

# 崇明生态岛气候变化及影响评估研究

穆海振 史军 杨涵洧 马悦 徐卫忠 张皓

(上海市气候中心, 上海 200030)

**摘要:** 基于上海崇明气象站气温、降水、日照、风速等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崇明生态岛主要气候要素和天气现象的变化特征及其生态影响。结果表明, 1961—2016年期间, 崇明气温显著上升, 高温日数和极端最高气温增加; 降水量显著增多, 暴雨日数增加, 小雨、中雨和大雨对全年总降水量的贡献下降, 而暴雨和大暴雨的贡献增加; 风速显著减小, 大风日数和极端最大风速减少; 日照时数和相对湿度明显减少, 雾日数增加。在气候变化影响下, 崇明作物无霜期初日提前, 终日推后, 无霜期日数增加, 有效积温增多, 人体舒适度日数增加。但气候变化会导致当地风能资源减少, 大气环境条件不利于污染物的扩散和稀释。研究结果可为绿色、平安崇明建设和世界级生态岛的可持续发展布局提供借鉴。

**关键词:** 气候变化, 天气现象, 影响评估, 生态环境, 崇明

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.018

## Climate Change and Impact Assessment for Chongming island in 1961-2016

Mu Haizhen, Shi Jun, Yang Hanwei, Ma Yue, Xu Weizhong, Zhang Hao

(Shanghai Climate Centre, Shanghai Meteorological Bureau Service, Shanghai 200030)

**Abstract:** Based on meteorological data and record of weather phenomenon at Chongming meteorological station in Shanghai, a research of the climate change and effect on ecological environment in Chongming island are carried out by using climatic statistics methods. The results show that air temperature rose significantly, days of high temperature and extreme maximum air temperature rose from 1961 to 2016. Meanwhile, precipitation and rainstorm days at Chongming also increased, of which the proportion of the rainstorm and heavy rainstorm increased only but the light rain, moderate and heavy rain declined. Besides, it decreased obviously in wind speed, days of strong wind, sunshine duration, relative humidity, while increased indays of fog. Under the impact of climate change, the first day of frost-free season shifted to an earlier date while the last day delayed, leading to extension of frost-free season. It also increased in effective accumulative temperature and days of human comfort. But, it also led to the decline of wind resources, and adverse weather condition to diffusion of contaminant. This research could support to build a green, safe Chongming and sustainable development of eco-island.

**Keywords:** climate change, weather phenomena, impact assessment, ecological environment, Chongming island

### 0 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<sup>[1]</sup>。据IPCC评估报告<sup>[2]</sup>, 1880—2012年, 全球平均地表气温升高了0.85 °C; 21世纪全球气候仍将变暖, 到2081—2100年全球平均地表气温将在1986—2005年的基础上升高0.3~4.8 °C。气候变暖会导致高温热浪、暴雨洪涝等极端天气气候事件的发生

频次与强度出现显著变化<sup>[3]</sup>, 对社会经济和自然生态系统等造成巨大的影响<sup>[4-6]</sup>。因此, 开展区域气候变化研究, 对气候变化科学研究和应对策略制定都具有重要的意义<sup>[7]</sup>。

崇明地处长江入海口, 包括崇明、长兴和横沙三岛, 其中崇明岛是世界上最大的河口冲积岛。崇明全区地势平坦, 海拔3.5~4.5 m, 总面积1185 km<sup>2</sup>, 常住人口70万。作为上海重要的生态屏障, 崇明植被类型丰富, 景观格局多样, 主要生态系统类型有农田、森林、湖泊、滩涂湿地等。2001年, 国务院批准《上海市城市总体规划(1999—2020年)》, 明确将崇明本岛建设为生态岛。2005年, 上海市人民政府批准《崇明三岛总体规划(崇明县区域总体规划)2005—2020

收稿日期: 2017年6月26日; 修回日期: 2017年10月25日

第一作者: 穆海振(1974—), E-mail: muhz@climate.sh.cn

资助信息: 国家自然科学基金(41571044和41001283);

中国气象局气候变化专项(CCSF201716); 中国清洁发展机制基金赠款项目(2012043)

年》，明确了崇明现代化综合生态岛的总体定位。2010年，上海市人民政府发布《崇明生态岛建设纲要（2010—2020年）》，指导生态岛生态领域的建设与发展。2016年12月，上海市人民政府又发布了《崇明世界级生态岛发展“十三五”规划》，进一步深化推进崇明生态岛建设的指导思想、功能定位、主要目标和指标，提出到2020年，形成现代化生态岛基本框架。

