al, 2008; Peterson, 2003; Gallo et al, 1993; 窦晶晶等, 2014)。不同的方法得到的分类结果很不一致,导致最后得到的气候趋势分析结果也不一致。最近,王君等(2013)采用聚类分析等方法,将北京地区 20 个常规观测站点分为 4 类(城市站、近郊站、乡村站和山地站)。其分类结果虽与前人略有不同,但能通过遥感夜间灯光数据的合理性验证和 t -test 显著性检验,被认为综合了前述几种站点分类方法的优点。本文借鉴该方法,从北京 20 站中挑出 7 个城区代表站(北京、昌平、丰台、门头沟、通州、海淀、石景山)和 3 个郊县参考站(怀柔、平谷、密云),分别计算其平均值用来代表城、郊区的相对湿度值,以避免应用单一站点可能导致代表性不足的缺陷。

参考城市热岛强度的定义,文中定义城市干岛强度为:

$$\Delta RH_{u-r} = -(\overline{RH_u} - \overline{RH_r}) \quad (1)$$

式中, ΔRH_{u-r} 为干岛强度, $\overline{RH_u}$ 为城区站点的平均相对湿度, $\overline{RH_r}$ 为郊区站点的平均相对湿度。当 $\Delta RH_{u-r} > 0$ 时,称为城市干岛;反之,当 $\Delta RH_{u-r} < 0$ 时,则称为城市湿岛。

本文通过计算距平百分率方法来分离相对湿度记录中的大尺度气候背景和局地变化(于淑秋,

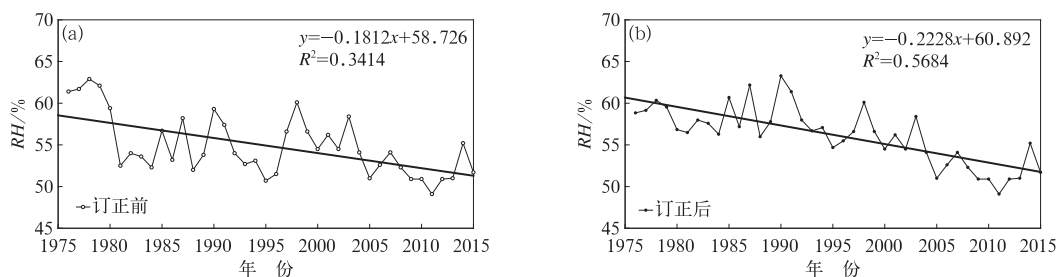


图 1 北京站(a)订正前,(b)订正后相对湿度序列

Fig. 1 Time series of annual relative humidity at Beijing Station

(a) before homogenization, (b) after homogenization

2007)。具体做法是用北京 20 个站 40 年相对湿度(记为 RH_{ij})资料,先对 20 个站年相对湿度作平均,得到北京地区年相对湿度序列(记为 RH_j)代表大尺度相对湿度,将它的多年平均记为 RH_m ,则局地相对湿度距平百分率可定义为 $DRH_{ij} = (RH_{ij} - RH_j)/RH_m$ 其中 $i=1,2,\dots,20, j=1,2,\dots,40$ 。它反映的是各站点间相对湿度的局地差异。

此外,本文中还应应用到线性趋势分析及 Mann-Kendall 统计方法用来检验序列的变化趋势及突变特征。

2 北京地区相对湿度的时间与空间分布特征

图 2 给出的是北京地区相对湿度的空间分布。从近 40 年的平均状况来看(图 1a),各站点间相对湿度分布不均匀,大部分站点的相对湿度位于 54%~60%。其中,西部高海拔山区为相对湿度低值区,西南部及东北部平原地带为相对湿度高值区,房山站、平谷站的值甚至超过了 60%。郑祚芳等(2013)通过检验发现,近 40 年北京的城市化进程可分为两个阶段,分别为城市化发展初期和成熟期,这两个阶段分界点约在 1990 年前后。在城市化发展较早时期(图 2b),相对湿度的分布主要受地形影响,等值线基本沿地形梯度分布,这一时期北京城区站点的相对湿度平均值为 55.6%,郊区站点的相对湿度平均值为 58.6%,城、郊相对湿度相差约 3%。在城市化集中度较高的年代(图 2c),城市效应的影响变得更为明显,等值线基本上以城区站点为中心向外呈现发散性分布。同期内城区站点的相对湿度平均值为 52.7%,郊区站点的相对湿度平均值为 57.6%,城、郊相对湿度差扩大到 4.9%。同时我们注意到,在图 2c 中(下文图 4b 类似),海淀站与其他城区站点表现不太一致,在所有城区站点中相对湿度的值最高,形成“孤岛”,可能与海淀站所处位置有关,海淀站毗邻海淀公园,对相对湿度的测量影响较大。

