

上海气候空间格局和时间变化研究

史 军¹, 崔林丽², 杨涵涌¹, 孙兰东¹

(1. 上海市气候中心, 上海 200030; 2. 上海市卫星遥感与测量应用中心, 上海 201199)

摘要 基于上海地区11个气象站气温、降水数据和主要天气现象记录资料, 利用气候统计诊断方法研究了上海主要气候要素和天气现象的时空分布和变化特征。结果表明, 上海年均气温呈中心城区高、周边郊区低的分布, 中心城区与郊区年均温差最大可达0.9℃; 降水量在中心城区和南部地区较多, 而在北部和西部地区较少; 高温日数中心城区明显多于东部和南部沿海, 最多相差9.5 d; 暴雨日数在中心城区和浦东较多, 而在西部地区较少; 雷暴、大风和大雾日数没有呈现出显著的城郊差异; 霾日数在中心城区远高于郊区, 最多相差49.2 d。1961–2013年间, 上海年均气温显著上升, 降水量略有增加, 高温日数和霾日数分别以2.7 d/10 a和11.3 d/10 a的线性趋势增加, 暴雨日数呈弱的增加趋势, 而雷暴、大风和雾日数在1961–2013年间, 分别以1.9、3.7和5.2 d/10 a的线性趋势减少。

关键词 气候要素; 天气现象; 空间格局; 时间变化; 城市气候; 上海

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2015.01348

1 引言

近百年来, 全球气候呈现出以变暖为主要特征的显著变化^[1]。1880–2012年, 全球平均地表气温升高了0.85℃, 其中, 1951–2012年全球平均地表温度的升温速率几乎是1880年以来升温速率的2倍^[2]。未来全球气候变暖仍将持续, 21世纪末(2081–2100年)全球平均地表气温在1986–2005年的基础上将升高0.3~4.8℃^[2]。气温平均值的升高会导致热浪、干旱和暴雨洪涝等天气气候事件的发生频次与强度出现显著变化^[3], 从而对社会经济、生命财产和自然生态系统等造成巨大的影响^[4–6]。据世界气象组织报告^[7], 在21世纪最初10 a, 全球有超过37万人死于空前的极端天气和气候事件的影响。因此, 全球气候变化引起了各国政府和学者的普遍关注^[1–6, 8], 开展区域气候变化规律及原因研究, 不仅是全球气候变化科学迫切需要解决的前沿问题, 而且对于提高极端天气气候事件的预估、制定应对气候变化的策略和措施都具有重要的科学意义^[9]。

上海地处北亚热带湿润季风气候区, 具有1873年至今连续140多年的仪器观测气候资料, 是研究

中国东部气候变化的首选地点之一; 此外, 20世纪90年代以来, 中国东部沿海经济最发达的上海城市化和工业化发展迅猛, 为研究中国乃至世界快速城市化和工业化, 对区域气候变化的影响提供了理想的试验地点^[10]。近年来, 随着城市化和经济发展, 气象灾害对上海城市安全、经济可持续发展的影响和威胁日趋严重^[11–13], 但已有对上海气候变化的研究, 多侧重于气温、降水等气候要素平均态的变化分析^[10, 14–15], 而对于灾害性天气气候事件变化的研究较少^[16–18], 且缺乏专门针对上海大城市开展城市气候效应的最新研究成果^[18–22]。鉴于此, 本文利用上海11个气象站1961–2013年气温、降水数据和主要天气现象记录资料, 研究了上海主要气候要素和天气现象的时空分布和变化特征, 以期为上海制定适应和减缓气候变化的战略, 及区域防灾减灾行动提供科学依据和经验借鉴。

2 研究资料与方法

2.1 研究数据

本文所用的资料有: 上海中心城区(徐家汇)气

收稿日期 2015-05-04; 修回日期: 2015-06-05.