对近年来崇明生态系统的变化特征，已有研究开展了相关分析。如王瑞静等<sup>[8]</sup>采用野外样方调查和实验室模拟相结合方法，研究了崇明岛主要植被类型碳储量。于泉洲等<sup>[9]</sup>分析了1984—2013年间长江口崇明东滩湿地植被年际及季节变化特征，结果表明植被NDVI在冬季和春季增加较大且极显著，植被的年内季节变化特征主要受月均温的控制。郭茹等<sup>[10]</sup>分析了2005—2013年崇明岛土地利用变化情况及碳储量变时空变化特征，结果表明，崇明岛耕地面积从740.10 km<sup>2</sup>减少到577.14 km<sup>2</sup>，林地和建设用面积分别从169.63、194.32 km<sup>2</sup>增加到279.85、260.13 km<sup>2</sup>；2005—2013年，崇明岛土地利用过程发挥碳源作用，碳储量净损失672.40×10<sup>3</sup> t，其中林地转变为耕地的碳源作用最明显，引起的碳储量损失占总损失的65.1%。然而，鲜有研究对崇明生态岛气候变化及影响评估开展分析。鉴于此，本文利用上海崇明气象站1961—2016年气候要素数据和主要天气现象记录资料，研究了崇明气候变化的特征及其影响，以期对崇明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。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据

本文所用的资料有：上海崇明气象站1961—2016年逐日平均气温、降水量、日照、风速、相对湿度以及高温、暴雨、大风、雾日数记录资料。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。

### 1.2 研究方法

本文中高温指日最高气温≥35℃的天气现象，暴雨指日降雨量≥50 mm的天气。大风和雾的标准与“地面气象观测规范”<sup>[11]</sup>一致，即大风为瞬时风速≥17.2 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 km的天气现象。

本文首先以崇明气象站1961—2016年主要气候要素（气温、降水、风速和日照）和天气现象（高温、

暴雨、大风和雾日数）的逐日数据，计算1981—2010年主要气候要素和天气现象的平均值，获得气候统计意义上的常年值；其次，计算崇明站1961—2016年间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；然后，计算气候要素变化对作物无霜期、≥3℃和≥10℃有效积温、风功率密度、混合层厚度、大气稳定性和人体舒适度的影响。

风功率密度计算公式如下：

$$\overline{D_{WP}} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho v_i^3, \quad (1)$$

式中， $D_{WP}$ 为设定时段的平均风功率密度（W/m<sup>2</sup>）， $n$ 为设定时段内的记录数， $v_i$ 为第 $i$ 记录风速（m/s）值， $\rho$ 为空气密度（kg/m<sup>3</sup>），由式（2）给出：

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \frac{p - 0.378e}{1000}, \quad (2)$$

式中， $\rho$ 为空气密度（kg/m<sup>3</sup>）， $P$ 为大气压（hPa）， $t$ 为气温（℃）， $e$ 为水汽压（hPa）。

大气稳定度是影响污染物在大气中扩散的极重要因素。当大气层结不稳定，热力湍流发展旺盛，对流强烈，污染物易扩散，但全层不稳定时，污染不易扩散远处。当大气层结稳定时，湍流受到抑制，污染物不易扩散稀释，特别当逆温层出现时，通常风力弱或无风，低空烟尘聚集地表，造成严重污染。本文大气稳定度采用帕斯奎尔（Pasquill）分类方法，根据地面风速、日照和云量分为6类，即强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、较稳定和稳定。文中主要分析稳定类天气（包括较稳定和稳定）的时间变化趋势。大气稳定度的具体计算方法见《中国环境影响评价培训教材》<sup>[12]</sup>。

混合层厚度，表征了污染物在垂直方向被热力湍流对流与动力湍流输送所能达到的高度。大气混合层厚度越大，越有利于污染物的扩散和稀释。文中混合层厚度综合考虑地面风速、地理纬度、地转角速度和边界层系数，根据大气稳定度的不同分类（不稳定或中性、稳定）分别计算。混合层厚度的具体计算方法见《中国环境影响评价培训教材》<sup>[12]</sup>。

利用日平均气温、相对湿度以及风速定义的综合性能指标评估人体体感舒适度<sup>[13]</sup>，其计算公式为：

$$ET = 37 - \frac{37 - T}{0.68 - 1.4 \times \frac{RH}{10} + \frac{1}{1.76 + 1.4 \left( \frac{W}{10} \right)^{\frac{3}{4}}}} - 0.29T(1 - RH) \quad (3)$$

式中， $T$ 为日平均气温（℃）， $RH$ 为日平均相对湿度， $W$ 为日平均风速（m/s）。当10 <  $ET$  < 24，记为一

个人体舒适度日。

## 2 研究结果与分析

### 2.1 基本气候要素的变化特征

#### 2.1.1 气温

1961—2016年, 崇明年平均气温总体上呈明显上升趋势, 平均每十年升高 $0.27\text{ }^{\circ}\text{C}$  (图1)。崇明多年平均 (1981—2010年, 下同) 气温为 $15.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。20世纪90年代末以来, 升温趋势尤其显著。与常年值相比, 1961年至20世纪90年代初以气温偏低为主, 1997年之后, 年平均气温总体上持续偏高。