从相对湿度的年际分布看出(图 3a,3b),近 40 a 来北京地区相对湿度呈波动性减少趋势,年际差异较大,20 站相对湿度的平均递减率约为 $0.9\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。其中城区、郊区相对湿度的递减率分别为 $1.7\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $0.4\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,城区站点相对湿度的下降速率约是郊区站点的 4 倍,其下降趋势超过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验。此外可见,在 20 世纪 90 年代中期(1995 年)之前,城区、郊区间相对湿度差异较为稳定,自 1995 年以来,城区相对湿度显著减少,下降趋势要明显大于郊区,这与近年来北京城市化进一步加快,城市建筑密度的进一步增强有很大关系。图 3c 给出的是北京城区、郊区近 40 年平均相对湿度的月际分布。在不同的月份,城区相对湿度均低于郊区,且均为单峰型结构。表现在夏、秋季平均湿度较高,其中 7 月最大(分别为 88.1% 和 90.7%)。冬、春季相对湿度较小,其中 4 月最小(分别为 45.3% 和 49.3%)。

本文对北京城区、郊区平均相对湿度差值即城市干岛强度进行了 Mann-Kendall 检验。检验结果发现,在 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验的标准下,城区、郊区间相对湿度差值的上升趋势在 1995 年超过了临界线(图 3d),表明北京城区干岛效应自 1995 年以来呈现出更为明显的增强趋势,与图 3b 中对应良好。这一时间点略滞后于年北京地区平均气温的增暖性突变年份(1993 年)。

表 1 给出的是北京城区、郊区各季节相对湿度的线性变化趋势。可见无论在城区还是在郊区,其春、夏、秋、冬四季相对湿度的年变化与年平均相对湿度的变化趋势一致,均表现为下降趋势,但季节间差异较大。相对湿度在春季下降趋势最为明显:城区下降速率为 $2.75\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,郊区为 $1.48\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,表明北京地区大气湿度的减少主要是由于春季的变干所导致。其次为秋季:城区为 $1.66\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,郊区为 $0.61\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,夏季和冬季相对湿度的下降趋势相对较弱。

表 1 北京城、郊区不同季节和年平均相对湿度线性趋势
Table 1 Seasonal changes of mean relative humidity in Beijing Area

	春季	夏季	秋季	冬季	年
城区	$-2.75\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.57\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-1.66\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.82\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-1.68\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$
郊区	$-1.48\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.16\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.61\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.12\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$	$-0.41\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$

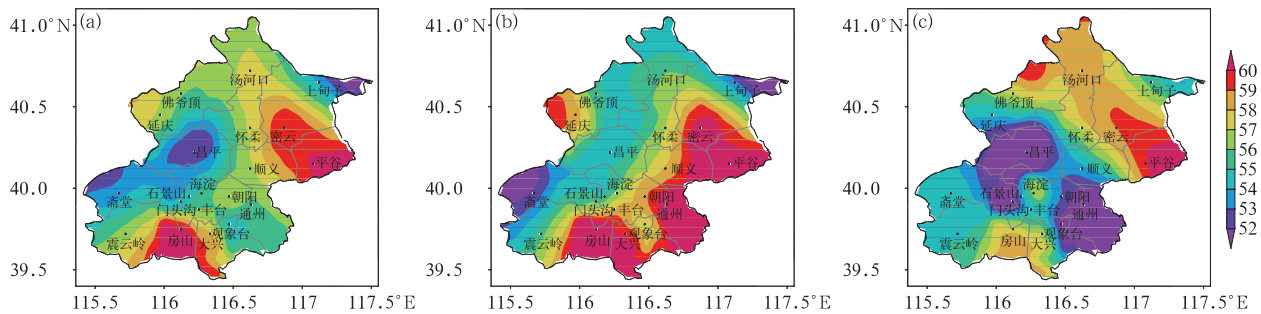


图 2 北京地区(a) 1976—2015 年,(b) 1976—1985 年,(c) 2006—2015 年平均
相对湿度分布(单位: %)

