

# 庐山旅游区气候变化特征及其影响因素分析

叶正伟<sup>1,2</sup> 吴 威<sup>3</sup>

(1. 淮阴师范学院城市与环境学院, 江苏 淮安 223300; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

**摘要:**采用 Mann-Kendall 方法, 对 1955~2008 年庐山旅游区气候要素进行变化趋势分析和突变检验, 结果表明, 近 54 a 来气温和降水都出现了不同程度的差异性升高和增加趋势。庐山旅游区年平均气温上升趋势较显著, 20 世纪 90 年代以来年平均气温明显偏高, 并在 1996 年左右发生了突变。极端最高气温升高幅度微弱, 但极端最低气温上升趋势显著, 且升高幅度较大。年降水量呈微弱的增加趋势, 20 世纪 70 年代频繁波动突变, 且 20 世纪 70 年代以来年降水量都较以前偏高, 其中 20 世纪 90 年代最高。近年来, 最大日暴雨量和年暴雨日数都呈增加趋势, 20 世纪 90 年代是最大日暴雨量和暴雨日数的最高时期。夏秋季节暴雨频繁, 暴雨 6 月最多, 大暴雨 8 月最多, 且年降水量增加趋势的贡献可能是夏秋季节极端降水事件增加的结果。

**关键词:**气候变化; 气温; 降水; 庐山旅游区

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)10-1221-07

IPCC 第四次评估报告指出, 近 50 a 来人为变暖显著, 20 世纪中叶以来全球平均温度的升高, 很可能是由于人为温室气体浓度增加所致<sup>[1]</sup>。中国国家气候变化评估报告也指出, 20 世纪中国气候变化与全球变暖的总趋势基本一致<sup>[2]</sup>。中国年降水量变化趋势存在明显的区域差异<sup>[1~3]</sup>。在气候变暖的背景下, 加之人类活动影响凸显, 极端气候事件对气候变暖和人类活动的影响也更敏感<sup>[4~7]</sup>。

庐山旅游区是中国著名的旅游景区, 自然和人文景观资源特殊, 旅游业迅速发展。近年来, 诸多研究开始对旅游气候变化、旅游气候资源开发等问题进行探讨, 指出了旅游活动对旅游气候的影响<sup>[8~11]</sup>。然而, 随着公众对气候变暖的关注和人类活动对旅游区气候影响的加剧, 认识并揭示在气候变暖和人类活动双重影响下庐山旅游区的气候变化过程和影响机制具有重要意义。

## 1 资料与方法

选择 1955~2008 年庐山旅游区来源于国家气候中心庐山气象站的观测数据, 该站位于 29°35′N, 115°59′E, 海拔高度 1 164.5 m。主要气候要素为年平均气温、年极端最高气温、年极端最低气温、

年降水量、年最大日暴雨量、年暴雨日数。参照庐山风景名胜区管理局所确定 4~11 月为旅游旺季的规定, 选取 4~11 月旅游旺季月平均气温和月降水量进行分析。为综合判别庐山气候变化特征, 选取江西及安徽、湖南、湖北的庐山周边 11 个站点资料进行对比分析。采用 Mann-Kendall 非参数趋势分析和突变检验方法分析各气候要素的变化特征<sup>[12~15]</sup>, 探讨其气候变化过程。

## 2 气温变化的特征与趋势

### 2.1 年平均气温显著上升

以 1961~1990 年为基准期, 得到庐山旅游区多年平均气温为 11.5℃。1955 年以来年平均气温变化的总体趋势是升高的(图 1), 最高为 2007 年的 12.8℃, 最低为 1956 年的 10.8℃。Mann-Kendall 检验结果为 4.22(表 1), 表明年平均气温存在显著的升高趋势, 其倾向率为 0.188℃/10 a。