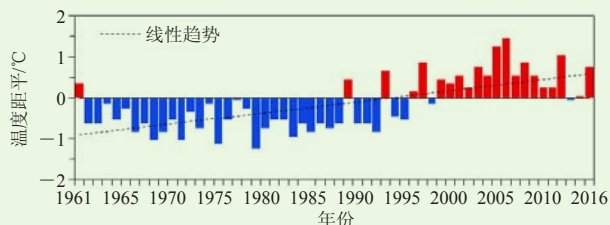


图1 1961—2016年崇明年平均气温距平变化  
Fig. 1 Anomaly of annual average temperature at Chongming station for 1961—2016

1961—2016年, 崇明的四季平均气温总体上均呈上升趋势, 其中春季的上升趋势最明显, 达到了 $0.40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  (图略); 冬季和秋季次之, 分别为 $0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 夏季的上升趋势最小, 为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

#### 2.1.2 降水

1961—2016年, 崇明站年降水量总体上呈明显增多趋势, 增幅达 $58.2\text{ mm}/10\text{ a}$  (图2), 且存在明显年代际变化。崇明多年平均降水量为 $1127.7\text{ mm}$ 。与常年值相比, 20世纪60—80年代中期以降水偏少为主, 1999年以来, 降水总体上以偏多为主。1978年、2003年、1968年和1971年分别是排名前四位的降水低值年; 2016年、2015年、1999年和1985年分别是崇明排名前四位的降水高值年。

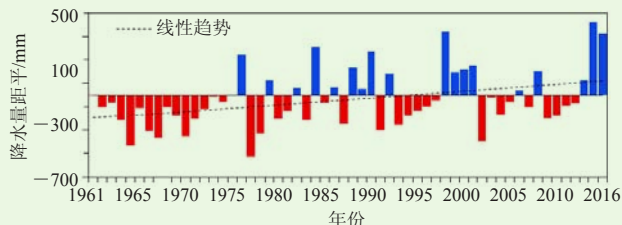


图2 1961—2016年崇明年降水量距平变化  
Fig. 2 Anomaly of annual precipitation at Chongming station for 1961—2016

1961—2016年, 崇明的四季降水量除在春季呈微弱的减少趋势外, 其余三季均呈不同程度的增多趋

势。其中, 夏季降水量的增多趋势最为显著, 增幅达 $48.7\text{ mm}/10\text{ a}$  (图略); 冬季次之, 降水量增幅为 $14.0\text{ mm}/10\text{ a}$ ; 春、秋两季的降水量长期趋势变化不显著, 以年际变化为主。

#### 2.1.3 日照

1961—2016年, 崇明日照时数呈明显的减少趋势, 平均减少达 $50\text{ h}/10\text{ a}$  (图3)。崇明多年平均日照时数为 $1973\text{ h}$ 。崇明的四季日照时数除在春季呈微弱的增加趋势外, 其余三季均呈明显的减少趋势。其中, 夏季的减少趋势最为显著, 平均减少 $30\text{ h}/10\text{ a}$  (图略); 冬季和秋季次之, 平均减少分别为 $14$ 和 $11\text{ h}/10\text{ a}$ ; 春季则呈现出平均 $5\text{ h}/10\text{ a}$ 的微弱增加趋势。

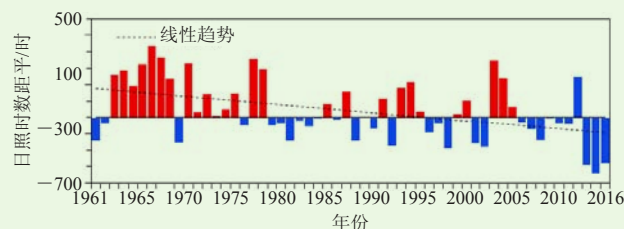


图3 1961—2016年崇明年日照时数距平变化  
Fig. 3 Anomaly of annual sunshine duration at Chongming station for 1961—2016

#### 2.1.4 风速

1961—2016年, 崇明年平均风速呈显著的减小趋势, 平均减小 $0.23\text{ m/s}\cdot 10\text{ a}$ 。崇明的多年平均风速为 $3.5\text{ m/s}$ 。20世纪60年代到70年代中期崇明风速均为正距平, 70年代中后期转为负距平, 80年代初崇明风速又转为正距平, 90年代后至2016年则以负距平居多 (图4)。崇明的四季风速均呈明显的减弱趋势。其中, 冬春季的减弱趋势最为显著, 平均减少 $0.25\text{ m/s}\cdot 10\text{ a}$  (图略); 夏季次之, 平均减少 $0.24\text{ m/s}\cdot 10\text{ a}$ ; 秋季的减弱趋势相对较小, 平均减少 $0.16\text{ m/s}\cdot 10\text{ a}$ 。

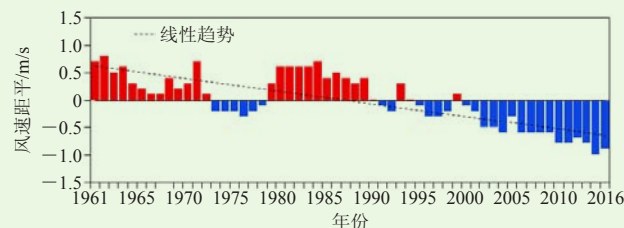


图4 1961—2016年崇明年平均风速距平变化  
Fig. 4 Anomaly of annual average wind speed in Chongming station for 1961—2016

