

虞俊, 王遵娅, 张强. 2009. 长江三峡库区大雾的变化特征分析及原因初探 [J]. 气候与环境研究, 15 (1): 97-105. Yu Jun, Wang Zun-ya, Zhang Qiang. 2009. Preliminary assessment on changes of fog in the region around Three Gorges Reservoir after water pounding [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (1): 97-105.

## 长江三峡库区大雾的变化特征分析及原因初探

虞俊<sup>1,2</sup> 王遵娅<sup>3</sup> 张强<sup>3</sup>

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

2 中国气象局国际合作司, 北京 100081

3 国家气候中心, 北京 100081

**摘要** 利用近54年三峡库区6个气象站的逐日雾、相对湿度和能见度的历史资料, 对1954年以来三峡库区雾的气候变化特征, 尤其是近几年三峡水库蓄水以后大雾的变化及其产生变化的可能原因进行了讨论。结果表明: 1954~2007年三峡库区雾日数呈弱的增加趋势, 而2000年后库区的雾日明显减少。相对湿度与雾日数之间存在显著的正相关关系, 而相对湿度与气温呈明显的负相关关系。气温变化影响相对湿度变化, 从而影响雾的发生频率是三峡库区雾变化的重要原因。2000年以后, 在全球变暖大背景及城市化的共同影响下, 三峡库区气温显著升高, 相对湿度明显减小, 是导致雾日大幅减少的直接影响因素。另外, 分析还显示, 无论是雾日数还是相对湿度都表现出了明显的年代际振荡特征, 2000年后三峡库区相对湿度减小进而雾日减少正是受到了这种年代际背景的影响。就目前的观测表明, 三峡水库蓄水的小气候效应影响小或还没有明确显现。

**关键词** 长江三峡库区 雾 气候变化 相对湿度

**文章编号** 1006-9585 (2010) 01-0097-09 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

## Preliminary Assessment on Changes of Fog in the Region around Three Gorges Reservoir after Water Pounding

YU Jun<sup>1,2</sup>, WANG Zunya<sup>3</sup>, and ZHANG Qiang<sup>3</sup>

1 Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

2 Department of International Cooperation, China Meteorological Administration, Beijing 100081

3 National Climate Center, Beijing 100081, China

**Abstract** Climatic variation characteristics of fog days in the region around the Three Gorges Reservoir since 1954, especially the changes after water pounding in 2003, are analyzed based on the daily observation dataset of fog days, relative humidity, and visibility at the six stations around the Three Gorges Reservoir. It is found that the numbers of fog days show a weak increasing trend from 1954 to 2007, while they had a significant decreasing trend after water pounding in 2003. The possible reason for the obvious decrease of fog days after water pounding is discussed. The mean temperature has significant negative correlation with relative humidity, and strong positive correlation with the number of fog days in the region around the Three Gorges Reservoir. It's the important factor of fog variation in the region around the Three Gorges Reservoir that the temperature change has an impact on relative humidity.

**收稿日期** 2008-10-17 收到, 2009-12-26 收到修定稿

**资助项目** 国家自然科学基金 40905036, 国家科技支撑计划课题 2007BAC29B02 和中国气象局基本建设项目“三峡库区气候监测、预警、评估业务运行和改进” 2008-2012208

**作者简介** 虞俊, 男, 1979年出生, 助理工程师, 主要从事气候学研究。E-mail: yj@cma.gov.cn

ty, and affects the frequency of fog further. The mean temperature has increased greatly since the 1990s, and the relative humidity as well as the fog frequency has decreased obviously since the 2000s in the region around the Three Gorges Reservoir. These changes result from both the climate warming and the urbanization. Additionally, analyse shows that both the number of fog days and relative humidity have obvious and similar interdecadal oscillations, with relative high values from the 1960s to the 1970s and in the early 21st century but low from the 1980s to the 1990s. This significant interdecadal oscillation affected the decrease of relative humidity and then fog days after water pounding, as the years after 2003 belong to the downward phase of the interdecadal oscillation. The comparison analysis shows that the local effect of the water pounding is limited, with the climatic background being dominant.

**Key words** Three Gorges Reservoir, fog, climatic variation, relative humidity

## 1 引言

雾对交通、运输、工业、人类健康等都有重要影响,在近年来受到越来越多的关注(李子华, 2001; 吴兑和邓雪娇, 2001; 刘小宁等, 2005; 王丽萍等, 2005; 何立富等, 2006; 周自江等, 2007)。三峡库区特殊的“V”形地理环境和独特的气候条件以及随着工业、民用燃料消耗量的增大,污染物排放增多,造成三峡多雾的显著气候特征。就气候平均而言,三峡库区的年雾日数在 20 天以上,具有自东向西减少的分布特征。峡谷以西和以东地区秋、冬季是多雾季节,夏季雾少,而奉节至巴东等峡谷地段正好相反,夏季为多雾季节(鞠笑生等, 2003)。三峡库区的雾还表现出了明显的年际、季节内和日变化特征(陈乾金等, 1997)。冷锋锋面临近,冷锋锋面过境及地面回暖的天气形势非常有利于长江三峡库区雾的形成(熊秋芬, 1997)。