Fig. 2 Spatial distributions of annual mean relative humidity in Beijing Area (unit: %)

(a) 1976—2015, (b) 1976—1985, (c) 2006—2015

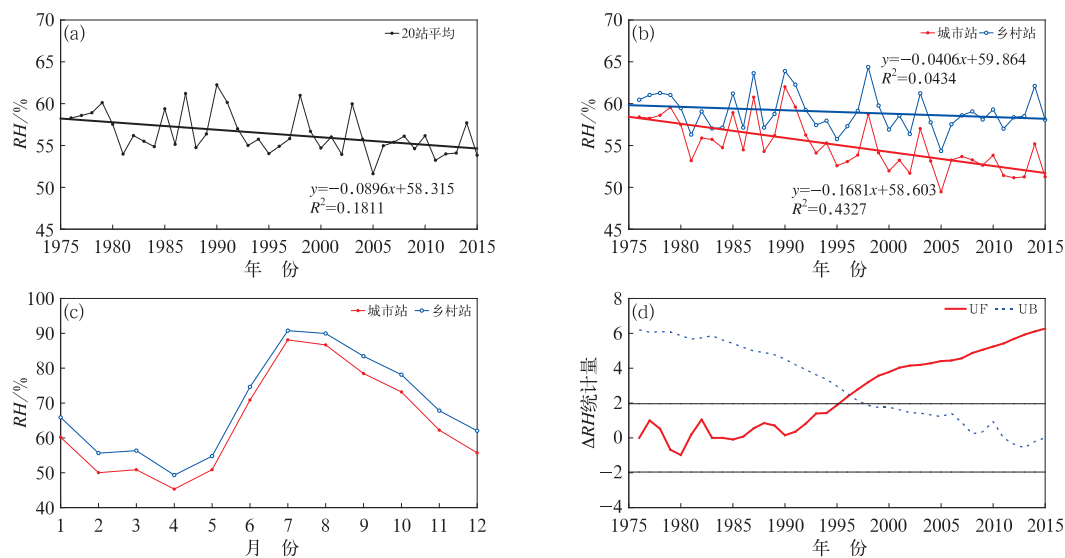


图 3 北京地区相对湿度年际变化(a,b)、月际变化(c)及
城、郊差值的 Mann-Kendall 检验结果(d)

Fig. 3 Variations of interannual mean relative humidity (a, b), monthly mean
relative humidity (c) and Mann-Kendall abrupt change test of annual
mean relative humidity series (d) in Beijing Area

3 北京城市干岛效应

为了讨论相对湿度的局地变化特征,按前文方法计算并绘制了北京城市化发展不同时期相对湿度的空间距平百分率(图 4)。这种计算变换消除了原始观测序列中的大尺度气候背景,反映的是各站点间局地湿度的变化差异(于淑秋,2007)。在城市化发展早期(图 4a),北京相对湿度空间距平百分率的分布与图 2b 类似,主要受地形梯度影响较大,西部、北部高海拔山区以负距平为主,山前平原地带主要为正距平区。城区、郊区站点间相对湿度的局地

变化差异不明显。这与期间北京城市化发展较缓慢,城、郊代表站点间下垫面差异没有本质的不同有关(赵娜等,2011)。在城市化集中度较高的时期(图 4b),情况则有很大的不同,表现在等值线以城区站点为中心向外呈现发散性分布。在城区站点所在的区域,大多为负距平区(如昌平站的中心强度可达 -6% 以上),而包括乡村站、近郊站和山地站的其他地方均为正距平区,这种分布形态表现出明显的城市干岛效应特征,城市化发展使得相对湿度下降。这种现象与郑祚芳等(2013)关于北京地区降水量的分析结果是类似的。表明在这一时期,城市化效应已成为影响局地大气湿度分布的主要因子。