基金项目 国家自然科学基金项目(41571044、41001283); 中国清洁发展机制基金赠款项目(2012043); 中国气象局气候变化专项项目(CCSF201503)。

作者简介 史 军(1975–), 男, 博士, 高工, 主要从事气候变化和气象灾害方面的研究。E-mail: shij@climate.sh.cn

象站和10个郊区(县)气象站(闵行、宝山、嘉定、崇明、南汇、浦东、金山、青浦、松江和奉贤)1961–2013年逐月和逐年平均气温、降水量以及高温、暴雨、雷暴、大风、雾和霾日数记录资料。这些数据均来自于上海市气候中心,都经过初步的质量检验和控制。

2.2 分析方法

本文中高温指日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天气现象,暴雨指日降雨量 $\geq 50\text{ mm}$ 的天气。雷暴、大风、雾和霾的标准与“地面气象观测规范”^[23]一致,即雷暴为积雨云中、云间或云地之间产生的放电现象,表现为闪电兼有雷声,有时亦可只闻雷声而不见闪电;大风为瞬时风速 $\geq 17.0\text{ m/s}$ (或目测估计风力 ≥ 8 级)的风;雾是大量微小水滴浮游空中,常呈乳白色,水平能见度 $< 1.0\text{ km}$ 的天气现象;霾是大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中,使水平能见度 $< 10.0\text{ km}$ 的空气普遍混浊现象。

本文首先以11个站1961–2013年间主要气候要素(气温和降水)和天气现象(高温、暴雨、雷暴、大风、雾和霾日数)的逐年和逐月数据,利用站点平均的方法生成上海主要气候要素和天气现象年序列和月序列;其次,计算1981–2010年各站及上海主要气候要素和天气现象的平均值,获得各站及上海气候统计意义上的常年值;然后,分别计算各站1961–2013年间主要气候要素和天气现象的多年平均值,利用克里格(Kriging)空间插值方法生成空间分布图,研究上海主要气候要素和天气现象的空间格局;最后,根据统计的上海气候要素和天气现象的常年值,计算了1961–2013年间上海主要气候要

素和天气现象的逐年距平,从而分析其年际变化特征及趋势。

3 上海气候空间格局及时间变化分析

3.1 主要气候要素的空间分布及变化趋势

(1)气温:1961–2013年,上海平均气温呈现出中心城区高、四周低的分布,且随着距离中心城区的增加气温相应地降低,城市热岛效应明显。中心城区与郊区崇明的年均温差最大,达 0.9°C (图1(a))。上海(11站平均)年平均气温 16.0°C ,气温在7月最高,多年平均 28.0°C ,其次是8月(27.8°C),而1月最低(3.8°C)(表1)。2007年是1961–2013年间最暖的年份,平均气温 17.8°C ,比常年同期偏高 1.5°C ;1969、1972、1976和1980年是近53年来最冷的年份,平均气温 15.0°C ,比常年同期偏低 1.3°C 。

1961–2013年,上海年均气温总体上呈显著上升趋势,平均每10 a升高 0.39°C (图2(a))。1990年代以来,升温趋势尤其显著,与1981–2010年间常年值相比,1961–1990年间中期气温以偏低为主,1997年后年均气温持续偏高。

(2)降水:1961–2013年,上海平均降水量在中心城区和南部地区较多,而在崇明最少(图1(b))。徐家汇站的降水量最多,年均降水量达 1183.7 mm ,比降水最少的崇明站多 118.0 mm 。上海多年平均降水量 1122.5 mm ,其中,夏季(6–8月)降水最多,逐月平均分别为 170.1 、 132.4 和 145.7 mm ,冬季12月降水最少(40.7 mm)(表1)。1999年是近53 a来