2003 年 6 月三峡水库开始蓄水,它作为一个庞大的水利枢纽,是否会对局地,甚至更大范围的气候产生影响,是否会引起局地气候变化等问题已成为了人们关注的热点。而近百年来地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化(IPCC, 1996, 2001, 2007),中国的气温在 1905~2005 年间更是大幅上升了  $0.95^{\circ}\text{C}$  (《气候变化国家评估报告》编写委员会, 2007)。在气候变暖的影响下,中国的降水、风速、相对湿度等在发生频率和空间分布上都出现了明显改变(陈隆勋等, 2004; 王遵娅等, 2004; 任国玉等, 2005)。并且,中国的雾日数在近 50 多年出现显著减少(中国气象局, 2007),20 世纪 70~90 年代三峡地

区雾有增加趋势(鞠笑生等, 2003)。那么,三峡工程建设后雾发生了怎样的变化,这种变化受到了什么因素的影响,是局地气候效应的影响还是大的气候背景的作用呢?本文将就这些问题,并应用相对湿度和能见度资料来进行讨论其变化原因,以此对三峡地区雾的气候变化特征和水库蓄水的气候影响进行初步探讨。

## 2 资料和方法

本文选取重庆、涪陵、万州、奉节、巴东和宜昌 6 站作为三峡库区的代表站,其中重庆的建站时间为 1951 年,宜昌为 1952 年,涪陵和巴东为 1953 年,奉节为 1954 年,万州为 1955 年。采用该 6 站 1951~2007 年的逐日天气现象(雾)资料,1951~2006 年的逐日相对湿度和能见度观测资料进行分析。相对湿度资料自各站建站开始就有较为完整的记录,缺测较少。而天气现象和能见度资料则在 1954 年以后才开始有较完整的记录,并且能见度资料在各站点的一些年份还出现了 60 天以上的连续缺测,在这种情况下,年均值被算作缺测。以 1~12 月的平均值作为年均值,6 站的算术平均值作为三峡库区的平均值,1971~2000 年平均作为气候平均值。

在统计中,以各站的逐日天气现象记录中出现雾记为一个雾日。由于 1979 年以前(包括 1979 年)能见度是分等级进行记录,共分为 9 个等级,每个等级对应一定的公里数范围;而 1980 年以后,能见度观测以精确的公里数进行记录,因而在分析的时候,数据缺乏很好的连续性。为了解决这个问题,分别采用了将 1979 年以前数据换算成公里数及将 1980 年以后数据换算成等级数这两

种方法进行讨论。采用这两种方法分别制作了 1951~2006 年的年均能见度序列,发现前一种方法所得序列在 1979 年前后出现断点,数据连续性非常差;而后一种方法所得序列没有检测出明显断点,数据有较好的连续性。因而,选取第二种方法对能见度资料进行处理。

本文所用的主要分析方法包括采用最小二乘法拟合线性变化趋势,小波分析及相关分析等。

### 3 长江三峡库区雾的气候变化特征

图 1 所示为 1954~2007 年三峡库区平均的年雾日数序列。从该序列可以看出年际变化大的特征,雾日最多达 59 天(1987 年),而最少仅 13 天(2007 年)。小波分析(图略)的结果表明,长江三峡库区的年雾日序列有明显的 2~4 年周期,通过了 90% 的信度检验。同时,该序列还表现出了显著的年代际振荡特征。20 世纪 60 至 70 年代末及 21 世纪初三峡库区的雾偏少,而 20 世纪 80 至 90 年代末雾偏多,由此形成一个明显的 30~40 年周期波动。另外,10~20 年周期的振荡也比较清楚。小波分析的结果表明这两种年代际波动通过了 90% 的信度检验。采用最小二乘法对 1954~2007 年三峡库区年雾日序列进行线性趋势拟合发现,呈弱的上升趋势,线性变化趋势系数为  $0.8 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,没有通过显著性检验。也就是说,

近 54 年三峡库区的年雾日数略有增加,但增幅小,变化不显著。

雾是一种主要的低能见度天气现象,通过统计低能见度日数(日均能见度小于等于 1 km)的逐年值可以发现(图 2),1987 年三峡库区的低能见度日数最多,约 42 天,而 1967 年最少,仅 10 天。20 世纪 80 至 90 年代三峡库区的低能见度日数偏多,而 60 年代中期至 70 年代中期及 21 世纪初低能见度日数明显偏少。1954~2006 年三峡库区的低能见度日数呈增加趋势,线性变化趋势为  $2.8 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,通过了 95% 的信度检验。将其与图 1 作对比可以发现:无论是年际变化,年代际振荡还是长期变化趋势,两者都非常相似。计算表明,两者相关系数达 0.86,通过了 99% 的信度检验。并且,进入 21 世纪以后,低能见度日数也出现了显著的减少。这很好的印证了近 54 年三峡库区雾的变化特征。

