

不同而可能导致不同台站间降水量的变化特征不一致, 这里首先对选取的 5 个台站间降水量的年、季节平均序列进行空间相关分析, 结果显示各站间空间相关显著, 均通过了 0.01 的显著性检验。

3.1 年降水量的多年演变趋势分析

基于各站间降水量存在一定的空间相关, 利用普通 Kriging 法 (Oliver and Webster, 1990) 对 5 个台站近 50 年的多年平均降水量进行插值, 得到天津地区近 50 年多年平均降水量的等值线分布图 (图 1)。如图所示, 1960 年以来多年平均降水量基本呈北部山区多, 南部少, 东部沿海多, 西部少的分布特点。市区附近出现闭合的低值中心区, 其中最低值出现在西青为 539.6 mm; 而降水高值中心位于蓟县, 近 50 年平均降水量达 641.0 mm。造成这一局地降水分布特征的原因研究分析认为, 蓟县位于燕山山脉的南麓, 暖湿气流容易在迎风坡造成气旋性辐合, 当伴有足够的动力抬升和水汽辐合条件时, 地形对对流性降水有明显的激发作用 (廖菲等, 2009), 故北部山区降水最多。天津东临渤海, 盛行海风锋, 王彦等 (2006) 通过对该地区新一代天气雷达资料的研究得出海风锋对强对流天气有触发作用, 加之沿海地区有着充沛的水汽, 为降水提供了必要条件, 故海岸地区的降水也较多。最低值出现在城市的郊区, 这可能与该地区长期处于城市热岛环流的

下沉支区域有关。

图 2 给出 5 个台站年平均降水量距平及其 LOWESS 平滑曲线。从时间序列的统计特性来看, 降水量随时间呈现减少趋势, 1990 年代以后进入一个较为显著的降水量减少期。近 50 年来, 塘沽以 $-3.45 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 趋势减少, 表现最为突出; 蓟县次之, 变化趋势为 $-2.21 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$; 而市区减少相对最小, 为 $-1.29 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。对同一时期各个台站相对湿度变化趋势的统计得到, 近 50 年来年平均相对湿度均呈减少趋势, 同样, 市区减少的幅度相对最小, 塘沽相对较大, 而代表乡村环境的蓟县地区, 其相对湿度的减少幅度较市区略大。这一事实一方面说明了几十年的局地土地利用或城市化给塘沽地区的气候要素带来了一定影响, 这里可能主要集中于“城市热岛”与“城市干岛”的共同作用, 使得逐年降水量出现幅度较大的减少趋势; 另一方面反映出由于日益严重的大气污染, 降低了城市上空云水向雨水的转化, 使得城市化及工业化较早较快发展的市区, 降水量的趋势减少较缓慢。从多年演变角度分析, 对于位于滨海新区经济高速发展的塘沽地区来说, 1990 年以前以正距平分布为主, 1990 年以后则以负距平为主, 1960 年代是降水高峰期, 距平平均值达到 72.2 mm, 而 2000~2007 年距平平均值为 -73.6 mm , 达到近 50 年的最小值。蓟县降水量负距平主要集中在 1970 年代初期以前和 1990 年代中期以后; 同样, 2000 年以后的距平平均达到了近 50 年的最低值。处于城市化进程较早的市区及其近郊 (西青), 1980 年代以后就进入了主要的负距平分布时期。这一结论与周连童 (2009) 研究的华北地区的夏季降水变化趋势相似。

3.2 月降水量的趋势变化分析

研究中同样分析了近 50 年季节降水量的分布情况 (图略)。与年平均降水量的空间分布特点类似, 春、秋季降水量也集中分布在北部, 形成以西青为中心的低值区; 夏季低值中心区集中在市区附近; 冬季多年平均降水量则主要分布在西南部及东部, 北部相对较少, 但在西青地区同样出现了低值中心。从降水量大小来看, 近 50 年夏季最多, 冬季最少, 秋季多于春季。这种降水量的季节分布特征可能是受到东亚夏季风北边缘带对我国北方 (35°N 以北, $110^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$) 夏季降水

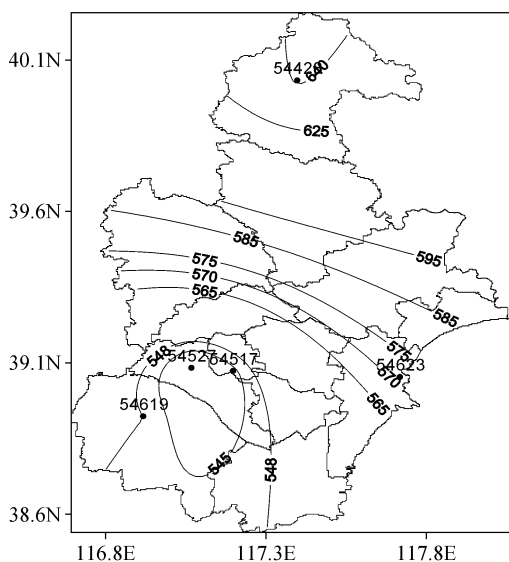


图 1 1960~2007 年多年平均降水量 (单位: mm) 分布图
Fig. 1 The distribution of multi-year average precipitation (mm) during 1960 - 2007