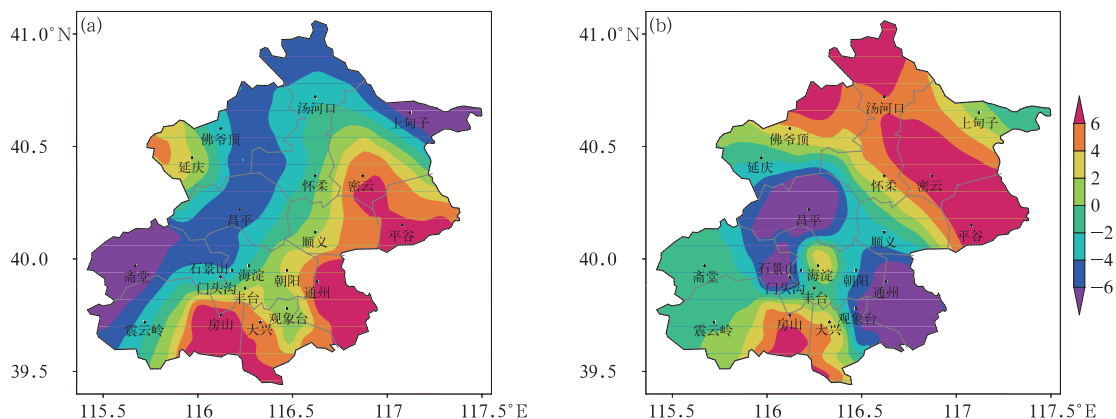


图4 北京地区(a) 1976—1985年,(b) 2006—2015年平均
相对湿度空间距平百分率(单位: %)

Fig. 4 Distribution of annual mean relative humidity anomaly percentages (unit: %) over Beijing Area in 1976—1985 (a) and 2006—2015 (b)

图5a给出的是北京城市干岛强度的年际、月际分布。可以很清楚地看到,近40年来北京城市干岛强度呈现波动上升趋势,特别是20世纪90年代中期以来,干岛强度快速增加。统计表明,1976—1985年期间干岛强度的均值为2.3%,而最近10年(2006—2015)这个值已经达到6.0%,提高了2.6倍。北京地区近40年干岛强度的线性倾向率为 $1.3\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,上升趋势远超过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验($R^2=0.803$)。这一数值亦远大于王晓默等(2014)统计得到的山东省济宁城市干岛强度倾向率 $[0.2\% \cdot (10\text{ a})^{-1}]$,可见城市干岛现象在不同城市之间的差异是很明显的,城市规模越大,其对区域大气湿度的影响也越明显。

季节变化统计表明,北京城市干岛效应以冬季为最强(5.9%),秋季(5.1%)、春季(4.5%)次之,夏季干岛强度最弱(3.2%)。线性倾向率则以春季

$[1.2\% \cdot (10\text{ a})^{-1}]$ 为最大,秋季 $[1.0\% \cdot (10\text{ a})^{-1}]$ 、冬季 $[0.6\% \cdot (10\text{ a})^{-1}]$ 次之,夏季 $[0.4\% \cdot (10\text{ a})^{-1}]$ 最小。图5b是近40年平均的干岛强度的月际分布。可见,北京地区干岛在12月最强(达6.3%),7月最弱(仅为2.6%)。

由前文分析表明,在城市化发展不同时期,北京城、郊区间的相对湿度的分布具有很大的不同。北京的城、郊相对湿度差与城市化进程之间相关性如何?是值得关注的问题。为此,本文统计了近40年来北京城市化率(即城镇人口占总人口的比例)与城市干岛(ΔRH)间的对应分布(图6a)。可见,北京城市干岛强度与城市化率之间有着良好的协同关系,城市化率越高,对应的城市干岛强度越大。近40年来,北京城市化率每提升10%,城市干岛强度就会相应地增加约2.8%,二者间的线性相关系数达到0.87,超过0.001的信度标准。