对各单独的站点而言,雾的气候特征各有差异(表 1)。涪陵雾最多,平均每年 72.4 天;宜昌最少,平均每年 22.4 天。各站点都表现出明显的年代际变化特征,虽然多(少)雾年代在每个站有所不同,但总的来说,20 世纪 80 至 90 年代各站的雾日普遍偏多,而 60 至 70 年代及 21 世纪初雾日普遍偏少。就长期变化趋势而言,涪陵和巴东的年雾日数在 1954~2007 年呈显著的增加趋势;而其余 4 站为减少趋势,并且除万州外都通过

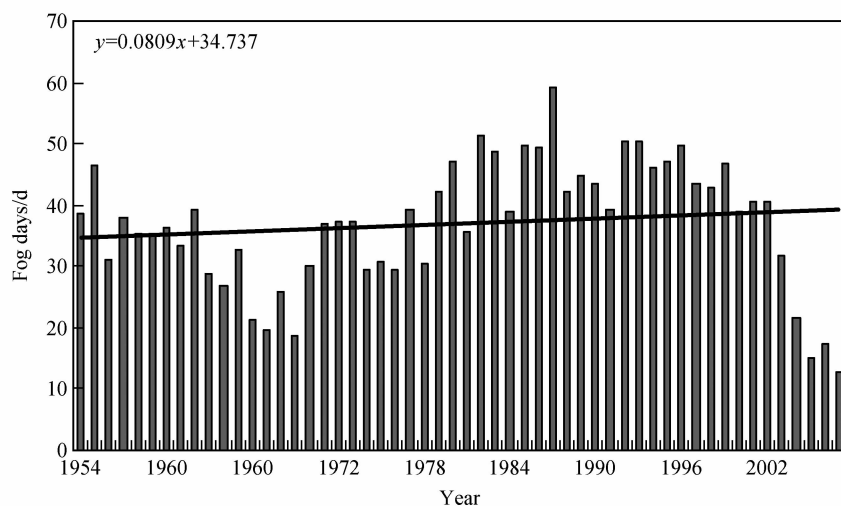


图 1 1954~2007 年长江三峡库区平均年雾日数序列

Fig. 1 Time series of annual mean fog days in the region around the Tree Gorges Reservoir from 1954 to 2007

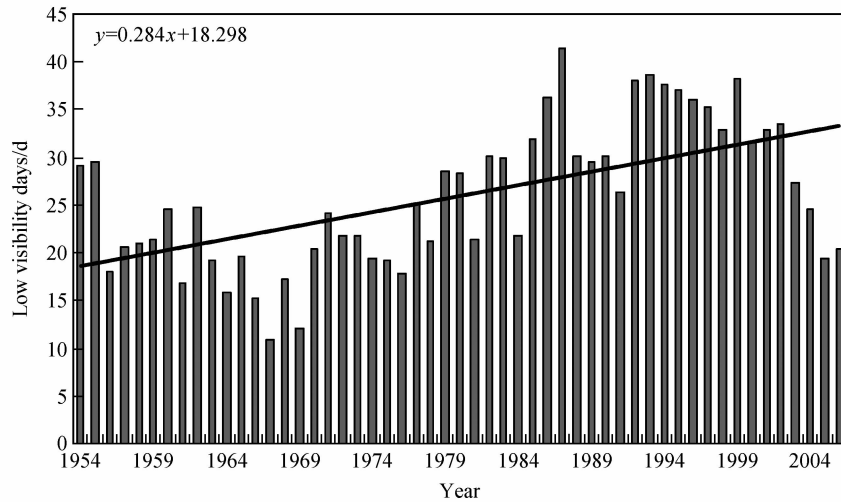


图2 1954~2006年长江三峡库区年低能见度日数序列

Fig. 2 Time series of annual mean poor-visibility days in the region around the Tree Gorges Reservoir from 1954 to 2006

表1 长江三峡库区各站年雾日数气候特征参数

Table 1 Parameters of climatic characters of annual mean fog days at each station in the region around Tree Gorges Reservoir

| 站点 | 气候平均值<br>(1971~2000)<br>年/d | 多雾年代              | 线性变化趋势系数<br>(1957~2007年)<br>/d·(10 a) <sup>-1</sup> |
|----|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|
| 重庆 | 44.7                        | 20世纪50至60年代中期     | -11.0*                                              |
| 涪陵 | 72.4                        | 20世纪80至90年代       | 16.0*                                               |
| 万州 | 52.6                        | 20世纪80至90年代       | -1.4                                                |
| 奉节 | 26.5                        | 20世纪70至80年代       | -4.6*                                               |
| 巴东 | 37.2                        | 20世纪80至90年代       | 11.0*                                               |
| 宜昌 | 22.4                        | 20世纪70年代中期至90年代中期 | -1.2*                                               |

\*表示通过了95%信度检验,下同。

了95%的信度检验。并且,重庆、涪陵和巴东的增减幅度大,线性变化趋势系数在 $11.0\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 及以上。

过了从上面的分析我们可以注意到,无论是单独的站点还是三峡库区平均,雾日都表现出明显的年代际振荡特征,从20世纪60至90年代经历了一个完整的年代际波动,进入21世纪后,雾日出现逐年的减少。这就表明,21世纪初,三峡库区的雾少在很大程度上受到了年代际振荡的影响。并且,若按照年代际振荡周期进行外推,那么在未来5~10年的时间内,该地区还将维持雾偏少的异常态。关于这一点,还将在后面