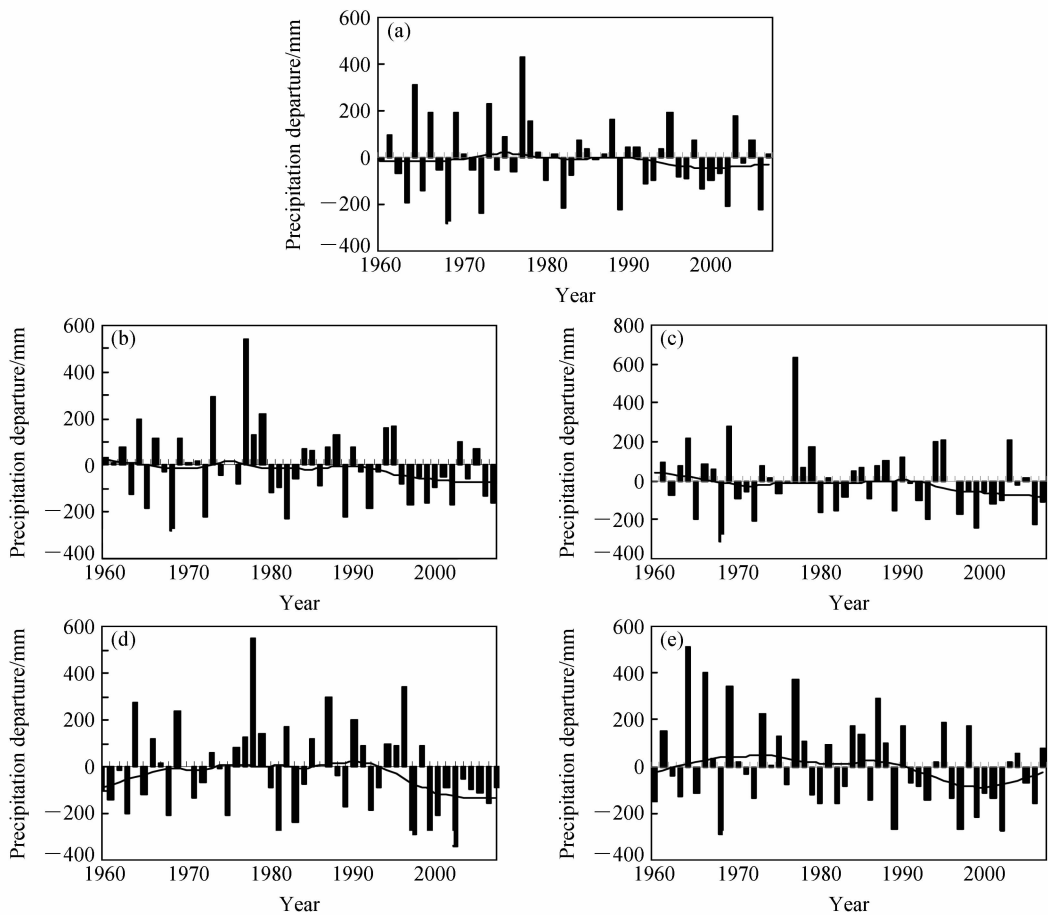


图2 1960~2007 年年平均降水量距平(柱), 图中曲线为 LOWESS 平滑曲线: (a) 市区; (b) 西青; (c) 静海; (d) 蓟县; (e) 塘沽
Fig. 2 Annual precipitation anomalies during 1960 - 2007 (bars), the curve is based on the LOWESS smoother: (a) Urban; (b) Xi-qing; (c) Jinghai; (d) Jixian; (e) Tanggu

的年际和年代际变化作用的结果(胡豪然和钱维宏, 2007)。以蓟县和市区为例, 蓟县春、夏、秋、冬各季降水量分别占全年总量的 11.1%、72.7%、14.4% 和 1.6%; 市区依次为 12.1%、70.7%、15.1% 和 2.0%。

从逐月降水量的趋势变化来看(见表 1), 近

50 年来, 7、8 月的降水量趋势减少最明显, 5、6 及 10 月有显著的增加趋势, 而冬季月份变化相对不大。其中 7 月塘沽降水减少趋势最为突出, 为 $-3.03 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$; 市区为 $-2.72 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 、蓟县为 $-2.22 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。同样, 1960 年以来塘沽 7 月平均相对湿度的减少趋势也是相对突出的。

表 1 天津地区降水量变化趋势
Table 1 Trend of precipitation in Tianjin

$\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$

	降水量变化趋势												
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	全年
蓟县	0.01	-0.05	0.12	-0.18	0.58	0.41	-2.22	-1.09	-0.10	0.23	0.04	0.04	-2.21
市区	-0.03	-0.06	0.04	-0.08	0.51	1.05	-2.72	-0.79	0.35	0.47	-0.02	-0.01	-1.29
西青	0.01	-0.08	0.03	-0.08	0.52	0.64	-1.88	-1.45	-0.01	0.33	0.04	-0.03	-1.96
静海	0.01	-0.02	0.07	-0.21	0.69	0.83	-1.85	-1.94	0.08	0.39	0.02	-0.01	-1.95
塘沽	0.00	0.05	0.09	-0.26	0.76	0.60	-3.03	-1.87	-0.09	0.41	-0.09	-0.01	-3.45

通过以上对 5 个典型站降水量变化的分析表明,天津地区近 50 年的降水量整体呈减少趋势。市区等城市化较早的地区,降水量负距平主要集中在分布在 1980 年代以后,但从整体来看,明显的降水量减少期出现在 1990 年代以后,这与天津地区主要的城市化进程时期具有密切联系,尤其是九十年代后天津滨海新区的快速发展带来的影响。