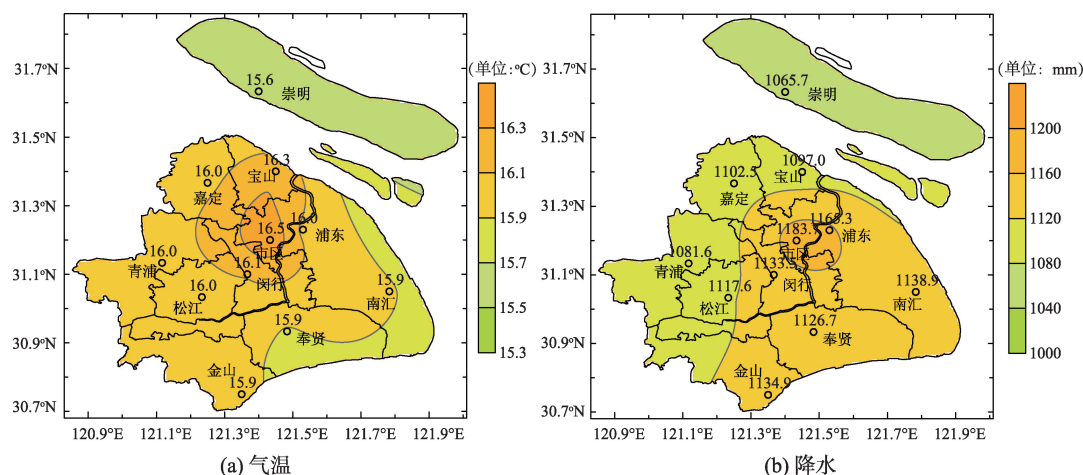


图1 1961–2013年间上海年平均气温和降水的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of annual average temperature and precipitation in Shanghai during 1961–2013

表1 1961–2013年间上海气候要素和天气现象的月际分布

Tab. 1 Monthly distribution of climate elements and weather phenomena in Shanghai

月份	气温(℃)	降水(mm)	高温(d)	暴雨(d)	雷暴(d)	大风(d)	雾(d)	霾(d)
1	3.8	52.7	0.0	0.0	0.0	0.9	3.3	2.9
2	5.2	60.7	0.0	0.0	0.3	0.6	2.7	1.8
3	8.9	89.2	0.0	0.0	1.5	1.0	3.0	1.8
4	14.4	91.2	0.0	0.1	2.3	0.9	3.1	1.8
5	19.6	104.8	0.0	0.2	2.0	0.6	2.3	1.9
6	23.7	170.1	0.7	0.7	3.5	0.5	1.9	1.6
7	28.0	132.4	4.7	0.5	7.1	1.1	1.1	1.0
8	27.8	145.7	2.4	0.6	7.0	1.3	1.0	0.7
9	23.7	122.7	0.2	0.5	3.2	0.5	1.6	0.8
10	18.4	60.4	0.0	0.1	0.4	0.4	2.9	1.7
11	12.6	53.9	0.0	0.0	0.2	0.7	3.8	2.8
12	6.3	40.7	0.0	0.0	0.1	0.7	4.4	3.7

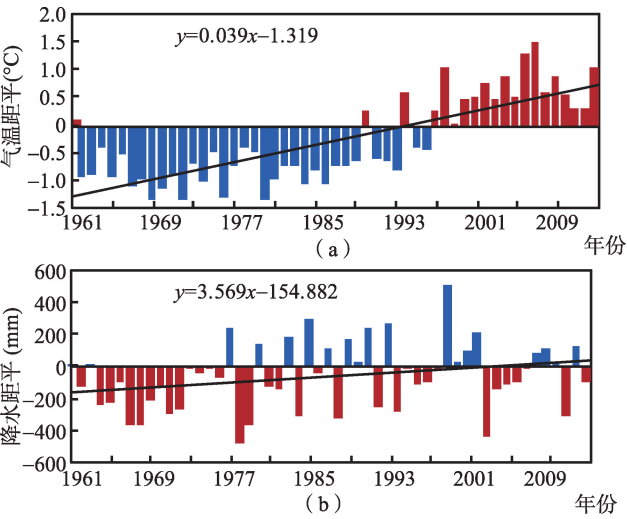


图2 1961–2013年间上海年平均气温和降水量距平变化
Fig. 2 Anomaly of annual average temperature and precipitation in Shanghai during 1961–2013

降水最多的年份,年降水量达1699.8 mm,比常年同期偏多518.2 mm;1978年是近53年来最少的年份,仅有704.8 mm,比常年同期偏少476.8 mm。

1961–2013年,上海年均降水量呈弱的增多趋势(图2(b))。1990年代降水偏多;1960年代降水偏少最多。1999、1985和1993年分别是排名前三位的降水高值年;1978、2003和1967年分别是排名前三位的降水低值年。