年代际变化上, 1955 年以来年平均气温的变化经历了在波动中逐渐升高的过程(表 2), 20 世纪 60 年代、90 年代和 2000 年以来是年平均气温偏高的时代, 尤其 90 年代以来持续偏高。自 1997 年以来, 年平均气温持续正距平偏大, 说明温度的

收稿日期: 2010-10-11; 修订日期: 2011-03-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801052)、江苏省自然科学基金项目(BK2006133)和淮阴师范学院青年优秀人才培养计划资助项目(06QNZC017)资助。

作者简介: 叶正伟(1973-) 男, 安徽黄山人, 副教授, 博士研究生, 主要从事水文水资源与自然灾害方面的研究。E-mail: leafyzw@163.com.

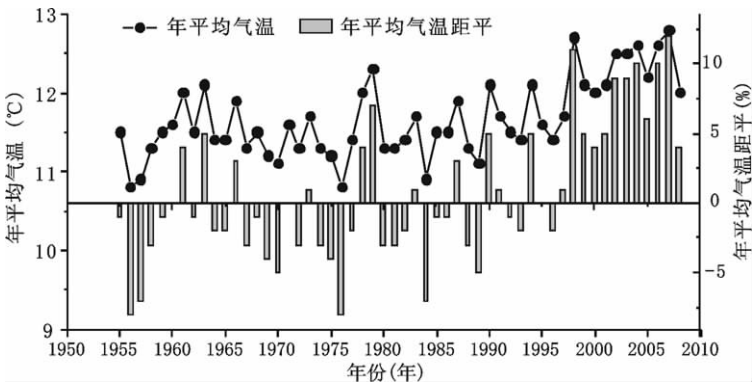


图 1 庐山旅游区年平均气温和年平均气温距平百分率

Fig. 1 Annual mean air temperature and its standardized anomalies in the tourism area of Lushan Mountain

表 1 庐山旅游区气候要素的 Mann – Kendall 检验结果

Table 1 Mann – Kendall trend test results of the climatic parameters in the tourism area of Lushan Mountain

| 参数序列               | 年平均气温             | 年极端最高气温           | 年极端最低气温           | 年降水量              | 年最大日暴雨量           | 年暴雨日数             |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Mann – Kendall Z 值 | 4.22 <sup>+</sup> | 0.71 <sup>+</sup> | 2.58 <sup>+</sup> | 1.36 <sup>+</sup> | 1.45 <sup>+</sup> | 1.81 <sup>+</sup> |

注: + 表示呈上升或增加趋势,\* 表示在 0.05 的检验水平上变化趋势显著。

表 2 庐山旅游区主要气候要素年代均值变化

Table 2 Inter-decade value of the climatic parameters in the tourism area of Lushan Mountain

| 年代            | 年平均气温<br>(℃) | 极端最高气温<br>(℃) | 极端最低气温<br>(℃) | 年降水量<br>(mm) | 最大日降水量<br>(mm) | 年暴雨日数<br>(d) |
|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| 1955 ~ 1959 年 | 11.2         | 29.5          | -14.2         | 1849.5       | 114.7          | 7            |
| 1960 ~ 1969 年 | 11.6         | 30.2          | -12.7         | 1770.0       | 128.9          | 5            |
| 1970 ~ 1979 年 | 11.5         | 29.8          | -12.9         | 2060.4       | 143.9          | 7.5          |
| 1980 ~ 1989 年 | 11.4         | 29.6          | -11.0         | 1950.7       | 120.0          | 7.1          |
| 1990 ~ 1999 年 | 11.8         | 29.8          | -11.5         | 2233.4       | 156.8          | 9.6          |
| 2000 ~ 2008 年 | 12.4         | 30.3          | -11.6         | 1927.3       | 155.9          | 6.7          |