3.3 降水日数的气候特征分析

3.3.1 小雨量日数

人类活动产生的气溶胶粒子可以作为云凝结核而改变云的微物理结构,没有凝结核时不能成云降水,但当气溶胶粒子大量增加时,能够使云滴尺寸变小,从而不易成云致雨(Charlson et al., 1992; 罗云峰等, 1998)。同时,有研究表明,雨量大小与酸雨的 PH 值酸度有正相关趋势,即雨量级越小反映出的云下空气污染程度越明显(黄美元等, 1998)。

按照气象部门规定的 24 h 小雨量的等级划分标准(<10.0 mm, 包括微量),将小雨量划分为 3 个等级,即≤2.5 mm (I 级)、2.5~5.0 mm (II 级)、5.0~10.0 mm (III 级),对 1980 年代以来出现频数的趋势变化情况进行了统计分析。

表 2 中结果显示,1980 年以来,天津地区 II 级小雨日数出现频数基本小于 I 级,并且其趋势基本呈现减少变化。同样,相对 I 级小雨日数,III 级也表现出减少的趋势,但从降低幅度来看,II 级要相对明显。其中,市区近 30 年随着雨量级的增加,雨日出现的频数也明显降低,一定程度上反映了城市中气溶胶污染的日趋严重性。而塘沽地区则表现出相反的小雨日频数变化特征,研

究中对于统计出的强降水日数(日雨量 50 mm 以上的暴雨)变化的分析发现(表略),塘沽地区的强降水出现频数相对其它地区非常突出,可能与受到海风锋等局地小气候的影响有关,使得该区域雨量较大(冀文萍, 1994)。综合前面对天津地区降水量的分析结果,可以反映出,天津地区的降水同时受到局地环境改变(局地土地利用或城市化影响)和大背景气候变化的双重影响。

表 2 天津地区 1980~2007 年不同量级小雨日数变化趋势
Table 2 Trend of different magnitude of light rain days from 1980 to 2007
d · a⁻¹

	小雨日趋势		
	I 级	II 级	III 级
蓟县	0.18	-0.11	-0.02
市区	0.02	0.01	-0.13
西青	0.03	-0.05	-0.04
静海	0.06	-0.14	0.05
塘沽	-0.06	-0.02	0.01

3.3.2 毛毛雨日数

图 3 给出了近 50 年毛毛雨日数的年代及逐月分布情况。自 1960 年以来,5 个典型站的毛毛雨逐年降水日数与年降水量的趋势变化特征类似,均呈下降趋势(表略);市区的下降幅度最为突出。1980 年以来,市区及塘沽毛毛雨日数的减少趋势均表现出明显的相对减缓;西青、静海地区的减少趋势更为显著。从雨日的逐月分布来看,毛毛雨日数出现较多的月份为 11 和 12 月份(图 3a);市区的 7、11、12 月毛毛雨日数的分布相对集中,其它地区较分散。在多年演变过程中(图

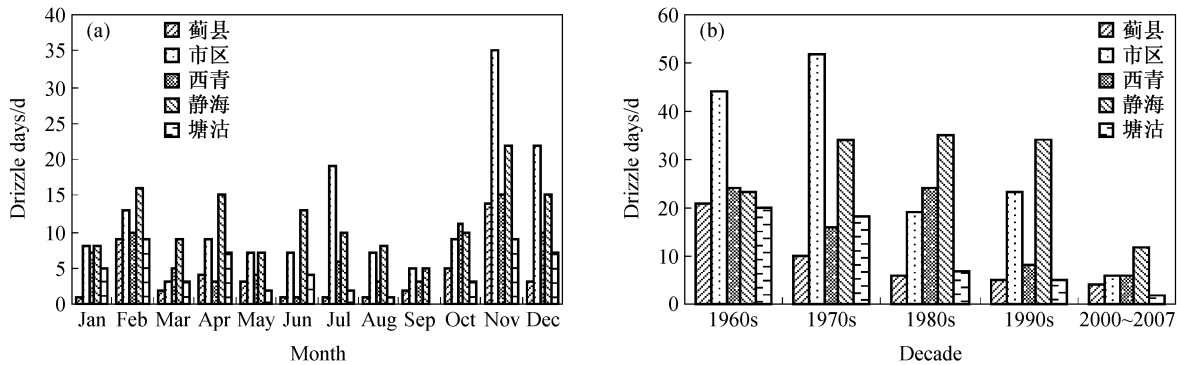


图 3 毛毛雨日数的 (a) 逐月及 (b) 年代分布
Fig. 3 The (a) monthly and (b) decadal change of drizzle days

3b), 1980 年代以后毛毛雨日数逐渐减少, 2000~2007 年毛毛雨日频数降至最低。

4 云量气候特征分析

云主要通过散射太阳辐射, 并吸收来自地表和大气的长波辐射来影响地表温度的变化。因此, 云量的多少和气候关系甚大。同时, 云特性和云量的改变能够反映出大气气溶胶的间接气候效应, 如对降水的影响等。