#### 2.1.5 相对湿度

1961—2016年, 崇明相对湿度呈明显的减少趋势, 平均减少 $0.9\text{ }^{\circ}/10\text{ a}$  (图5)。崇明多年平均相对

湿度为79.7%。2004—2013年，崇明年平均相对湿度出现年代际转变，较多年平均减少明显；除1995年为负距平，且与多年平均较为接近外，其余年份均为正距平。崇明的四季相对湿度均呈现明显的减少趋势。其中，春季的减少趋势最为显著，平均减少1.7%/10 a（图略）；其余各季平均减少分别为0.8%/10 a（夏）、0.8%/10 a（秋）和0.6%/10 a（冬）。

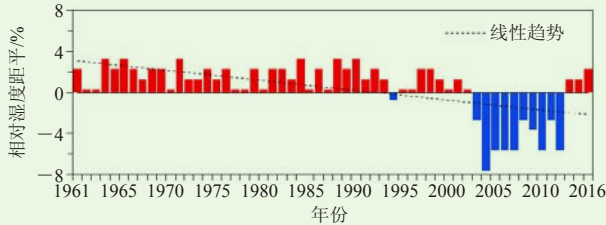


图5 1961—2016年崇明年平均相对湿度距平变化  
Fig. 5 Anomaly of annual average relative humidity at Chongming station for 1961—2016

## 2.2 崇明与中心城区气候差异性分析

选取徐家汇站为上海中心城区代表站，对比分析崇明岛与城区气候变化特征的差异（表1）。可以发现，崇明岛多年平均气温和降水量分别为15.9℃和1127.7 mm，均比徐家汇（17.0℃和1259.4 mm）偏低，且1961—2016年平均增加0.27℃/10 a和58.2 mm/10 a，增温速度和降水量增长趋势都比徐家汇（0.5℃/10 a和72.7 mm/10 a）缓慢，体现了城市化带来的热岛和雨岛效应对二者气候变化特征的影响差异。

表1 崇明与徐家汇站气候变化特征对比  
Table 1 Climatic elements at Chongming and Xujiahui stations

	气温		降水		日照时数		风速		相对湿度	
	均值	趋势	均值	趋势	均值	趋势	均值	趋势	均值	趋势
	℃	℃/10a	mm	mm/10a	h	h/10a	ms <sup>-1</sup>	ms <sup>-1</sup> /10a	%	%/10a
崇明	15.9	0.27	1127.7	58.2	1973	-50	3.5	-0.23	79.7	-0.9
徐家汇	17.0	0.5	1259.4	72.7	1692	-140	2.3	-0.46	74.3	-2.0

注：均值为1981—2010年；趋势为1961—2016年。

此外，崇明岛多年平均日照时数、风速和相对湿度分别为1973 h、3.5 m/s和79.7%，徐家汇站分别为1692 h、2.3 m/s和74.3%；且三者均呈现减少的趋势，崇明1961—2016年平均日照时数减少50 h/10 a，风速减小0.23 m/s·10 a，相对湿度减小0.9%/10 a；徐家汇平均日照时数减少140 h/10 a，风速减小0.46 m/s·10 a，相对湿度减小2.0%/10 a。

## 2.3 高影响天气的变化特征

### 2.3.1 暴雨

1961—2016年崇明暴雨日数总体呈现上升趋势（图6），平均增加0.4 d/10 a。1981—2010年崇明暴

雨（日降水量≥50 mm）日数30年平均值为3.2 d。1965、1973、1978和2010年崇明未发生暴雨；1999年发生暴雨日数最多，达9 d。

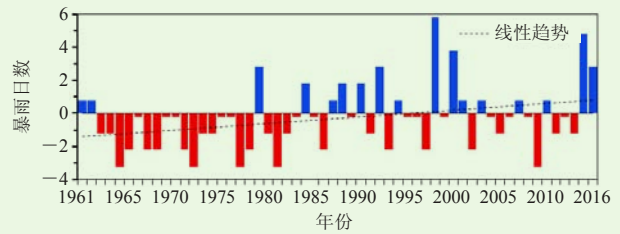


图6 1961—2016年崇明暴雨日数距平变化  
Fig. 6 Anomaly of annual number of rainstorm days at Chongming station for 1961—2016

对各级降水对年总降水量的贡献分析表明，1961—2016年崇明小雨（24 h雨量介于0.1~9.9 mm）降水量对全年降水量贡献率总体呈现略微下降趋势，平均减少0.7%/10 a（图略）。中雨（24 h雨量介于10.0~24.9 mm）和大雨（24 h雨量介于25.0~49.9 mm）对全年降水量贡献率的年际变化较明显，总体呈现略微下降趋势，平均减少0.8%/10 a和0.7%/10 a。暴雨（24 h雨量介于50.0~99.9 mm）对全年降水量贡献率总体呈现略微上升趋势，平均增加0.7%/10 a，而大暴雨（24 h雨量介于100.0~250.0 mm）对全年降水量贡献率总体呈现上升趋势，平均增加1.5%/10 a。