上升趋势较为显著,且维持在较高的气温水平,而 21 世纪以来的 9 a 间年代际变化升高了 0.8℃,升高幅度显著增大。而中国气候变化评估报告指出,近 100 a 以来观测到的平均气温已经上升了 0.5 ~ 0.8℃<sup>[2]</sup>。由此可以看出,庐山旅游区近年来年平均气温升高同中国气候变化的趋势是一致的,说明在全球变暖的影响下,庐山旅游区的气温变化是典型的全球气候变暖区域响应的过程。

2.2 旅游季节的月平均气温变化

从庐山旅游旺季 4 ~ 11 月平均气温变化 Mann-Kendall 检验结果来看(表 3) 4 ~ 6 月和 9 ~ 11 月的月平均气温都呈上升趋势,倾向率分别为 0.237℃/10 a、0.378℃/10 a、0.115℃/10 a、0.046℃/10 a、0.307℃/10 a 和 0.36℃/10 a;但 7 月和 8 月表现为微弱的下降趋势,其倾向率分别为 -0.001℃/10 a 和 -0.051℃/10 a。5 月、10 月和 11 月的月平均气温表现为显著的上升趋势,通过

了显著性检验,而这些月份正是庐山旅游旺季人数偏多的时段<sup>[11]</sup>,且 5 月、10 月和 11 月月平均气温倾向率也显著偏高,表明升高幅度较大。由此说明,由于游客数量的增加和旅游活动的加强,可能导致月平均气温出现了显著升高趋势,而 5 月和 10 月的五一、十一假期也恰好是景区游客数量的高峰期。

Mann – Kendall 突变检验也很好的反映了人类活动对旅游区月平均气温的影响规律,4 月、6 月和 11 月的突变分别在 1997 年、1998 年和 1990 年;7 月、8 月和 9 月的突变有 2 个阶段,第一阶段主要在 20 世纪 60 年代前后,第二阶段则在 2006 年;而 5 月和 10 月突变则存在 3 个阶段,依次为 20 世纪 60 年代左右、80 年代左右和 90 年代初期,且 60 年代和 80 年代出现了频繁的突变波动。

但同时也发现,在庐山暑期旅游旺季的月平均气温并未出现显著的升高趋势,反而 7 月和 8 月的

表 3 庐山旅游区 4~11 月旅游旺季月平均气温与月降水量的 Mann-Kendall 检验结果

Table 3 Mann-Kendall trend test results of the monthly air temperature and precipitation in the tourism area of Lushan Mountain from April to November

| 序列   | 4 月                | 5 月                | 6 月               | 7 月                | 8 月                | 9 月                | 10 月               | 11 月               |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 平均气温 | 1.83 <sup>+</sup>  | 3.89 <sup>*+</sup> | 1.75 <sup>+</sup> | -0.18 <sup>-</sup> | -0.64 <sup>-</sup> | 0.46 <sup>+</sup>  | 2.90 <sup>*+</sup> | 2.67 <sup>*+</sup> |
| 降水量  | -0.19 <sup>-</sup> | -0.73 <sup>-</sup> | 0.12 <sup>+</sup> | 1.54 <sup>+</sup>  | 1.47 <sup>+</sup>  | -0.57 <sup>-</sup> | 0.47 <sup>+</sup>  | 0.37 <sup>+</sup>  |

注: + 表示呈上升或增加趋势, - 表示降低或减少趋势, \* 表示在 0.05 的检验水平上变化趋势显著。

月平均气温还出现微弱的下降趋势。结合上述 5 月和 10 月平均气温突变频繁以及 7~9 月突变阶段的同步性特征可以看出,人类旅游等活动的综合影响可能对平均气温偏低月份的贡献更大,而对平均气温偏高的月份影响较弱,也说明平均气温偏低的月份对人类活动的影响更为敏感,这一特征可有效指导旅游区科学控制和引导旅游活动。