4.1 总低云量趋势变化分析

5 个台站总低云量年平均序列的趋势拟合显示, 1960 年以来, 除了静海地区总云量有明显增加趋势外, 其它地区总低云量的趋势变化不大, 但总的来看, 总云量的趋势变化要明显于低云量的变化。1980 年代以来, 总云量的趋势增加幅度比近 50 年的明显, 尤其是塘沽; 市区低云量的增加趋势较突出, 而西青、静海的低云量则表现出明显的减少趋势。对近 30 年来 5 个典型台站的年平均毛毛雨日数与总低云量的相关系数统计显示 (表 3), 西青与静海的低云量与毛毛雨日数的相关程度最好, 并且均通过 0.01 显著性水平检验; 西青的总云量与毛毛雨日数相关显著。基于毛毛雨多半由层云和层积云中降落下来 (徐祝龄, 1994), 结合上述的分析结果, 一定程度上解释了近 30 年来毛毛雨日的年际趋势变化特点。同时, 也能够反映出近几十年来, 随着天津地区的开发建设, 城市化已经给近郊及周边城镇的局地气候要素带来了重要影响。

如图 4、5 所示, 整个天津地区 12 月、1 月及

表 3 1980~2007 年总云量、低云量与毛毛雨日数的相关系数

Table 3 The correlation coefficients of total and low cloud cover with drizzle days from 1980 to 2007

	与毛毛雨日数相关系数	
	总云量	低云量
蓟县	0.129	0.285
市区	0.237	0.008
西青	0.396 *	0.669 **
静海	0.164	0.571 **
塘沽	0.231	0.205

* 表示通过 $\alpha=0.01$ 显著性检验, * 表示通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验。

6 月总云量的增加趋势明显 (图 4a), 静海表现最为突出; 图 4b 为 1980 年以来的总云量变化趋势。相对而言, 整个地区近 50 年的增加幅度不明显, 尤其是夏、秋、冬季月份; 对于低云量来说 (图 5), 这一变化特点主要体现在市区。总的来看, 无论是 1960 年以来还是 1980 年以来, 总云量逐月的趋势增加幅度较为明显, 而低云量相对不明显, 甚至近 30 年来, 西青地区逐月低云量还表现出明显的下降趋势。

4.2 总低云量与降水量的相关性分析

对 1960~2007 年、1980~2007 年 2 个时段总低云量与降水量的相关性检验 (表略) 显示, 逐年降水量与总云量相关程度一般, 与低云量相关较显著, 尤其是 1960 年以来, 大部分通过 0.05 显著性检验; 对于逐月尺度相关来看, 降水量与低云量的相关程度相对更好, 1960 年以来, 静海 1、4 月二者的相关系数达到 0.7 以上, 其它地区也均达到了 0.5 以上。在显著性检验中, 5 个台站除了个别月份外, 其余均通过了 0.01 显著性检验, 其中西青全部通过 0.01 显著性检验。但同样, 1980 年来的逐月降水量与总低云量相关程度一般, 显著性检验通过率较低。

5 雾气候特征分析

大雾 (浓雾) 是一种局地性很强的灾害性天气, 其出现日数的变化能够反映出人类活动环境的变化 (张利民等, 2002)。

5.1 大雾的空间分布特征

与降水量资料处理方法相同, 得到天津地区近 50 年年平均大雾日数的等值线分布图 (图 6)。从图中可以看出, 大雾的分布基本呈现南部多北部少的规律。其中, 静海地区最多, 年平均大雾日数达 26 d, 这可能由于静海地处天津市上风向, 四周水面泛多, 有利于辐射雾的形成所致 (李子华, 2001); 其次为市区, 最少大雾日数出现在蓟县, 仅有 13.5 d。对于不同季节来说, 多大雾季节主要集中在冬季, 其次为秋季, 春季最少。一年四季中静海地区大雾日出现的频数仍为最多, 市区次之, 而塘沽在春、冬季分布也相对较多。静海和市区冬季大雾出现日数分别为 10.9、9.3 d, 春季仅为 2.0、1.7 d。

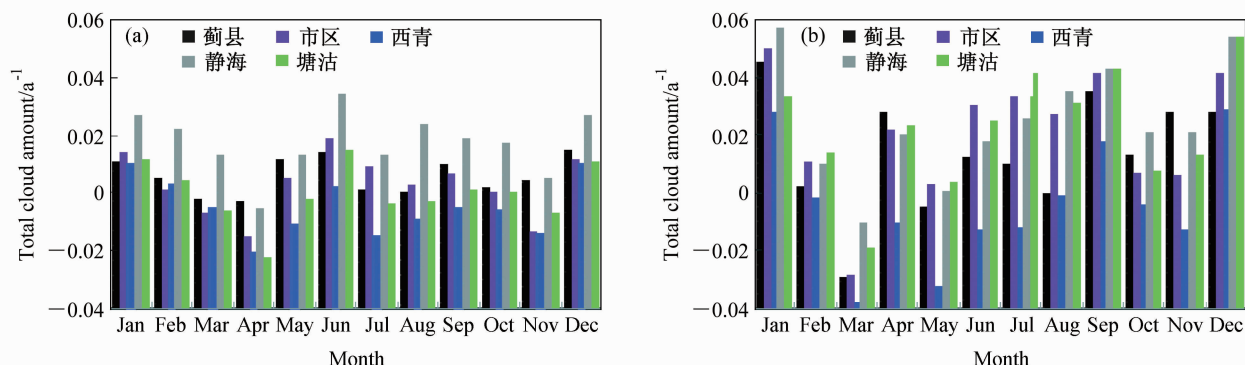


图 4 总云量逐月趋势系数：(a) 1960~2007 年；(b) 1980~2007 年

Fig. 4 Monthly total cloud cover trend coefficient: (a) 1960 - 2007; (b) 1980 - 2007