### 2.3.2 大风

1961—2016年，崇明年大风日数呈减少趋势，平均减少1.9 d/10 a（图7）。1981—2010年崇明年大风日数30年平均值为11.7 d。大风日数在1965年最多，为36 d。2000年以来，崇明年大风日数减少明显，仅2000年和2005年为正距平，其余年份均为负距平；其中2014年最少，全年无大风日数。

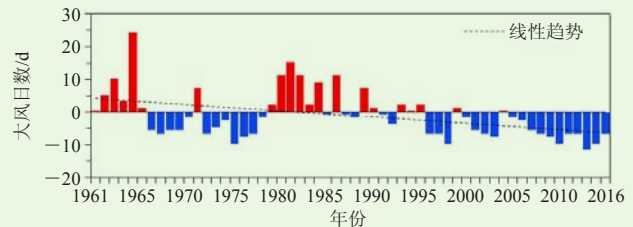


图7 1961—2016年崇明大风日数距平变化  
Fig. 7 Anomaly of annual number of gale days at Chongming station for 1961—2016

1965—2016年，崇明年极端最大风速呈减少趋势，平均减少0.9 m/s·10 a（图8）。1981—2010年，崇明年极端最大风速30年平均值为14.8 m/s。2000年以来，除2000和2002年崇明年极端最大风速大于常年值外，其余年份均小于常年值，仅为11 m/s左右。

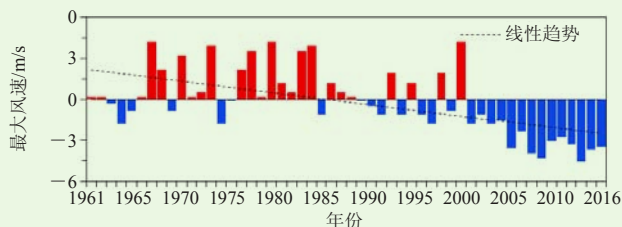


图8 1965—2016年崇明年极端最大风速距平变化  
Fig. 8 Anomaly of annual extreme maximum wind speed at Chongming station for 1961—2016

### 2.3.3 雾

1961—2016年，崇明年雾日数呈增加趋势，平均增加3.0 d/10 a（图9），并呈现出年代际变化特征。1981—2010年，崇明年雾日数30年平均值为38.9 d。2014—2016年，崇明年雾日数异常偏多，分别达到64、80和66 d；1960年代、1970年代及2000年以来其余年份较常年值偏少，1980年代和1990年代较常年值偏多。

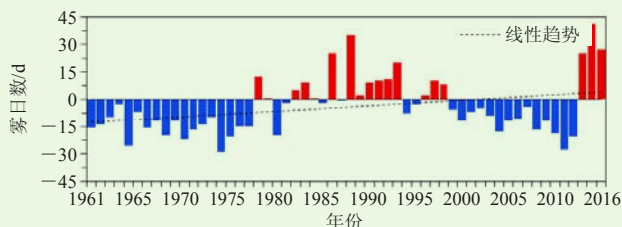


图9 1961—2016年崇明雾日数距平变化  
Fig. 9 Anomaly of annual number of fog days at Chongming station for 1961—2016

### 2.3.4 高温

1961—2016年，崇明高温日数呈增加趋势，平均增加1.8 d/10 a（图10）。1981—2010年崇明高温日数30年平均值为5.0 d。2000年以前，崇明高温日数以负距平为主，较常年值偏少；之后转为正距平，较常年值偏多。其中2013年崇明高温日数达36 d，较常年偏多31 d。

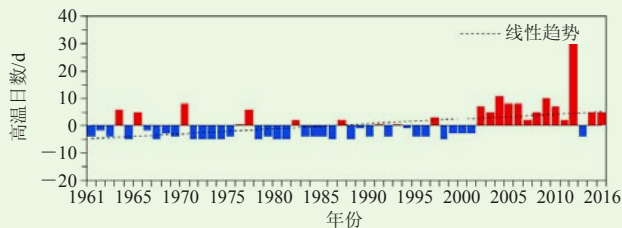


图10 1961—2016年崇明高温日数距平变化  
Fig. 10 Anomaly of annual number of high temperature days at Chongming station for 1961—2016

1961—2016年，崇明极端最高气温呈增加趋势，平均增加0.5 °C/10 a（图11）。1981—2010年，崇明极端最高气温30年平均值为36.2 °C。与高温日数相似，2000年以前，崇明极端最高气温以负距平为主；