进行详细讨论。

## 4 三峡库区蓄水后雾的变化特征

2003年6月三峡水库开始蓄水到139 m。下面,我们将对三峡库区蓄水前后雾的变化特征进行详细分析。为了保证对比时段相同,在蓄水前后各取4年进行比较,即蓄水前取2000~2003年,蓄水后取2004~2007年。

就整个三峡库区而言,其蓄水前的年雾日数平均为38天,蓄水后为16.7天,减少了一半多(21.3天),差值通过了95%的信度检验。并且其蓄水后的年雾日数较气候平均值也显著偏少(约26天)。2004~2007年,三峡库区的年雾日数表现出了逐年减少的变化趋势。从各个站点的情况看(表2),蓄水后涪陵雾最多,平均每年有44.3天,奉节雾最少,平均每年只有约2天。各站的雾都在蓄水后出现了明显减少:蓄水后雾日与气候平均值相比,万州偏少最多,达39.1天,宜昌最少,为11.6天。蓄水后雾日与蓄水前相比,巴东减幅最大,为60天,其次是涪陵,为36.7天。涪陵、万州、奉节和巴东在蓄水前后雾日的差值均通过了95%的信度检验。各站的年雾日数在2004~2007年期间也表现出一致的逐年减少趋势。总的来说,三峡库区的雾在蓄水后出现了一致的显著减少。

表 2 蓄水后长江三峡库区各站雾日数气候特征参数  
Table 2 Parameters of climatic characters of annual mean fog days at each station in the region around Tree Gorges Reservoir after water ponding

| 站点 | 蓄水后平均<br>雾日数/d | 蓄水后雾日<br>数距平/d | 蓄水后与<br>蓄水前雾日<br>数差值/d | 变化趋势<br>(2004~<br>2007 年) |
|----|----------------|----------------|------------------------|---------------------------|
| 重庆 | 23.3           | -21.4          | -2.0                   | 减少                        |
| 涪陵 | 44.3           | -28.1          | -36.7*                 | 减少                        |
| 万州 | 13.5           | -39.1          | -21.3*                 | 减少                        |
| 奉节 | 2.0            | -24.5          | -9.8*                  | 减少                        |
| 巴东 | 14.5           | -22.7          | -60.0*                 | 减少                        |
| 宜昌 | 10.8           | -11.6          | -2.0                   | 减少                        |

5 三峡库区雾变化的可能原因分析

水汽是雾形成的一个重要条件，因而湿度的变化是影响雾发生的一个重要原因。图 3 显示了近 50 多年三峡库区年相对湿度的逐年变化。由图可知，20 世纪 80 至 90 年代相对湿度偏高，而 60 年代中后期和 21 世纪初偏低。1954~2006 年三峡库区的年相对湿度呈弱的上升趋势，没有通过显著性检验。以日相对湿度大于等于 90% 作为一个高湿日统计 1954 年以来的高湿日数，发现其与年相对湿度有非常一致的变化特征。而这两者均与年雾日数具有相似的波动特征，计算表明：三峡库区年相对湿度和年高湿日数与年雾日数的相关

系数都很高，分别为 0.57 和 0.58，通过了 99% 的信度检验。可见，相对湿度的变化会在很大程度上影响雾的变化，是引起雾变化的一个重要原因。并且，从 2000 年以后，相对湿度呈现出逐年明显减小的变化趋势，并在 2007 年降到了 1954 年以来的最低值，为 71%，这可能影响了雾在三峡蓄水后的明显减少。从表 3 可以清楚的看到，就三峡库区的各个站点而言，也能得到与上述一致的结论。

进一步的分析还发现，长江三峡库区的相对湿度与其平均气温的变化存在密切关系。图 4 显示了 1954~2006 年库区平均的年平均气温序列。可以看到，气温呈明显的先减后增的变化趋势，20 世纪 50 年代、60 年代中后期及 21 世纪初库区的气温相对偏高，而 80 至 90 年代气温明显偏低。与图 3 对比，这种年代际的变化特征正好反位相。计算三峡库区相对湿度与平均气温的相关系数发现两者呈明显的负相关关系，相关系数达-0.58，通过了 99% 的信度检验。因而，相对湿度的变化在很大程度上是受到了气温的影响，随着气温的升高相对湿度不断降低。对库区内各站点的相对湿度与平均气温求相关也能得到相同结果，其中万州站的相关系数甚至达到了一 0.71。由此可以推断，相对湿度的降低造成了雾日的减少，而相对湿度的变化是受到了气候变暖的大背景影响。