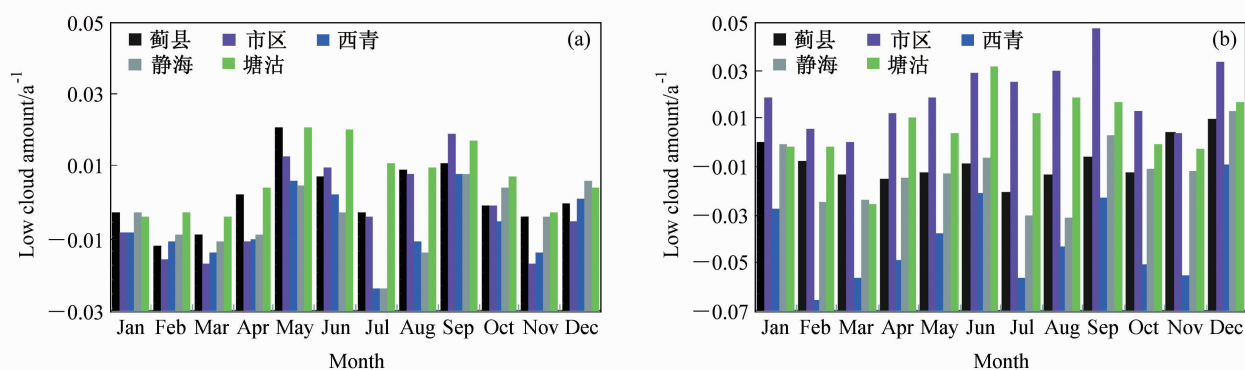


图 5 同图 4，但为低云量逐月趋势系数

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for low cloud cover

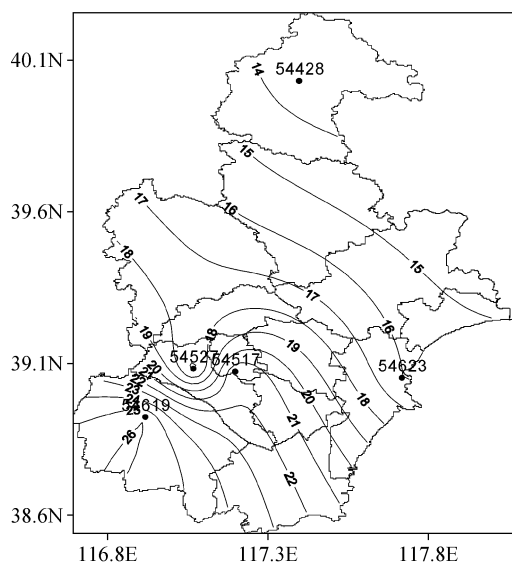


图 6 1960~2007 年年平均大雾日数 (单位: d) 的等值线分布图

Fig. 6 The distribution of multi-year average foggy days (d) during 1960 - 2007

对于上述大雾日数的分布情况本文认为可能有 2 种原因：一方面天津属大陆季风型气候，因此，雾多发生在夜最长、气温最低的冬季；另一方面，据有关研究得出（郭军，2008），天津灰霾天气多发于冬半年，市区等城市城市化进程较为显著的地区为灰霾多发区。因而，大雾的集中分布可能与经济发展造成的空气污染加重，大气气溶胶粒子浓度较高以及城市热岛效应有密切关系，但这种影响对大雾的形成存在双重作用（张利民等，2002；石春娥等，2008）。以下我们从大雾的时间趋势变化进行进一步分析。

5.2 大雾的时间分布特征

图 7 中大雾日数的年代分布显示，市区和静海各个年代出现的大雾日数相对其它地区较多，并且多集中在 1970 年代以后。其中，静海地区 1990 年代平均大雾日为 31.6 d，出现频数最多；而市区则表现在 1970、1980 年代，1970 年代平均大雾日为 25.9 d。

表 4 天津地区大雾日数变化趋势
Table 4 Trend of foggy days in Tianjin $d \cdot a^{-1}$

	1960~2007 年					1980~2007 年				
	春季	夏季	秋季	冬季	全年	春季	夏季	秋季	冬季	全年
蓟县	-0.01	-0.05	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.14	0.16	0.32
市区	-0.02	-0.06	-0.01	0.04	-0.04	-0.11	-0.14	-0.03	0.08	-0.20
西青	-0.02	-0.03	-0.02	-0.05	-0.10	-0.02	0.00	0.09	0.10	0.16
静海	0.01	0.05	0.13	0.11	0.32	-0.08	-0.17	0.19	0.04	0.00
塘沽	-0.01	0.00	0.07	0.05	0.12	0.00	-0.02	0.13	0.05	0.14

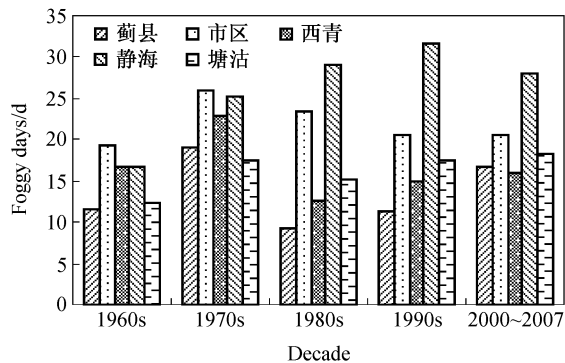


图 7 大雾日数的年代分布

Fig. 7 The decadal change of foggy days

鉴于大雾日数的年代分布特点,这里给出 2 个时间段的大雾日数变化趋势。表 4 显示,5 个台站冬季大雾日基本呈明显的增加趋势,并且这种趋势在 80 年代以来表现的更为显著。1960 年以来,市区的年平均大雾日有减少趋势,并且突出表现在近 30 年(除了冬季),可能因受到城市化进程带来的大气气溶胶凝结核效应及热岛环流的影响,在一定程度上不利于大雾的形成。与市区相反,濒于沿海地区的塘沽,大雾日表现出显著增加的长期趋势变化特征,尤其是 1980 年以来。