3.2 主要天气现象的空间分布及变化趋势

(1)高温:1961–2013年,上海年高温日数呈现出中心城区和西北部地区明显多于东部和南部沿海地区的特征(图3(a))。中心城区徐家汇站的年高温日数达13.1 d,而南汇最少,仅有3.6 d。高温日数集中于每年的6–9月,其中,7月最多,平均4.7 d(表1)。2013年上海经历自1961年以来最热的夏季,

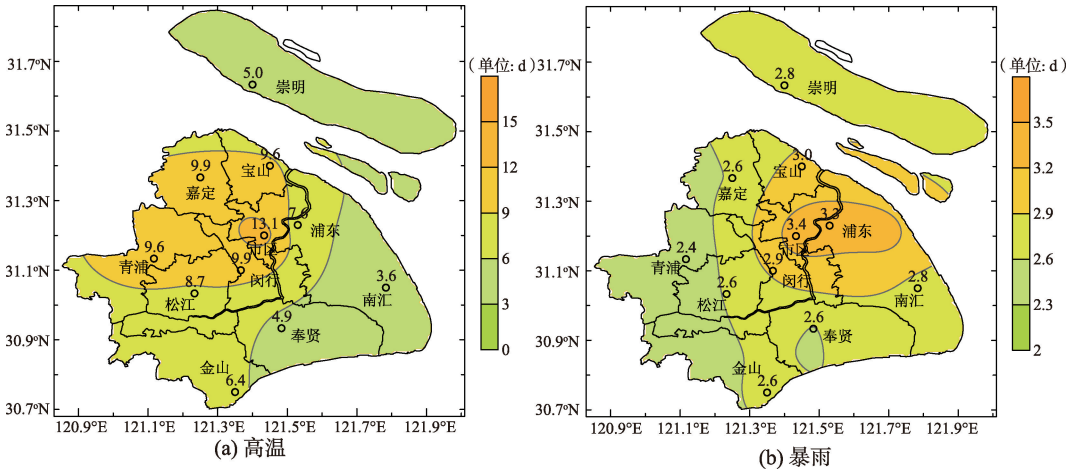


图3 1961–2013年间上海年高温和暴雨日数的空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of annual high temperature days and torrential rain days in Shanghai during 1961–2013

年高温日数达38.6 d,比常年同期增加30.1 d,其中徐家汇站的高温日数达到47 d,偏多31.6 d。而1968、1972、1982和1999年的高温日数平均不足1 d。

1961–2013年,上海年平均高温日数为8.0d,且呈增加趋势,递增率为2.7 d/10 a(图4(a))。2000年前高温日数多数年为负距平,2003–2013年高温日数全部为正距平。

(2)暴雨:1961–2013年,上海中心城区和浦东年暴雨日数多于西部地区(图3(b))。徐家汇站的年暴雨日数最多,达3.4 d,而西部的青浦年暴雨日数为2.4 d。暴雨日数多出现在4–10月,其中,6月和8月最多,分别为0.7 d和0.6 d(表1)。1999年上海暴

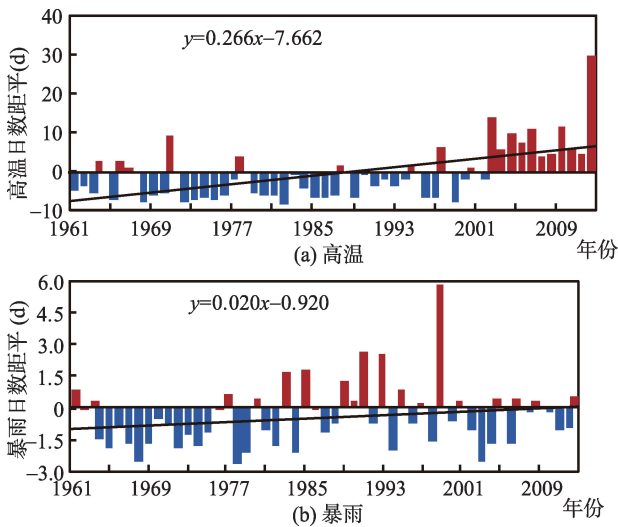


图4 1961–2013年间上海年高温日数和暴雨日数距平变化

Fig. 4 Anomaly of annual high temperature days and torrential rain days in Shanghai during 1961–2013