之后转为正距平。其中2013年崇明极端最高气温达39.5 °C，较常年偏高3.3 °C。

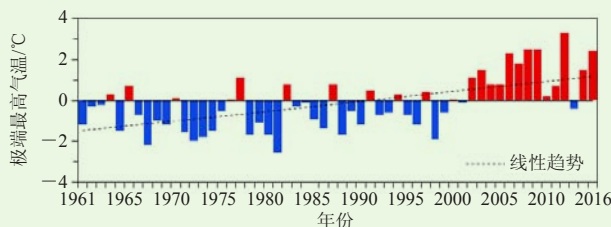


图11 1961—2016年崇明极端最高气温距平变化  
Fig. 11 Anomaly of annual extreme high temperature at Chongming station for 1961—2016

## 2.4 气候变化的影响评估

### 2.4.1 对作物无霜期和积温的影响

1961—2016年，崇明无霜期初日的出现时间整略有提前，终日的出现时间明显推迟，无霜期日数呈现一定程度增加趋势。2010年以后（2011—2016年，下同）与20世纪60年代（1961—1970，下同）相比，崇明无霜期初日的出现时间提前了4~5 d，终日的出现时间推迟了8~9 d，无霜期持续日数增加了12~13 d（图12）。

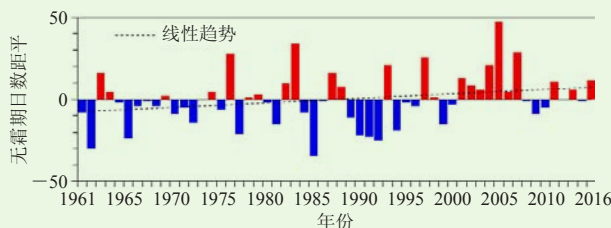


图12 1961—2016年崇明无霜期持续日数距平变化  
Fig. 12 Anomaly of annual number of frost-free days at Chongming station for 1961—2016

3 °C 是小麦作物开始生长的下限温度， $\geq 3$  °C 有效积温是评价小麦热量资源多少的重要指标。近50年来，崇明日平均气温稳定通过3 °C ( $>3$  °C，下同)的初日随时间变化明显提前，终日基本保持稳定，有效积温呈增多的趋势。2010年以后与20世纪60年代相比，崇明日平均气温稳定通过3 °C 初日的提前了15~16 d，终日的大约推迟2 d，有效积温增加了402~436 d °C（图略）。

10 °C 是水稻作物开始生长的下限温度， $\geq 10$  °C 有效积温的多少直接反映水稻生育期间的热量条件。近50年来，崇明日平均气温稳定通过10 °C ( $>10$  °C，下同)的初日随时间变化呈提前趋势，终日有所推迟，有效积温明显增加。2010年以后与20世纪60年代相比，崇明日平均气温稳定通过10 °C 初日的提前了7~8 d，终日的大约推迟5 d，有效积温增加了

284~308 d °C (图13)。

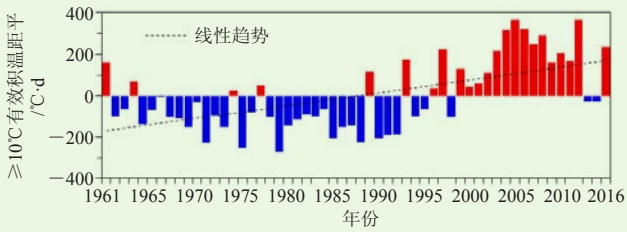


图13 1961—2016年崇明 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温距平变化  
Fig. 13 Anomaly of annual effective accumulated temperature above  $10^{\circ}\text{C}$  at Chongming station for 1961–2016

#### 2.4.2 对风能资源的影响

本文以风功率密度评估崇明岛风能资源气候变化。1961—2016年，崇明年平均风功率密度呈减少趋势，平均减少 $8.9 \text{ W/m}^2 \cdot 10 \text{ a}$  (图14)，即风能资源呈现减少趋势。1981—2010年崇明年平均风功率密度为 $40.8 \text{ W/m}^2$ 。20世纪90年代以前，崇明年平均风功率密度为正距平，较常年值偏多；20世纪90年代以后为负距平，较常年值偏少。2000年后，崇明年平均风功率密度仅为 $20 \text{ W/m}^2$ 左右。

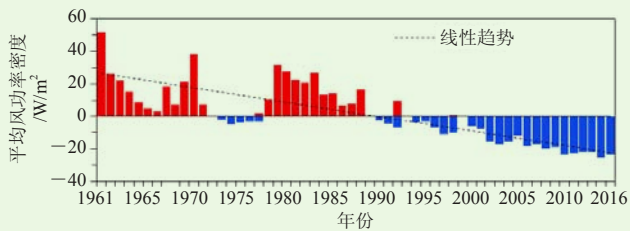


图14 1961—2016年崇明年平均风功率密度距平变化  
Fig. 14 Anomaly of annual average wind power density at Chongming station for 1961–2016