6 结论

本文选取天津地区 5 个典型气象观测站,通过分析各观测站的降水、云量、大雾等常规气象要素的时空变化特征及其相关关系,初步探讨了城市化及人类活动产生的大气气溶胶污染对天津地区局地气候变化的影响事实。得出如下结论:

(1) 天津地区近 50 年的降水量整体呈减少趋势,90 年代以后进入一个显著的降水量减少期。从降水日数来看,自 1980 年以来,市区、塘沽等

城市化明显地区毛毛雨日的减少趋势有所减缓;随着雨量级的增加,市区小雨日出现的频数显著降低。

(2) 对云量的分析表明,总云量的年和逐月趋势变化幅度基本明显于低云量的变化,而且近 30 年来的趋势增加幅度也比整个 50 年的显著,这一特点在市区低云量的变化趋势中更为突出。同时,近 30 年来云量与毛毛雨日数的相关性检验结果,反映出城市化已经给天津近郊及周边城镇的局地气候带来了重要影响。

(3) 天津地区的大雾主要呈南部多北部少分布,多集中出现在冬季,近几十年有明显的增加趋势。大气气溶胶凝结核效应及热岛环流的影响使得市区近 30 年来大雾日(除了冬季)出现较为明显的减少趋势。

参考文献 (References)

- Ackerman A S, Toon O B, Stevens D E, et al. 2000. Reduction of tropical cloudiness by soot [J]. *Science*, 288: 1042 - 1047.
- Baede A P M, Ahlonsou E, Ding Y, et al. 2001. The Climate System: An Overview [R]. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: University of Cambridge, 10 - 11.
- Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, et al. 1992. Climate forcing by anthropogenic aerosols [J]. *Science*, 255: 423 - 430.
- 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 2004. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制 [J]. *气象学报*, 62 (5): 634 - 646.
- Chen Long-xun, Zhou Xiuj, Li Weiliang, et al. 2004. Characteristics of the climate changes and its formation mechanism in China in last 80 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 62 (5): 634 - 646.
- 丁一汇, 戴晓苏. 1994. 中国近百年来温度变化 [J]. *气象*, 20 (12): 19 - 26.
- Ding Yihui, Dai Xiaosu. 1994. Temperature variation in China during the last 100 years [J]. *Meteorological*