雨日数多达9.1 d,比常年平均偏多近6 d,而1968、1978和2003年暴雨日数平均不足1 d。1961–2013年,上海年平均暴雨日数为2.8 d,并呈缓慢增加趋势(图4(b))。暴雨日数在20世纪60、70年代多为负距平。

(3)雷暴:1961–2013年,上海年雷暴日数总体分布比较均匀,除在崇明和金山较多外(分别为31.5和29.8 d),其余各站的雷暴日数多在26.0~28.0 d之间,其中嘉定最少(图5(a))。雷暴在一年各月中都有发生,其中7、8月雷暴日数最多,分别为7.1 d和7.0 d,在1月最少(表1)。1963年上海雷暴日数最多(53.2 d),1978年最少(13.2 d)。

1961–2013年,上海年平均雷暴日数为27.5 d,且呈减少趋势,递减率为1.9 d/10 a(图6(a)),其中1961–1980年,上海雷暴日数减少较快,递减率为7.9 d/10 a,而在1981–2013年,雷暴日数呈缓慢减少趋势。

(4)大风:1961–2013年,上海年大风日数呈现出东北部和西南部较多,而闵行和青浦地区最少(图5(b))。近郊闵行站的年大风日数最少,仅有6.5 d;而宝山的大风日数最多,达到12.3 d。大风在一年中各月都有发生,其中7月和8月大风日数最多,分别为1.1 d和1.3 d,10月大风日数最少(表1)。1963年松江站大风日数最多,为61 d,2009年以后大风日数基本不足2 d。

1961–2013年,上海年平均大风日数为9.3 d,且呈减少趋势,递减率为3.7 d/10 a(图6(b)),其中,1962年最多为33.1 d,比常年同期偏多26.6 d。1961–1987年,大风日数除在1976年外都为正距

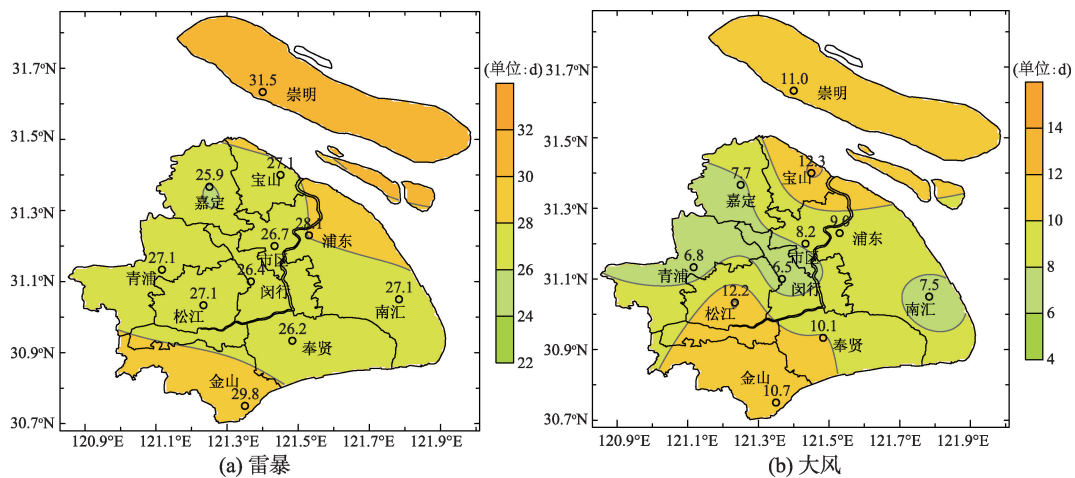


图5 1961–2013年间上海年雷暴和大风日数的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of annual thunderstorm days and gale days in Shanghai during 1961–2013