#### 2.4.3 对污染气象条件的影响

本文采用混合层厚度和大气稳定度来评估崇明岛通风能力和污染物扩散、稀释能力的气候变化。1961—2016年，崇明大气混合层厚度呈降低趋势，平均下降 $23.5 \text{ m}/10 \text{ a}$  (图15)，即污染物的扩散和稀释高度呈现减少趋势，环境条件不利于空气质量改善。尤其2000年以来，仅2000年略高于气候态，其余年份

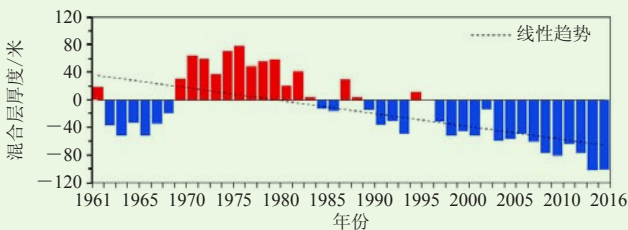


图15 1961—2016年崇明大气混合层厚度距平变化  
Fig. 15 Anomaly of annual average atmospheric mixed layer thickness at Chongming station for 1961–2016

均为负距平。

1981—2010年，崇明稳定类天气出现频率为26.9%。1973—2016年，崇明稳定类天气出现频率呈增加趋势，平均增加 $3.3 \%/10 \text{ a}$ 。自2000年以来，仅2000年稳定类天气出现概率较常年值偏低，其余年份均为正距平，即出现频率偏多。以上结果表明，崇明空气污染潜势较大天气逐渐增加。

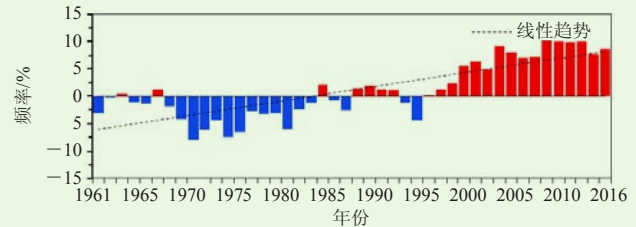


图16 1961—2016年崇明稳定类天气出现频率距平变化  
Fig. 16 Anomaly of annual frequency of stable weathers at Chongming station for 1961–2016

#### 2.4.4 对人体舒适度的影响

1961—2016年，崇明人体舒适日数总体呈现上升的趋势，平均增加 $4.3 \text{ d}/10 \text{ a}$  (图17)。1981—2010年，崇明人体舒适日数平均值为 $174.5 \text{ d}$ 。20世纪90年代中后期，崇明人体舒适日数出现年代际尺度上转变，从较常年值偏少为主转为偏多为主，有利于旅游行业发展。

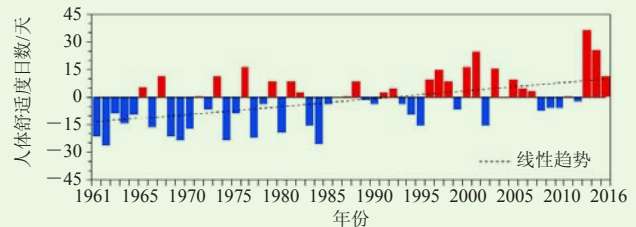


图17 1961—2016年崇明人体舒适度日数距平变化  
Fig. 17 Anomaly of annual number of human comfortable days at Chongming station for 1961–2016

### 3 结论与讨论

本文利用上海崇明气象站1961—2016年气候要素数据和主要天气现象记录资料，分析了崇明主要气候要素和天气现象的变化特征和影响，主要结论如下：

1) 1961—2016年间，崇明年平均气温总体上以 $0.27 \text{ }^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ 的线性趋势显著上升。气温在四季均呈上升趋势，以春季上升趋势最为明显。年降水量以 $58.2 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 的趋势明显增多，并存在明显的年代际变化。降水量除在春季微弱减少外，其余三季均不同程度地增多，以夏季增多最为显著。年日照时数以 $50 \text{ h}/10 \text{ a}$ 的趋势明显减少。除在春季微弱增加外，其余三季日照时数均呈明显的减少，以夏季减少最为显著。年风速以 $0.23 \text{ m/s}/10 \text{ a}$ 的趋势显著减小，并且四季

风速均呈减小趋势,以冬春季节的减小最为显著。年相对湿度以0.9%/10 a的趋势显著较小,且四季均呈减小趋势,以春季减小最为显著。

2) 过去56年间,崇明暴雨日数平均增加0.4 d/10 a。小雨、中雨和大雨对全年总降水量的贡献率呈下降趋势,而暴雨和大暴雨对全年总降水量的贡献率呈上升趋势,尤其是大暴雨,其对全年总降水量的贡献率增加1.5%/10 a。大风日数以1.9 d/10 a的线性趋势减少,年极端最大风速也呈减少趋势,平均减少0.9 m/s/10 a。年雾日数以3.0 d/10 a的趋势增加。年高温日数以1.8 d/10 a的线性趋势增加,极端最高气温也以0.5 °C/10 a的趋势增加。