- Monthly (in Chinese), 20 (12): 19–26.
- 杜春丽, 沈新勇, 陈渭民, 等. 2008. 43 a 来我国城市气候和太阳辐射的变化特征 [J]. 南京气象学院学报, 31 (2): 200–207.
- Du Chunli, Shen Xinyong, Chen Weimin, et al. 2008. Urban climate and solar radiation changes in China in recent 43 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 31 (2): 200–207.
- 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.
- Gallo K P, Easterling D R, Peterson T C. 1996. The influence of land use/land cover on climatological values of the diurnal temperature range [J]. J. Climate, 9 (11): 2941–2944.
- Gallo K P, Owen T W. 1999. Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias [J]. J. Appl. Meteor., 38 (6): 806–813.
- 高歌. 2008. 1961~2005 年中国霾日气候特征及变化分析 [J]. 地理学报, 63 (7): 761–768. Gao Ge. 2008. The climate characteristics and change of haze days over China during 1961–2005 [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 63 (7): 761–768.
- 郭军. 2008. 天津地区灰霾天气的气候特征分析 [J]. 城市环境与城市生态, 21 (3): 12–20. Guo Jun. 2008. Climatic characteristics of atmospheric haze in Tianjin area [J]. Urban Environment and Urban Ecology (in Chinese), 21 (3): 12–20.
- Hervé L T, Richard S, Ulrich C, et al. 2007. Historical Overview of Climate Change Science [R]. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: University of Cambridge, 95–121.
- 胡豪然, 钱维宏. 2007. 东亚夏季风北边缘的确认 [J]. 自然科学进展, 17 (1): 57–65. Hu Haoran, Qian Weihong. 2007. North edge of the East Asian summer monsoon confirmed [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 17 (1): 57–65.
- 黄美元, 沈志来, 吴玉霞, 等. 1988. 重庆地区云水和雨水酸度及其化学组分的观测分析 [J]. 大气科学, 12 (4): 389–395. Huang Meiyuan, Shen Zhilai, Wu Yuxia, et al. 1988. Analysis of acidity and chemical composition of the cloud water and rain water in Chongqing [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 12 (4): 389–395.
- 冀文萍. 1994. 天津区域降水受海洋影响的几点论证 [J]. 海洋通报, 13 (1): 31–34. Ji Wenping. 1994. Marine influences upon precipitation in Tianjin region [J]. Marine Science Bulletin (in Chinese), 13 (1): 31–34.
- 李晓文, 李维亮, 周秀骥. 1998. 中国近 30 年太阳辐射状况研究 [J]. 应用气象学报, 9 (1): 24–31. Li Xiaowen, Li Weiliang, Zhou Xiuji. 1998. Analysis of the solar radiation variation of China in recent 30 years [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 9 (1): 24–31.
- 李子华. 2001. 中国近 40 年来雾的研究 [J]. 气象学报, 59 (5): 616–624. Li Zihua. 2001. Studies of fog in China over the past 40 years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 59 (5): 616–624.
- 罗云峰, 周秀骥, 李维亮. 1998. 大气气溶胶辐射强迫及气候效应的研究现状 [J]. 地球科学进展, 13 (6): 572–581. Luo Yunfeng, Zhou Xiuji, Li Weiliang. 1998. Advances in the study of atmospheric aerosol radiative forcing and climate changes [J]. Advance in Earth Sciences (in Chinese), 13 (6): 572–581.
- 廖菲, 胡娅敏, 洪延超. 2009. 地形动力作用对华北暴雨和云系影响的数值研究 [J]. 高原气象, 28 (1): 115–126. Liao Fei, Hu Yamin, Hong Yanchao. 2009. Numerical study for the influences of orographic dynamic on cloud and precipitation in North China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 28 (10): 115–126.
- Oliver M A, Webster R. 1990. Kriging: A method of interpolation for geographical information system [J]. Journal of Geographical Information Systems, 4 (3): 313–332.
- 石春娥, 杨军, 邱明燕, 等. 2008. 从雾的气候变化看城市发展对雾的影响 [J]. 气候与环境研究, 13 (5): 327–336. Shi Chun'e, Yang Jun, Qiu Mingyan, et al. 2008. Impacts of urban development on long-term variation of fog [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (5): 327–336.
- 石广玉, 王标, 张华, 等. 2008. 大气气溶胶的辐射与气候效应 [J]. 大气科学, 32 (4): 826–840. Shi Guangyu, Wang Biao, Zhang Hua, et al. 2008. The radiative and climatic effects of atmospheric aerosols [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 826–840.
- 王京丽, 刘旭林. 2006. 北京市大气细粒子质量浓度与能见度定量关系初探 [J]. 气象学报, 64 (2): 221–228. Wang Jingli, Liu Xulin. 2006. The discuss on relationship between visivility and mass concentration of PM_{2.5} in Beijing [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (2): 221–228.
- 王彦, 李胜山, 郭立. 2006. 渤海湾海风锋雷达回波特征分析 [J]. 气象, 32 (12): 23–29. Wang Yan, Li Jiangjin, Wang Qingyuan, et al. 2006. Analysis of meso-scale structure of a thunderstorm [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 32 (12): 23–29.
- 王业宏, 盛春岩, 杨晓霞, 等. 2009. 山东省霾日时空变化特征及其与气候要素的关系 [J]. 气候变化研究进展, 5 (1): 24–28. Wang Yehong, Sheng Chunyan, Yang Xiaoxia, et al. 2009. Spatial-temporal variations of hazes in Shandong province and its relationship with climate elements [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 5 (1): 24–28.
- Weng Q, Yang S. 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city [J]. Journal of Environmental Management, 70 (2): 145–156.
- 徐祝龄. 1994. 气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 420–421. Xu Zhuling. 1994. Meteorology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 420–421.
- 张华, 马井会, 郑有飞. 2008. 黑碳气溶胶辐射强迫全球分布的模拟研究 [J]. 大气科学, 32 (5): 1147–1158. Zhang Hua, Ma Jinghui, Zheng Youfei. 2008. The study of global rediative for-

- cing due to black carbon aerosol [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (5): 1147 - 1158.
- 张家诚. 1991. 中国气候总论 [M]. 北京: 气象出版社, 242 - 254. Zhang Jiacheng. 1991. Climate of China [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 242 - 254.
- 张利民, 石春娥, 杨军, 等. 2002. 雾的数值模拟研究 [M]. 北京: 气象出版社, 138pp. Zhang Limin, Shi Chun'e, Yang Jun, et al. 2002. Numerical Simulation of Fog [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 138pp.
- 周连童. 2009. 引起华北地区夏季出现持续干旱的环流异常型 [J]. 气候与环境研究, 14 (2): 120 - 130. Zhou Liantong. 2009. Circulation anomalies pattern causing the persistent drought in North China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (2): 120 - 130.

高润祥, 司鹏, 宋明, 等. 2011. 近 50 年天津地区局地气候变化特征分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (2): 159–168. Gao Runxiang, Si Peng, Song Ming, et al. 2011. Characteristics of local climate change in the last 50 years over Tianjin area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (2): 159–168.

近 50 年天津地区局地气候变化特征分析

高润祥¹ 司鹏¹ 宋明¹ 郭军¹ 汤莉莉²

¹ 天津市气象局, 天津 300074

² 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044

摘 要 利用天津地区 5 个台站的降水、云量和大雾等常规地面观测资料, 分析了近 50 年天津地区的气候变化特征。结果表明, 天津地区的城市化对局地气候变化的影响日趋明显, 人类活动产生的气溶胶浓度的增加已经对云、降水和雾等的气候特征造成了较为显著的影响。表现为: 自上个世纪 80 年代以来, 城市化进程比较明显的地区, 低云量呈增加的趋势, 毛毛雨日数的减少呈减缓的趋势, 冬季大雾日数有明显的增加趋势等。而天津地区近 50 年降水趋势的变化特征, 也同时包含了区域大尺度背景条件的影响。

关键词 天津地区 降水 云量 大雾 气溶胶 气候变化

文章编号 1006-9585 (2011) 02-0159-10 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