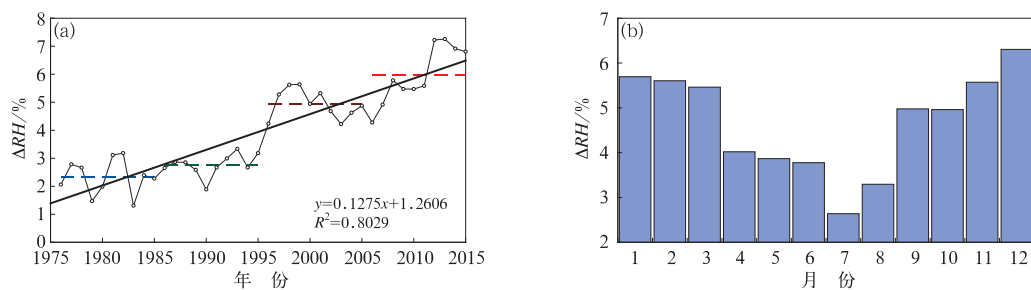


图5 北京地区干岛强度的年际(a)及月际(b)分布
(图5a中虚线为每10年干岛强度的平均值)

Fig. 5 Variation of dry island intensity in Beijing Area
(a) interannual variation, (b) monthly mean dry island intensity
(dotted line for mean of decadal variation in Fig. 5a)

此外,还有研究表明,大气中的水汽存储能力随着气温升高具有增加的趋势(Boer, 1993)。当地表温度增加后,地表饱和水汽压将会增加,如果实际水汽压不变,则会导致相对湿度的减少。Allen and Ingram(2002)通过数值模拟发现,全球平均气温每增加 1°C ,平均相对湿度会减少约 3.4% 。这一关系也为探讨城市热岛与城市干岛效应的关系提供了基础。理论上,城市热岛与城市干岛强度之间应该具有正相关关系。图 6b 给出的是近 40 年北京城市干岛强度(ΔRH)随城市热岛强度(ΔT)的分布。可见清楚地看到,在城市热岛较强的年份,城市干岛也相对较强,城市热岛较弱的年份,城市干岛也相对较弱。计算得到北京城市干岛强度与热岛强度间的相关系数为 0.86,亦超过 $\alpha=0.001$ 显著性水平检验标准,具有显著的高相关性。近 40 年来北京城市干岛强度随热岛强度的增加速率约为 $4.7\% \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$,这意味着随着北京城市化集中度的不断提高,城市暖、干化趋势将会变得越来越明显。

4 结 论

应用北京 20 个常规气象站 1976—2015 年逐日观测及同期北京城市发展数据,在对历史观测数据进行订正处理的基础上,借鉴一个新的站点分类方法,分析了北京地区相对湿度的分布、变化特征及其对城市化的响应,主要结论如下:

(1) 数据均一化订正能够较好地修复记录中的不连续性。订正前、后北京站近 40 年来相对湿度的线性倾向率分别为 $-1.8\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 和 $-2.2\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。经过订正处理后,相对湿度的下降趋势更为明显。

(2) 北京地区相对湿度的空间分布不均匀,城

市化发展早期相对湿度的分布主要受地形影响,城市化程度较高的年代城市效应的影响更为明显。

(3) 近 40 年来北京地区平均相对湿度呈下降趋势,线性倾向率约为 $-0.9\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。城区相对湿度的下降速率比郊区大,且自 1990 年代以来下降趋势要明显大于郊区。

(4) 近 40 年来北京城市干岛强度的上升趋势约为 $1.3\% \cdot (10\text{ a})^{-1}$,季节分布上以冬季为最强,秋、春季次之,夏季较弱。检验表明北京城区干岛效应自 1995 年以来呈现出更为明显的增强趋势。