2.3 极端最低气温显著上升

年平均气温反映平均状态,但极端温度的变化可更好的反映气候变化的异常特征。庐山旅游区年极端最高气温 Mann-Kendall 检验结果仅为 0.71 (表 1),呈现微弱的升高趋势(图 2a),倾向率仅为 0.057℃/10 a,变化幅度较小。年极端最高气温的最高值为 1966 年的 32℃,最低值为 1955 的 28℃,变幅为 4℃,说明在年平均气温总体升高的情况下,年极端最高气温并未异常变化。年代际变化上(表 2) 20 世纪 60 年代、70 年代、90 年代和 2000 年以来都相对偏高,可见其同年平均气温变化趋势基本一致,并且 2000 年来是最高的,表明其在近年来存在升高幅度增大的趋势。

年极端最低气温也呈升高趋势(图 2b),Mann-Kendall 检验值为 2.58(表 1),升高趋势显著,倾向率为 0.51℃/10 a,幅度较大。年极端最低气温最低为 1970 年的 -16.8℃,最高为 1995 年的 -7.4℃,变幅为 9.4℃,较之年极端最高气温而言,年极端最低气温的波动幅度明显偏大。年代际变化上呈现明显的阶段性特征显著(表 2) 20 世纪 50 年代

到 70 年代间年极端最低气温的年代际值都偏低,而 80 年代来年代际极端最低气温则明显较以前偏高,且 80 年代是极端最低气温的最高时代。

可见,庐山旅游区极端气温的长期变化具有显著的差异性和阶段性,极端最高气温升高幅度微弱,且上升趋势不显著,但极端最低气温上升趋势显著,且升高幅度明显偏大。这一变化特征再次说明人类活动对低温变化影响显著。

3 降水变化的特征与趋势

3.1 年降水量呈微弱增加趋势

1955 年以来庐山旅游区年降水量呈现微弱的增加趋势(图 3),Mann-Kendall 检验结果为 1.36 (表 1),增加趋势不显著,倾向率为 49.92 mm/10 a。年降水量最大值为 1975 年的 3 034 mm,最小为 1978 年的 1 181.5 mm,变幅高达 1 852.5 mm。同时,年降水量的最大值和最小值都出现在 20 世纪 70 年代,可见 70 年代是降水异常波动的时期。

年代际变化上(表 2),年降水量最高的时代 20 世纪 90 年代,均值为 2 233.4 mm,这与同期长江中下游地区降水量偏多是一致的,且 1998 年长江中下游地区出现了严重洪涝<sup>[2]</sup>。而年降水量最低的时代为 20 世纪 60 年代,其值仅为 1 770 mm,但同期却是温度相对偏高时段,呈现高温但少雨的特征,这同中国国家气候评估报告所指出的结论基本一致<sup>[2]</sup>。阶段性上 20 世纪 80 年代以来总体都较 70 年代及以前的偏高(表 2),表明其在近年来

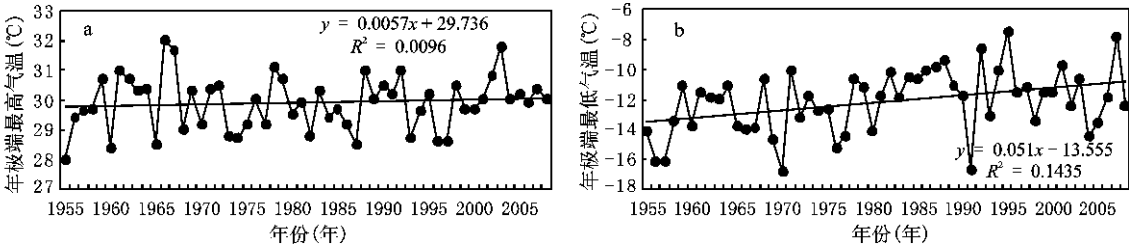


图 2 庐山旅游区年极端最高气温(a)和年极端最低气温(b)变化

Fig. 2 Annual extreme maximum air temperature (a) and extreme minimum air temperature (b) in the tourism area of Lushan Mountain