Characteristics of Local Climate Change in the Last 50 Years over Tianjin Area

GAO Runxiang¹, SI Peng¹, SONG Ming¹, GUO Jun¹, and TANG Lili²

¹ *Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074*

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

Abstract Based on the precipitation, cloud cover, and fog observational dataset from five meteorological stations in Tianjin region, the facts of climate change in Tianjin during the last 50 years are analyzed. The results indicate that the urbanization effect on the local climate change in Tianjin is increasing significantly, and the changes of cloud cover, precipitation, and fog have been influenced by aerosol pollution by human activities. It shows that the low cloud cover is increasing, the decrease in the drizzle days is slowing down, and the foggy days in winter have increased dramatically since the 1980s, especially in the areas of obvious urbanization. Whereas the change of the precipitation over the past 50 years in Tianjin region also includes the influence of the large-scale background condition changes.

Key words Tianjin region, precipitation, cloud cover, fog, aerosol, climate change

收稿日期 2009-12-11 收到, 2010-10-29 收到修定稿

资助项目 科技部公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY200706036, 国家重点基础研究发展计划资助项目 2006CB403707, 中国气象局气象软科学项目 GQR2009034

作者简介 高润祥, 男, 博士研究生, 工程师, 主要从事气溶胶与气候变化研究。E-mail: web_rainbow@hotmail.com

1 引言

天气气候对人类的生存有着深远的影响。近年来,人类活动如何影响气候变化已经成为全世界科学家研究的热点和难点问题(Hervé et al., 2007)。随着研究的不断深入,政府间气候变化委员会评估报告给出有关人类活动影响气候和气候变化的越来越明确的事实(Baede et al., 2001; Hervé et al., 2007)。近百年来,人类通过工农业生产活动对大气中温室气体和气溶胶浓度以及通过土地利用对自然植被产生的影响日益加大,由此造成局地气候特征的改变,严重影响到大气底层和土壤活动层热量、辐射和水分的平衡关系(张家诚, 1991; Gallo et al., 1993, 1996; Gallo and Owen, 1999; Weng and Yang, 2004)。丁一汇和戴晓苏(1994)研究了中国近百年的温度变化指出,我国绝大多数城市的增温幅度明显大于同期全国平均气温的增暖幅度。李晓文等(1998)对中国近 30 年的云量和地面能见度变化规律统计分析发现,大气浑浊度和大气中悬浮粒子浓度的增加是引起地面太阳直接辐射量下降的重要原因。王京丽和刘旭林(2006)研究表明,细粒子污染是造成北京市大气能见度下降的主要原因。Ackerman et al. (2000)、陈隆勋等(2004)和杜春雨等(2008)也均从区域或局地尺度不同气候要素的变化特征研究发现,人类活动特别是工业化和城市化进程,对近年来的局地 and 全球气候变化产生了重要影响。石广玉等(2008)对我国大气气溶胶的辐射与气候效应的有关研究进行的评述中,强调指出人为气溶胶的释放对气候影响的重要性。张华等(2008)在黑碳气溶胶辐射强迫分布的模拟试验中,同样也得出了人类活动的主导作用。另外,高歌(2008)和王业宏等(2009)对霾日的气候特征分析指出,人类活动造成的大气污染物增加以及气温的升高可能是导致局部地区霾日趋势增加的原因之一。

天津作为我国北方最大的沿海开放城市,改革开放以来,城市化进程得到了快速发展,特别是近十几年来随着滨海新区的开发、开放被纳入国家总体发展战略,其周边区域的城市化进程发展更加迅猛,这些典型的人类活动必然会给该地

区的局地气候带来显著影响。本文选取代表天津不同局地气候环境的 5 个气象观测站:蓟县(山区)、城市气候监测站(市区)(以下简称为市区)、西青(郊外)、静海(城镇)、塘沽(滨海),通过比较分析各台站降水、云量、雾等大气物理量的变化特征及其相关关系,初步探讨天津地区近 50 年的气候变化特点,为人类活动影响局地气候变化的事实提供科学依据。

2 资料处理

研究中用到的 5 个台站自建站以来的降水、云量、雾等资料由天津市气象信息中心提供,均经过严格的审核与质量控制。考虑到各台站建站的起始年代不同,受到气候时间序列完整性的限制,选取资料的研究范围为 1960~2007 年,其中个别台站某些要素的个别缺测数据利用多年平均值插补。

由于原样本气候资料(特别是降水)受年际变化影响很大,各月的平均值不一样,为了使之能在同一水平下进行比较,研究中采用气候距平序列代替原样本进行气候要素长时间序列的趋势变化分析,距平值的参考气候期取 1971~2000 年 30 年平均值。

对距平序列趋势的拟合均采用最小二乘法,建立各个观测值 y_i 与时间变量 x 之间的一元线性回归方程:

$$y_i = b + b_0 x_i, (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

其中, n 为时间序列长度(即 48 年),回归系数 b_0 表示各观测值的趋势,计算公式为:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (2)$$

当 $b_0 > 0$ 时,表示随时间 x_i 的增加 y_i 呈上升趋势;当 $b_0 < 0$ 时,表示随时间 x_i 的增加 y_i 呈下降趋势, $|b_0|$ 值的大小反映了上升或下降的幅度。

3 降水气候特征分析

文中对选取的天津地区 5 个台站的降水量和降水日数资料进行了分析。为了避免因局地环境