需要特别注意的是，无论是库区平均还是库区

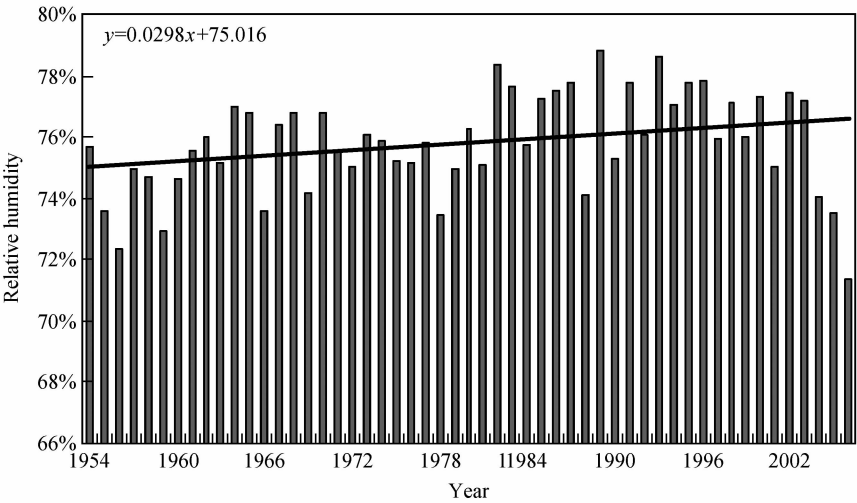


图 3 1954~2006 年长江三峡库区年相对湿度序列  
Fig. 3 Time series of annual mean relative humidity in the region around Tree Gorges Reservoir from 1954 to 2006

表 3 蓄水后长江三峡库区各站年相对湿度和年高湿日数的气候特征参数及年相对湿度和年高湿日数与雾日数的相关系数  
Table 3 Parameters of climatic characters of annual mean relative humidity and high-humidity days after water ponding and correlation coefficients between annual fog days with annual mean relative humidity and annual high-humidity days at each station in the region around Tree Gorges Reservoir

| 站点 | 蓄水前、后相对湿度差值 | 蓄水后平均相对湿度距平 | 蓄水前、后高相对湿度日数差值 | 蓄水后高相对湿度日数距平 | 年雾日数与年相对湿度相关系数 | 年雾日数与高湿度日数相关系数 |
|----|-------------|-------------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| 重庆 | -2.4        | -2.0        | -40.8          | -34.0        | 0.16           | 0.09           |
| 涪陵 | -4.7        | -5.0        | -94.5          | -102.2       | 0.59 *         | 0.39 *         |
| 万州 | -2.9        | -5.3        | -59.8          | -102.9       | 0.63 *         | 0.52 *         |
| 奉节 | -1.4        | -0.5        | -20.0          | 1.3          | 0.54 *         | 0.53 *         |
| 巴东 | -1.6        | -0.9        | -48.8          | -21.3        | 0.68 *         | 0.76 *         |
| 宜昌 | -1.6        | -0.8        | -22.0          | -9.4         | 0.13           | 0.12           |

注：蓄水前、后相对湿度差值和高相对湿度日数差值均为蓄水后减去蓄水前。

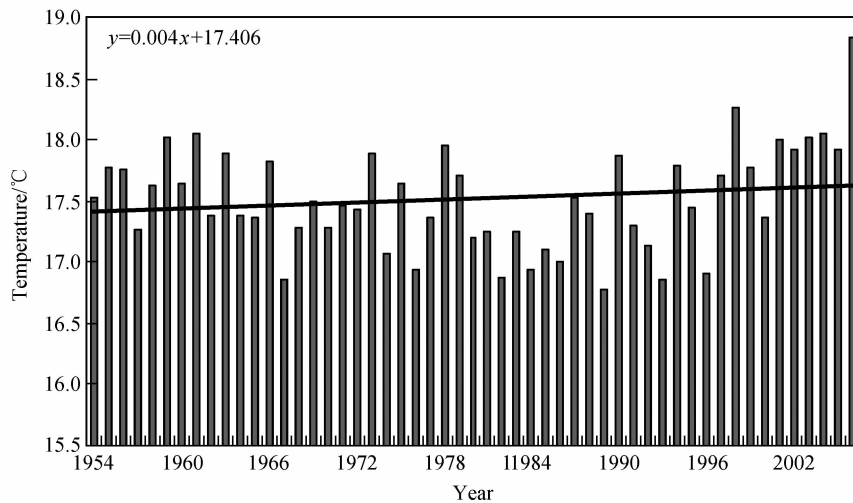


图 4 1954~2006 年长江三峡库区年平均气温序列

Fig. 4 Time series of annual mean temperature in the region around Tree Gorges Reservoir from 1954 to 2006

内各站点，其气温都在 20 世纪 90 年代以后出现了非常显著的升高。这是全球气候变暖影响的结果，同时，热岛效应更加剧了城市气温的上升。目前的大量研究都显示（LaDochy, 2005；任春艳等，2006；李子华等，2008；石春娥等，2008；郑思轶和刘树华，2008），城市扩大，社会经济发展，不仅导致了城市雾日减少、雾水含量减少、雾滴尺度减小、雾滴数密度增大，还会使雾水离子浓度和酸度变大。近几十年来，我国城市化发展迅速，就重庆市而言，1985~2005 年，其城市化水平从 21.88% 上升到了 45.4%，平均以每年 3.7% 的百分比增长，超过了西部平均水平和全国平均水平（刘艳，2008）。宜昌 1949 年建市时的中心城区面积仅 2 平方公里，1975 年扩大到 7.6 平方公里，到 2003 年已达到 67 平方公里（高青，