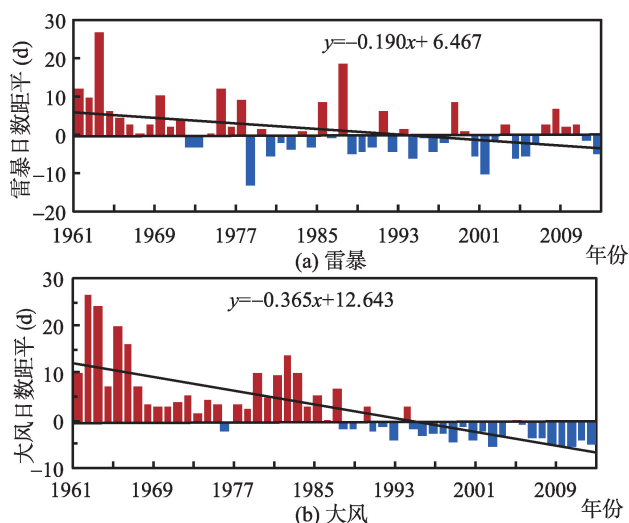


图6 1961–2013年间上海年雷暴日数和大风日数距平变化
Fig. 6 Anomaly of annual thunderstorm days and gale days in Shanghai during 1961–2013

平,而1995年后大风日数基本为负距平。

(5)雾:1961–2013年,上海年雾日数分布不均,总体呈现宝山、中心城区、浦东和南汇较少而金山较多的格局(图7(a))。宝山站的年雾日数为20.5 d,而金山达到38.6 d。雾在一年中各月都有发生,其中12月和11月雾日数最多,分别为4.4 d和3.8 d,8月雾日数最少(表1)。2012年雾日数仅有3.1 d,为近53年来最少,比常年同期偏少25.8 d,而1979年雾日数最多,达到55.5 d,偏多26.6 d。

1961–2013年,上海年平均雾日数为31.2 d,且呈减少趋势,递减率为5.2 d/10 a(图8(a))。雾日数在1961–1990年变化不大,1991年以后,雾日数快

速减少。2002–2013年上海雾日数都为负距平。

(6)霾:1961–2013年,上海年霾日数空间分布呈中心城区远远高于郊区,而郊区西部又远高于其他地区的特征(图7(b))。霾在一年中各月都有发生,其中12月和1月霾日数最多,分别为3.7 d和2.9 d,8月霾日数最少(表1)。徐家汇站的年霾日达56.5 d,而南汇站的年霾日数最少,仅有7.3 d,相差49.2 d。

1961–2013年,上海年平均霾日数为22.8 d,且呈增加趋势,增加率为11.3 d/10 a(图8(b))。霾日数在1961–1977年都较少,且变化不大,之后快速增加。2003年上海霾日数最多(平均106.2 d)。

4 结论

本文利用上海11个气象站1961–2013年气温、降水数据和主要天气现象记录资料,分析了上海主要气候要素和天气现象的时空分布和变化特征,主要结论如下:

(1)上海年平均气温呈现中心城区高、周边郊区低的分布,中心城区与郊区年均温差最大可达0.9℃。降水量在中心城区和南部地区较多,而在北部和西部地区较少。1961–2013年,上海年平均气温以0.39℃/10 d的线性趋势显著上升,尤其是1990年代以来,升温趋势显著;降水呈弱的增多趋势,其中,在90年代偏多最多,而在60年代偏少最多。