(5) 北京城市干岛效应与城市化进程有密切联系,其与北京城市化率及城市热岛强度之间具有显著的高相关性,相关系数分别高达 0.87 和 0.86。

5 讨 论

相较于城市热岛效应的高关注度而言,有关城市干岛现象的研究还不是很多见。本文统计发现,北京地区干岛强度具有显著的上升趋势,最近 10 年的干岛强度较 30 年前已经提高了一倍多。得到的北京城市干岛强度要远大于王晓默等(2014)统计得到的山东省济宁市的城市干岛强度,可见城市规模越大,其对区域大气湿度的影响也越明显。在讨论城市化影响的时候,城、郊区代表站点的选取是很重要的,不同的站点划分方案往往会导致不同的分析结果。本文在分析时参考了王君等(2013)新提出的方案,虽然考虑了诸多因素,但应该注意到该分类方案中的郊区代表站(怀柔、平谷、密云)还是都位于县城附近,这些站点本身都正在经历着或强或弱的城市化过程,因而他们还不能称之为严格意义上的“乡村站”。此外,文中海淀站近 10 年来相对湿度的变化与其他城市站点相比明显偏高,这很可能与海淀

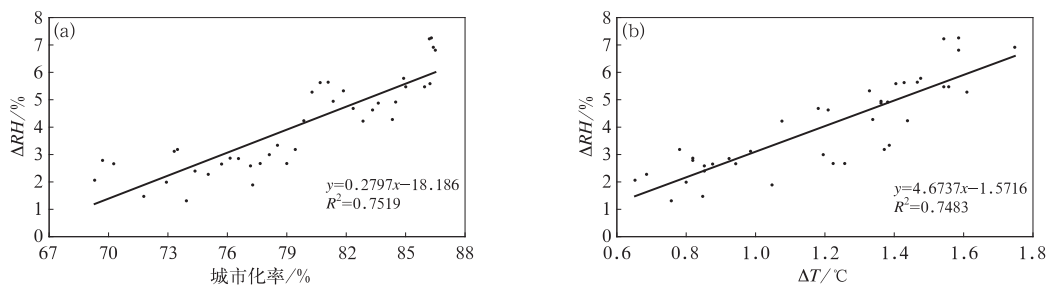


图 6 北京城市干岛与城市化率(a)及城市热岛(b)的相关性

Fig. 6 The correlations between urban dry island and urbanization rate (a), and heat island (b) in Beijing City

站的具体位置有关(毗邻海淀公园)。因此,文中由此得到的干岛强度及其变化速率,应该说也是保守的,真正的值要比这更大。今后,仍有必要进一步研究更合理的站点划分及代表站点的遴选方法。

由于大气湿度变化不仅会影响人体舒适度、对降水产生影响,其在雾-霾转变中亦起着重要的作用,因而其对区域大气环境也会产生影响(丁一汇和柳艳菊,2014)。北京地区近40年来相对湿度的持续下降表明,发生在本地的霾向雾转换会变得更加不容易,这意味着在污染源排放保持不变的情况下,北京地区的霾日将可能持续更长的时间或更容易发生。其次,北京城市热岛强度的不断增强及其与城市干岛强度之间存在的显著高相关性表明,发生于城区的霾污染将可能比郊区更为严重。因而,进一步采取措施减缓城市干岛效应,对于改善城市空气质量也是有益的。