2005）。另外，三峡库区内的其他站点也都出现了不同程度的城市化发展。通过对比图 1、3 和 4 可以发现，三峡库区在 20 世纪 90 年代以后平均气温显著升高，21 世纪初以后相对湿度明显减小，雾日大幅减少。库区内各站点的变化情况也是如此。这表明城市化的发展对三峡库区气温升高，从而相对湿度减小，最终雾日减少也是具有明显作用的。三峡库区雾的变化一方面受到大的气候背景影响，同时也是城市化影响的结果。

在此项分析中另一个值得探讨的问题是，三峡库区的相对湿度在 2004 年后的显著减小，从而雾日减少是否是由蓄水的小气候效应引起的呢？图 5 显示了三峡库区雾日数和相对湿度的年代际分量。很明显，两者的年代际振荡在 20 世纪 70 年代中期以后是非常一致的，并在 21 世纪初以后

处于年代际偏少的阶段, 2004~2007 年的值也正是处于这样的年代际背景下。而当年代际分量被滤除以后(图略), 2004~2006 年为负距平, 但距平值都在序列波动的正常范围内。并且, 对整个序列进行 MK 检验并没有发现突变点。这就表明, 2004~2007 年三峡库区雾日和相对湿度的减少主要受到了年代际背景的影响, 而三峡蓄水的影响即使有也比较小, 没有使雾日数和相对湿度的状态在蓄水后出现突变。

为了进一步验证三峡库区 2004~2007 年雾日

数的减少主要由年代际波动造成而非水库蓄水的局地效应引起, 采用了库区与远库区比较的方法(傅抱璞和翁笃鸣, 1994)。也就是说, 库区与附近远库区处于相同的气候背景下, 则二者相减可滤除该大的气候背景而突显出局地效应。因此, 挑选了三峡库区以南( $26^{\circ}\text{N}\sim 29^{\circ}\text{N}$ ,  $106^{\circ}\text{E}\sim 112^{\circ}\text{E}$ )和以北( $31^{\circ}\text{N}\sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $106^{\circ}\text{E}\sim 112^{\circ}\text{E}$ )各一个区域分别与库区的雾日进行比较。在该两个区域内绝大部分站点的雾日与三峡库区雾日的相关系数都在 0.4 以上, 部分可达 0.7 以上, 因而保证了两

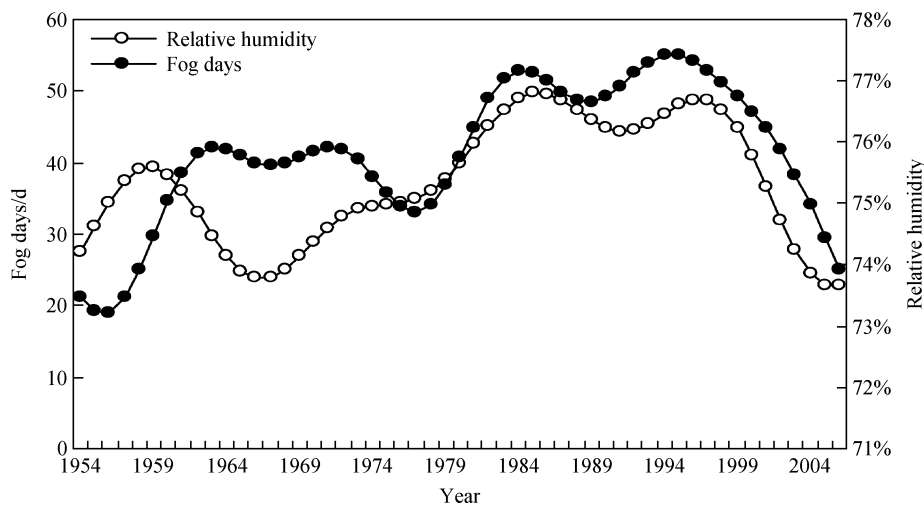


图 5 1954~2006 年三峡库区年雾日数和年相对湿度的年代际分量

Fig. 5 Time series of the interdecadal components of annual mean fog days and annual relative humidity in the region around Three Gorges Reservoir from 1954 to 2006