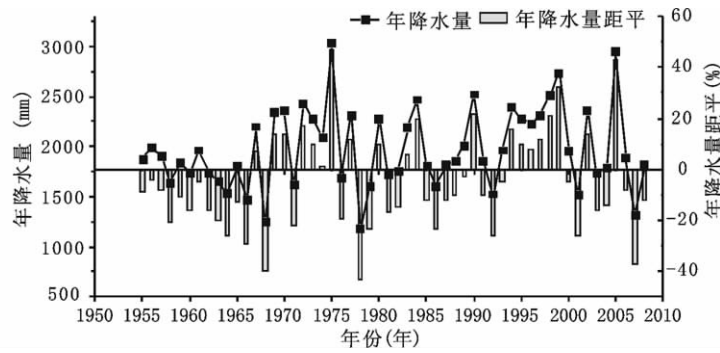


图3 庐山旅游区年降水量及其距平百分率

Fig. 3 Annual precipitation and its standardized anomalies in the tourism area of Lushan Mountain

维持在较高的水平。这一特征应当引起相关部门的注意,在旅游规划中应充分考虑到潜在的山洪灾害及其次生灾害的威胁。

### 3.2 年最大日暴雨量和年暴雨日数呈增加趋势

庐山旅游区年最大日暴雨量的多年变化总体呈上升趋势(图4a),Mann-Kendall 检验值为 1.45(表1),上升趋势并不显著,倾向率为 8.01 mm/10 a,变幅也较小。近 54 a 中年最大日暴雨量为 2005 年的 351.4 mm,最小为 1968 年的 57.1 mm,变幅 194.3 mm,变幅悬殊,说明其多年变化呈显著的波动变化特征。

庐山旅游区年暴雨日数变化也呈现增加趋势(图4b),但增加幅度偏大,Mann-Kendall 检验值为 1.81(表1),最大的年份是 1998 年的 14 d,最少的年份为 2 d。年代变化上(表2),年暴雨日数以 20 世纪 60 年代最低,均值为 5 d,其余年代都在 7 d 以上。20 世纪 90 年代是所有年代最高的,达到了 9.6 d,这同年降水量在同期处于高值特征是一致的,且年降水量和暴雨日数也很好的反映了这一特征,并且 1998 年长江中下游地区遭受了特大洪涝灾害,是降水量变化的另一重要特征。

### 3.3 夏秋季节降水增加且暴雨频繁

从庐山旅游区 1955 年来旅游旺季暴雨日数的逐月分布规律上看,暴雨日数主要集中在 4~9 月份(图5a),其中 6 月最多,其次为 5 月、7 月和 8 月。而大暴雨日数分布以 8 月最多(图5b),其次为 6 月、7 月和 9 月份。说明庐山旅游区降水主要集中在夏秋季节,且暴雨频繁,尤以 6 月暴雨最多,而 8 月大暴雨偏多,这种分布规律对庐山旅游活动的预警有良好的科学指导意义。

而从 4~11 月的月降水量变化趋势来看(表3) 4 月、5 月、9 月的降水量显示出微弱的减小趋势,但 6~8 月、10 月、11 月降水量都出现了差异性的增加趋势。值得注意的是 7 月和 8 月降水量增加趋势的幅度相对偏大,这同上述暴雨日数以 6 月最多、大暴雨日数 8 月最多的结论具有较好的一致性。考虑到前述年降水量存在微弱的增加趋势以及夏季 6~8 月总体降水量都存在增加的趋势,并结合前述年最大日暴雨量及年暴雨日数存在较大幅度增加趋势的特征,这意味着尽管年降水量增加趋势微弱,但其增加趋势的贡献可能来自于夏秋季节暴雨极端降水事件的增加,这对于旅游活动的科