参考文献

- 白永清,祁海霞,刘琳,等,2016. 武汉大气能见度与 $PM_{2.5}$ 浓度及相对湿度关系的非线性分析及能见度预报[J]. 气象学报, 74(2): 189-199.
- 常蕊,周宁,王欣雯,等,2016. 河南电网“污闪”故障的综合气象因素分析[J]. 气象, 42(11): 1387-1394.
- 丁一汇,柳艳菊,2014. 近50年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学:地球科学, 44(1): 37-48.
- 窦晶晶,王迎春,苗世光,2014. 北京城区近地面比湿和风场时空分布特征[J]. 应用气象学报, 25(5): 559-569.
- 樊高峰,马浩,张小伟,等,2016. 相对湿度和 $PM_{2.5}$ 浓度对大气能见度的影响研究:基于小时资料的多站对比分析[J]. 气象学报, 74(6): 959-973.
- 姜江,姜大膀,林一骅,2017. 中国干湿区变化与预估[J]. 大气科学, 41(1): 43-56.
- 潘玮,左志燕,肖栋,等,2017. 近50年中国霾年代际特征及气象成因[J]. 应用气象学报, 28(3): 257-269.
- 任国玉,张爱英,初子莹,等,2010. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法[J]. 气象科技, 38(1): 78-85.
- 沈滢洁,王成刚,曹乐,等,2017. 屋顶绿化对城市降温效应的模拟分析——以南京市为例[J]. 气象, 43(5): 610-619.
- 王君,严中伟,李珍,等,2013. 近30年城市化对北京极端温度的影响[J]. 科学通报, 58(33): 3464-3470.
- 王晓默,谷山青,董宁,2014. 城市化发展对相对湿度的影响——以济宁市为例[J]. 中国农学通报, 30(26): 242-247.
- 王迎春,梁旭东,苗世光,等,2012. 城市气象研究动向的思考[J]. 气象, 38(10): 1232-1237.
- 王宇虹,徐国强,贾丽红,等,2015. 太行山对北京“7.21”特大暴雨的影响及水汽敏感性分析的数值研究[J]. 气象, 41(4): 389-400.
- 徐祥德,丁国安,卞林根,等,2004. BECAPEX 科学试验城市建筑群落边界层大气环境特征及其影响[J]. 气象学报, 62(5): 663-671.
- 徐兆生,沈建桂,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.
- 薛箴箴,高英育,郭建侠,等,2017. 探测环境变化对密云气象站地面风观测的影响[J]. 气象, 43(1): 84-90.
- 闫胜军,何霄嘉,王烜,等,2016. 城市气候承载力量化评价方法初探[J]. 气候变化研究进展, 12(6): 476-483.
- 于淑秋,2007. 北京地区降水年际变化及其城市效应的研究[J]. 自然科学进展, 17(5): 632-638.
- 赵娜,刘树华,虞海燕,2011. 近48年城市化发展对北京区域气候的影响分析[J]. 大气科学, 35(2): 373-385.
- 赵煜飞,朱亚妮,2017. 中国地面均一化相对湿度月值格点数据集的建立[J]. 气象, 43(3): 333-340.
- 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[J]. 气象, 39(12): 1635-1641.
- 周淑贞,1983. 上海城市发展对气温的影响[J]. 地理学报, 38(4): 397-405.
- 朱亚妮,曹丽娟,唐国利,等,2015. 中国地面相对湿度非均一性检验及订正[J]. 气候变化研究进展, 11(6): 379-386.
- Ahmed K S, 2003. Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments [J]. Energy and Buildings, 35(1): 103-110.
- Allen M R, Ingram W J, 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle[J]. Nature, 419(6903): 224-232.
- Boer G J, 1993. Climate change and the regulation of the surface moisture and energy budgets[J]. Climate Dyn, 8(5): 225-239.
- Fortuniak K, Klysik K, Wibig J, 2006. Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź [J]. Theor Appl Climatol, 84(1-3): 91-101.
- Gallo K P, McNab A L, Karl T R, et al, 1993. The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect[J]. J Appl Meteor, 32(5): 899-908.
- Hage K D, 1975. Urban-rural humidity difference[J]. J Appl Meteor, 14(7): 1277-1283.
- Li Zhen, Yan Zhongwei, 2009. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960-2008[J]. Atmos Oceanic Sci Lett, 2(4): 237-243.
- Liu Weidong, You Huanling, Dou Junxia, 2009. Urban-rural humidity and temperature differences in the Beijing area[J]. Theor Appl Climatol, 96(3-4): 201-207.
- Peterson T C, 2003. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: no difference found[J]. J Climate, 16(18): 2941-2959.
- Reeves J, Chen Jien, Wang X L, et al, 2007. A review and comparison of changepoint detection techniques for climate data[J]. J Appl Meteor Climatol, 46(6): 900-915.
- Ren Guoyu, Zhou Yaqing, Chu Ziyang, et al, 2008. Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China[J]. J Climate, 21(6): 1333-1348.
- Wang J X L, Gaffen D J, 2001. Late-twentieth-century climatology and trends of surface humidity and temperature in China[J]. J Climate, 14(13): 2833-2845.
- Willett K M, Jones P D, Gillett N P, et al, 2008. Recent changes in surface humidity: development of the HadCRUH dataset[J]. J Climate, 21(20): 5364-5383.