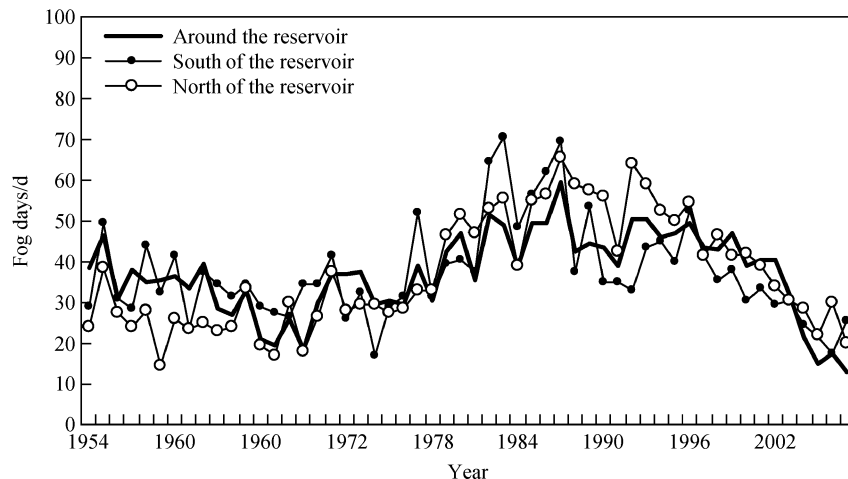


图 6 1954~2007 年三峡库区、库区以南和以北 3 个区域的年雾日数序列

Fig. 6 Time series of annual mean fog days in the regions around, south of, and north of the Three Gorges Reservoir, respectively, from 1954 to 2007

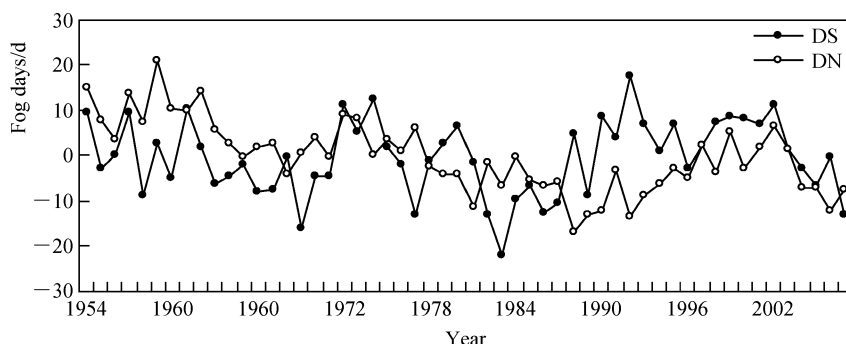


图7 1954~2007年三峡库区年雾日数分别与库区以南(DS)和库区以北(DN)的差值序列

Fig. 7 Time series of differences of annual mean fog days between the region around the Three Gorges Reservoir with the regions south (DS) of and north (DN) of the reservoir, respectively, from 1954 to 2007

个区域内的雾日数与三峡库区雾日数有较一致的气候特征,从而具有较高的可比性。图6为库区及其以南和以北三个区域1954~2007年雾日数的历年变化,可以清楚地看到,三者的年代际变化是非常一致的,20世纪80至90年代雾偏多,而60到70年代末及21世纪初雾偏少。这再次证实了年代际振荡对三峡库区蓄水后雾减少的影响。而从库区与库区以南和以北区域的差值看(图7),2004~2007年三峡库区的雾日数基本为负值,即库区的雾日数较远库区偏少,但差值的振幅在正常范围内,且没有出现突变。这也进一步证明了三峡库区蓄水对雾减少的影响是比较小的。

## 6 结论

(1) 1954~2006年三峡库区的年雾日数在1987年最多而在2007年最少。库区20世纪80至90年代雾偏多,而60至70年代及21世纪初雾偏少,表现出了明显的10~20年和30~40年周期。库区的雾日数在近54年呈弱的上升趋势,但在21世纪初为明显的下降趋势,尤其是2004~2007年为显著的逐年减少。

(2) 三峡库区的年雾日数与年相对湿度呈显著的正相关关系,而相对湿度与气温呈明显的负相关关系。气温的变化造成相对湿度变化,从而影响雾的发生频率是三峡库区雾日变化的重要原因。

(3) 三峡库区的气温自20世纪90年代起出现了异常显著的升高,而其相对湿度和雾日在21初以后均出现了明显减少。这是气候变暖背景和城市化共同影响的结果,气温的显著升高使相对

湿度降低,从而造成雾日明显减少。

(4) 三峡库区的雾日与相对湿度在20世纪70年代以后表现出了一致的年代际波动,去除这种年代际分量之后,二者均没有出现突变,表明大气候背景是造成三峡库区蓄水后相对湿度减小,进而雾减少的主要原因。而就目前的观测结果看,水体的局地气候效应影响相对较小,或者说还没有明确显现。远库区与库区雾日的比较也得到了相同的结论。

需要指出的是,由于三峡开始蓄水仅4年多时间,库区蓄水水位只有156 m,涪陵以西水位还没有变化,因而其水域气候效应可能还没有完全显现出来。并且,本文的部分影响评估结果仅根据4年时间得出,对气候分析而言过短。因而,这些结果还需要用更长时间的资料进行验证。

## 参考文献 (References)

- 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 Longxun, Zhou Xiuji, Li Weiliang, et al. 2004. Characteristics of the climate change and its formation mechanism in China in last 80 years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62(5): 634-646.
- 陈乾金,江滢,王丽华. 1997. 长江三峡坝区的大雾分析[J]. 气象, 23(6): 28-32. Chen Qianjin, Jiang Ying, Wang Lihua. 1997. Analysis of heavy fog over Sanxia Dam area on Changjiang [J]. Meteorology Monthly (in Chinese), 23(6): 28-32.
- 何立富,李峰,李泽椿. 2006. 华北平原一次持续性大雾过程的动力和热力特征[J]. 应用气象学报, 17(2): 160-168. He Lifu, Li Feng, Li Zechun. 2006. Dynamic and thermal features of a sustained heavy fog event in Huabei Plain [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 17(2): 160-168.