3) 1961—2016年,崇明无霜期初日的出现时间略有提前,终日的出现时间明显推迟,无霜期日数增加。 $\geq 3$  °C有效积温增加了402~436 d °C,  $\geq 10$  °C有效积温增加了284~308 d °C。年平均风功率密度以8.9 W/m<sup>2</sup>·10 a的速率减少,即风能资源呈现减少趋势。大气混合层厚度以23.5 m/10 a的趋势降低,污染物的扩散和稀释高度降低,环境条件不利于空气质量改善。稳定类和不稳定类天气出现频率分别以3.3%/10 a和2.1%/10 a的趋势增加,而中性类天气出现频率呈减少趋势。人体舒适日数总体上以4.3 d/10 a的趋势增加。

随着大气中温室气体浓度的增加以及土地利用的变化,全球变暖是其主要特征<sup>[14]</sup>,并导致水循环的变化、极端天气和气候事件频率和强度增加等一系列问题<sup>[15-16]</sup>。以上崇明主要气候要素和天气现象的气候变化特征反应了崇明地区气候对全球气候变化的响应。然而与上海城区相比,崇明岛城市化程度较低,城市热岛、雨岛效应较弱,污染物扩散条件较好,更适宜

动植物生长等,充分体现了在全球变暖大背景下,其生态岛的独特优势。

#### 参考文献

- [1] 王绍武,叶谨林. 近百年全球气候变暖的分析. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553.
- [2] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2013.
- [3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2012.
- [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. 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. 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. Climatic Change, 2012, 110: 403-429.
- [7] de Vyver H V. Evolution of extreme temperatures in Belgium since the 1950s. Theor Appl Climatol, 2012, 107: 113-129.
- [8] 王瑞静,赵敏,高峻. 城市森林主要植被类型碳储量研究——以崇明岛为例. 地理科学, 2011, 31(4): 490-494.
- [9] 于泉洲,梁春玲,刘煜杰. 近30年长江口崇明东滩植被对于气候变化的响应特征. 生态科学, 2014, 33(6): 1169-1176.
- [10] 郭茹,王丹青,卢慧楠,等. 基于遥感的城镇化过程碳储量格局变化研究——以上海市崇明岛为例. 环境污染与防治, 2015, 37(12): 105-110.
- [11] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003.
- [12] 国家环境保护总局监督管理司. 中国环境影响评价培训教材. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [13] 中国气象局国家气候中心. 2013年全国气候影响评价. 北京: 气象出版社, 2014.
- [14] Trenberth K E, Jones P D, Ambenje P, et al. Observations: surface and atmosphere climate change. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [15] Schneider S H, Semenov S, Patwardhan A, et al. Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [16] Gleick P H, Adams R M, Amasino R M, et al. Climate change and the integrity of science. Science, 2010, 328: 689-690.
- [17] and Angstrom exponent of aerosols observed by the Chinese Sun Hazemeter Network from August. J Geophys Res, 2007, 112(D5): 1703-1711.
- [18] Zhang X Y, Wang Y Q, Zhang X C, et al. Aerosol monitoring at multiple locations in China: Contributions of EC and dust to aerosol light absorption. Tellus B, 2008, 60(4): 647-656.
- [19] 张小曳,孙俊英,王亚强,等. 我国雾-霾成因及其治理的思考. 科学通报, 2013, 58(13): 1178-1187.
- [20] Che H Z, Zhang X Y, Chen H B, et al. Instrument calibration and aerosol optical depth validation of the China Aerosol Remote Sensing Network. J Geophys Res, 114: D03206.
- [21] Zheng Y, Yuan T, Zhao F. Preface to special section on East Asian study of tropospheric aerosols: an international regional experiment (EAST-AIRE). J Geophys Res, 2007, 112: D22S00.
- [22] Li Z Q, Niu F, Lee K H, et al. Validation and understanding of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer aerosol products (C5) using ground-based measurements from the handheld Sun photometer network in China. J Geophys Res, 112: D22S07.
- [23] He Q S, Li C C, Geng F H, et al. A parameterization scheme of aerosol vertical distribution for surface-level visibility retrieval from satellite remote sensing. Remote Sensing of Environment, 2016, 181: 1-13.
- [24] He Q S, Zhou G Q, Geng F H, et al. Spatial distribution of aerosol hygroscopicity and its effect on PM2.5 retrieval in East China. Atmospheric Research, 2016, 170: 161-167.
- [25] Cheng N L, Meng F, Wang J K, et al. Numerical simulation of the spatial distribution and deposition of PM2.5 in East China coastal area in 2010. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(6): 305-310.
- [26] Boys B L, Martin R V, Van Donkelaar A, et al. Fifteen-year global time series of satellite-derived fine particulate matter. Environmental Science Technology, 2014, 48(19): 11109-11118.
- [27] Ma Z, Hu X, Sayer AM, et al. Satellite-based spatiotemporal trends in PM2.5 concentrations: China, 2004-2013. Environmental Health Perspectives, 2016, 124(2): 184-192.

(上接142页)