(2)上海高温日数呈现中心城区和西北部地区明显多于东部和南部沿海地区的特征,中心城区年

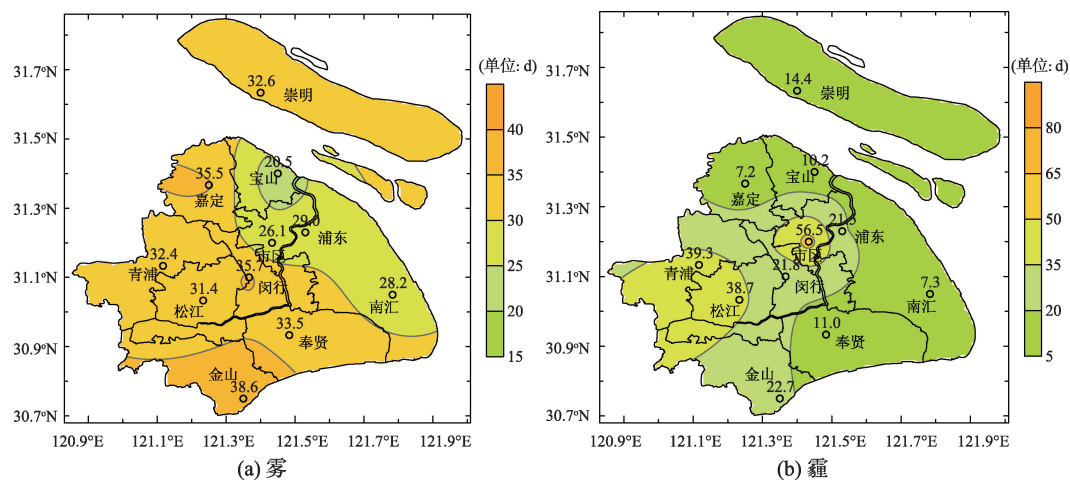


图7 1961–2013年间上海年雾和霾日数的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of annual fog days and haze days in Shanghai during 1961–2013

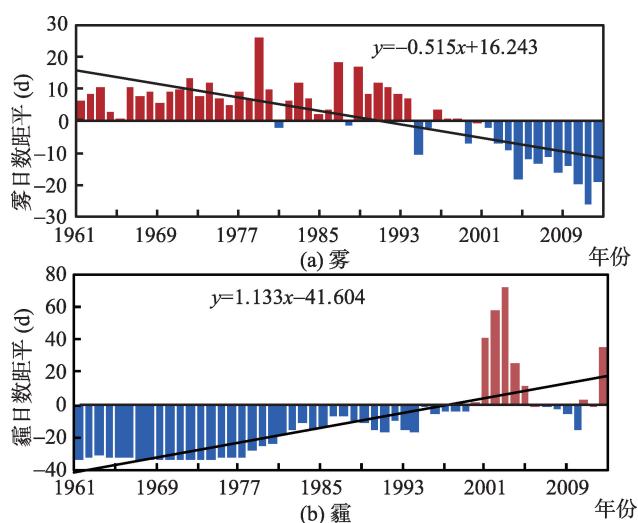


图8 1961–2013年间上海年雾日数和霾日数距平变化
Fig. 8 Anomaly of annual fog days and haze days in Shanghai during 1961–2013

高温日数较远郊南汇多9.5 d。暴雨日数在上海中心城区和浦东地区较多,而在西部地区较少。雷暴、大风和大雾日数没有呈现出显著的城郊差异:雷暴日数多在26.0~28.0 d/a,大风日数在宝山最多,而雾日数在金山最多。中心城区霾日数远高于郊区,最多相差49.2 d。

(3) 1961–2013年,上海高温和霾日数分别以2.7和11.3 d/10 a的线性趋势增加,暴雨日数呈弱的增加趋势,而雷暴、大风和雾日数分别以1.9、3.7和5.2 d/10 a的线性趋势减少。高温日数自2003年以后全部为正距平,大风日数则从1995年以后基本都为负距平。雷暴日数在1961–1980年间较快减少,雾日数自1991年以后快速减少,而霾日数在1977年以后快速增加。

参考文献:

- [1] 王绍武,叶谨林.近百年全球气候变暖的分析[J].大气科学,1995,19(5):545-553.
- [2] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis [M]. Stocker T F, Qin D, Plattner G-K, *et al* (eds.). Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2013:1535.
- [3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]. Field C B, Barros V, Stocker T F, *et al* (eds.). Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2012:582.
- [4] Meehl G A, Karl T R, Easterling D R, *et al*. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2000,81(3):413-416.
- [5] Wang Q, Fan X, Qin Z, *et al*. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010[J]. Global and Planetary Change, 2012,92:138-147.
- [6] Hu Y, Maskey S, Uhlenbrook S. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China[J]. Climatic Change, 2012,110:403-429.
- [7] WMO. The Global Climate 2001–2010: A decade of climate extremes[R]. WMO-no.1103. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2013:110.
- [8] You Q, Kang S, Aguilar E, *et al*. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961–2003[J]. Climate Dynamics, 2011,36(11/12): 2399-2417.
- [9] de Vyver H V. Evolution of Extreme Temperatures in Belgium since the 1950s[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2012,107:113-129.
- [10] 史军,崔林丽,田展,等.上海百余年来气温日间波动特征及城市化影响[J].资源科学,2011,33(5):989-994.
- [11] Shi J, Cui L. Characteristics of high impact weather and meteorological disaster in Shanghai, China[J]. Natural Hazards, 2012,60:951-969.
- [12] 史军,肖风劲,穆海振,等.上海地区台风灾害损失评估[J].长江流域资源与环境,2013,22(7):952-956.
- [13] 史军,穆海振,崔林丽.上海大雾气候特征及风险区划研究[J].自然灾害学报,2012,21(3):102-109.
- [14] 徐家良.近百年来上海两次增暖期的特征对比及其成因[J].地理学报,2000,55(4):501-506.
- [15] 周丽英,杨凯.上海降水百年变化趋势及其城郊的差异[J].地理学报,2001,56(4):467-476.
- [16] Shi J, Tang X, Cui L. Climatic characteristics of high temperature in East China during 1961–2005[J]. Journal of Geographical Sciences, 2008,18(4):283-294.
- [17] 史军,崔林丽,田展.上海高温和低温气候变化特征及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2009,18(12):1143-1148.
- [18] 崔林丽,史军,周伟东.上海极端气温变化特征及其对城市化的响应[J].地理科学,2009,29(1):93-97.
- [19] Ren G, Zhou Y. Urbanization effect on trends of extreme temperature indices of national stations over mainland China, 1961–2008[J]. Journal of Climate, 2014,27:2340-2360.
- [20] 史军,梁萍,万齐林,等.城市气候效应研究进展[J].热带气象学报, 2011,27(6):942-951.
- [21] 郑祚芳,王在文,高华.北京地区夏季极端降水变化特征及城市化的影响[J].气象,2013,39(12):1635-1641.
- [22] 史军,徐家良,谈建国,等.上海地区不同重现期的风速估算研究[J].地理科学(待发表),2015.
- [23] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社, 2003.

Spatial Pattern and Temporal Change of Climate in Shanghai

SHI Jun^{1*}, CUI Linli², YANG Hanwei¹ and SUN Landong¹

(1. *Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China;*

2. *Shanghai Center for Satellite Remote Sensing and Application, Shanghai 201199, China*)

Abstract: Based on the temperature, precipitation data and main weather phenomenon records from 11 meteorological stations, the spatial and temporal distributions and the changes of main climate elements and the weather phenomena in Shanghai were analyzed using climate statistical diagnosis technology. The results indicate that the annual average temperature in Shanghai was higher in the urban areas and lower in the surrounding suburbs, with a maximum difference of 0.9 °C; and the precipitation was heavier in the urban areas and southern suburbs, while less in the northern and western surrounding suburbs. The annual high temperature days were also greater in the urban areas than in the eastern and southern coastal areas, with a maximum difference of 9.5 days; and the annual torrential rain days were greater in the urban areas and Pudong region, but less in the western regions of Shanghai. The number of thunderstorm, gale and fog days did not show significant differences between the urban areas and suburbs. The annual haze days in the urban areas were evidently greater than those in the suburbs, with a maximum difference of 49.2 days. During the period from 1961 to 2013, the annual average temperature increased significantly while the annual precipitation increased slightly in Shanghai. The annual high temperature days and haze days increased with a linear rate of 2.7 and 11.3 days per decade respectively, while the annual thunderstorm, gale and fog days decreased with a linear rate of 1.9, 3.7 and 5.2 days per decade respectively in the past 53 years in Shanghai.

Key words: climate elements; weather phenomena; spatial pattern; temporal change; urban climate; Shanghai

***Corresponding author:** SHI Jun, E-mail: shij@climate.sh.cn