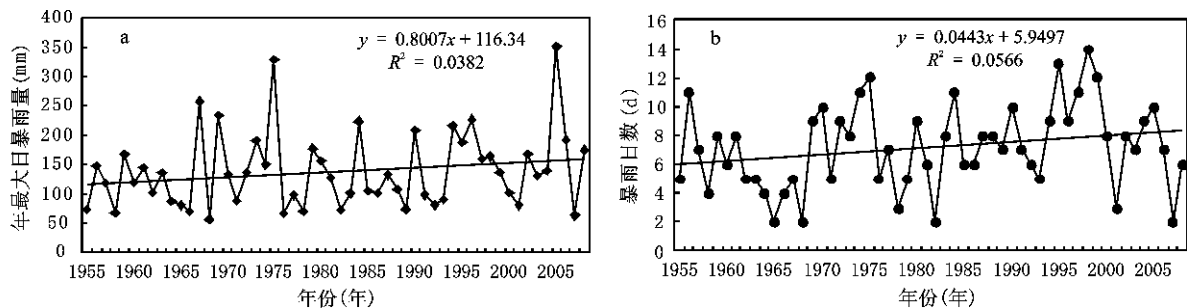


图4 庐山旅游区年最大日暴雨量(a)和年暴雨日数(b)变化

Fig. 4 Annual maximum stormrainfall (a) and storm days (b) in the tourism area of Lushan Mountain

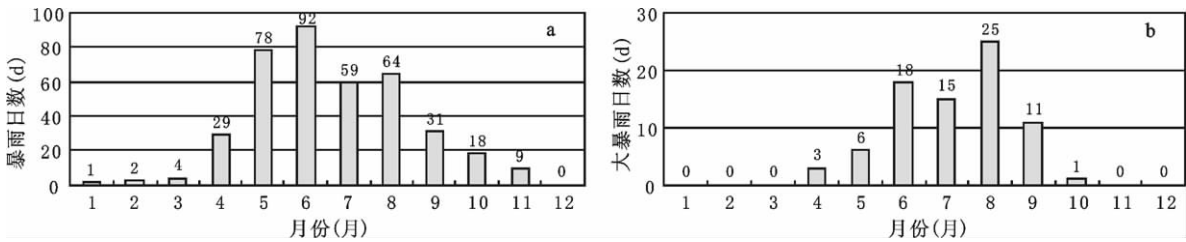


图5 庐山旅游区多年月份暴雨( a) 和大暴雨( b) 日数的分布  
Fig. 5 Monthly storm days( a) and heavy storm days ( b) in the tourism area of Lushan Mountain

学引导具有重要参考意义。

4 研究区气候变化的影响因素分析

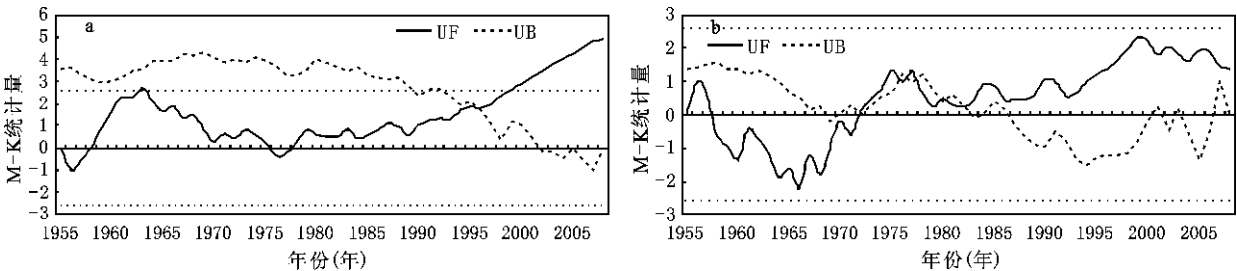
4.1 气温变化的影响因素

综合来看,庐山旅游区年平均气温和极端温度都表现为升高趋势,且极端最低气温自20世纪80年代以来一直处于较高水平,这与中国国家气候评估报告认为气温增暖主要出现在20世纪80年代中后期的结论是一致的,表明温度的升高是气候变暖的响应机制<sup>[1,2]</sup>,说明庐山旅游区的气温变化是全球气候变暖下的区域响应过程<sup>[1]</sup>。同时,由Mann-Kendall 突变检验可知(图6a),庐山年平均气温在1996年出现突变,此后气温持续增高。