- 傅抱璞, 翁笃鸣. 1994. 小气候学 [M]. 北京: 气象出版社, 26-37. Fu Baopu, Weng Duming. 1994. Local Meteorology [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 26-37.
- 高青. 2005. 城郊失地农民问题解析——以宜昌市为例 [J]. 理论月刊, 4: 167-168. Gao Qing. 2005. Analysis about the problems of presents—Yichang [J]. (in Chinese), 4: 167-168.
- IPCC. 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change [M]. Houghton J T, Meira Filho L G, Callander B A, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 572.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis [M]. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 881.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Susan S, Qin D, Martin M, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 989.
- 鞠笑生, 邹旭恺, 张强. 2003. 长江三峡库区雾分析 [C] // 李黄等. 长江三峡工程生态与环境监测系统局地气候监测评价研究. 北京: 气象出版社, 146-151. Ju Xiaosheng. Zou Xukai. Zhang Qiang. 2003. Studies on fog in the region around the Three Gorges Dam [C] // Li Huang, et al. Climatic Monitor and Assessment on the Ecological and Environmental System in the Three Gorges Reservoir in the Yangtze River. Beijing: China Meteorological Press, 146-151.
- LaDochy S. 2005. The disappearance of dense fog in Los Angeles: Another urban impact? [J]. Physical Geography, 26 (3): 177-191.
- 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.
- 李子华, 杨军, 石春娥, 等. 2008. 地区性浓雾物理 [M]. 北京: 气象出版社, 97-100. Li Zihua, Yang Jun. Shi Chune, et al. 2008. The Physics of Regional Dense Fog [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press: 97-100.
- 刘小宁, 张洪政, 李庆祥, 等. 2005. 我国大雾的气候特征及变化初步解释 [J]. 应用气象学报, 16 (2): 220-230. Liu Xiaoning, Zhang Hongzheng, Li Qingxiang, et al. 2005. Preliminary research on the climatic characteristics and change of fog in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 16 (2): 220-230.
- 刘艳. 2008. 重庆城市化发展与产业结构变动分析 [J]. 重庆工商大学学报 (西部论坛), 18 (4): 62-67. Liu Yan. 2008. Relevation on Chongqing's urbanization and change of industrial structure [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (West Forum) (in Chinese). 18 (4): 62-67.
- 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 2007. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 12-60. Compilation Committee. 2007. National Assessment Report on Climate Change [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 12-60.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 717-727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziying, et al. 2005. Changes in the surface temperature of China in recent 54 years [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 717-727.
- 任春艳, 吴殿延, 董锁成. 2006. 西北地区城市化对城市气候环境的影响 [J]. 地理研究, 25 (2): 233-241. Ren Chunyan, Wu Dianyan, Dong Suocheng. 2006. The influence of urbanization on the urban climate environment in Northwest China [J]. Geographical Research (in Chinese), 25 (2): 233-241.
- 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 (3): 327-336. Shi Chune, 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 (3): 327-336.
- 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 2004. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析 [J]. 气象学报, 62 (2): 228-236. Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, et al. 2004. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62 (2): 228-236.
- 王丽萍, 陈少勇, 董安祥. 2005. 中国雾区的分布及其季节变化 [J]. 地理学报, 60 (4): 689-697. Wang Liping, Chen Shaoyong, Dong Anxiang. 2005. The distribution and seasonal variations of fog in China [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 60 (4): 689-697.
- 吴兑, 邓雪娇. 2001. 环境气象学与特种气象预报 [M]. 北京: 气象出版社, 23-65. Wu Dui, Deng Xuejiao. 2001. Environmental Meteorology and Special Meteorological Forecast [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 23-65.
- 熊秋芬. 1997. 长江三峡坝区雾分析与预报 [J]. 湖北气象, 2: 16-17. Xiong Qiufen. 1997. Studies and forecast of fog in the region around the Three Gorges Dam [J]. Hubei Meteorology (in Chinese), 2: 16-17.
- 郑思铁, 刘树华. 2008. 北京城市化发展对温度、相对湿度和降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 13 (2): 123-133. Zheng Siyi, Liu Shuhua. 2008. Urbanization effect on climate in Beijing [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (2): 123-133.
- 中国气象局. 2007. 中国灾害性天气气候图集 (1961~2006 年) [M]. 北京: 气象出版社, 90-96. China Meteorological Administration. 2007. Atlas of China Disastrous Weather and Climate (1961-2006) [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 90-96.
- 周自江, 朱燕君, 鞠晓慧. 2007. 长江三角洲地区的浓雾事件及其气候特征 [J]. 自然科学进展, 17 (1): 66-71. Zhou Zijiang, Zhu Yanjun, Ju Xiaohui. 2007. Climatic characters of heavy fog in Yangtze Delta belt [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 17 (1): 66-71.