而庐山周边地区11个站点的突变检验也显示,年平均气温突变时间都出现在20世纪90年代(表4),说明气温变化的总体趋势大体相同,尽管在具体时间上存在1~6 a左右的差异,但可能与区域环境背景条件存在一定的联系。这也意味着,

在气候变暖的总体影响下,庐山旅游区气温升高趋势及突变特征与其他影响因素更为关联。旅游业是庐山旅游区的支柱产业,年游客量自20世纪80年代末以来稳步增长,且自1999年来增速更快,2006年甚至高达175万人次<sup>[8,11]</sup>。由于旅游业发展,道路、宾馆设施、建设用地等急剧上升,如2000~2004年就有536.13 hm<sup>2</sup>和136.53 hm<sup>2</sup>的土地分别转化为城镇及交通运输用地<sup>[9,10]</sup>,导致总体比热容升高,这是导致气温增高的重要人类活动因素。同时,为满足旅游交通和住宿等需求,旅游区化石燃料消耗巨大,导致人为制热增加,对气温升高也具有较大贡献。可见其气温升高趋势与突变特征的影响因素可能与20世纪80年代以来旅游业快速发展和城镇化进程存在较大联系。

庐山旅游区极端最低气温自20世纪80年代以来呈显著增加趋势,这与其80年代来游客数量增加并导致人为制热密切相关。而旅游旺季中5月、10月和10月平均气温呈显著升高趋势则表



注: uF 为正向序列; uB 为负向序列; 虚线为 99% 置信度水平  
图6 庐山旅游区年平均气温( a) 和年降水量( b) 的 Mann-Kendall 突变检验  
Fig. 6 Mann-Kendall abrupt change test of annual mean air temperature ( a) and annual precipitation ( b) in the tourism area of Lushan Mountain

表4 庐山周边地区年平均气温和年降水量的 Mann-Kendall 突变时间检验

Table 4 Time point of Mann-Kendall abrupt change in other stations around the tourism area of Lushan Mountain

|       | 江西    |       |       |       | 湖南    |       | 湖北    |       |       | 安徽    |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 南昌    | 景德镇   | 九江    | 修水    | 长沙    | 岳阳    | 武汉    | 黄石    | 麻城    | 黄山    | 屯溪    |
| 年平均气温 | 1996年 | 1991年 | 1997年 | 1997年 | 1991年 | 1991年 | 1994年 | 1994年 | 1993年 | 1990年 | 1997年 |
| 年降水量  | 1990年 | 1972年 | 1972年 | 1975年 | 1988年 | 1982年 | 1980年 | 1968年 | 1972年 | 1968年 | 1969年 |

明,大尺度上,气候变暖的影响具有较好的一致性,而区域尺度上,人类活动是最主要的因素<sup>[2,6]</sup>。可见,在气温升高的事实下,其影响因素是多方面的,既是全球变暖的区域响应,但又更为显著的受旅游业发展以及城镇化对下垫面属性改造的影响,可能与人类活动引起温室气体浓度增加及人为制热有关<sup>[4,7,16~20]</sup>,并且,极端最低气温和气温较低月份的气温变化对人类活动的响应更敏感。

#### 4.2 降水变化的影响因素

庐山旅游区年降水量增加趋势较弱,但 Mann-Kendall 突变检验表明(图 6b),其在 20 世纪 70 年代期间发生了多次波动突变,而同期也是降水量较高的时期,说明降水量变化主要受频繁的气候波动影响,前述降水量异常时代的分析结论也证明了这一特征。同时,庐山周边 11 个站点突变检验也显示(表 4),11 个站点降水量的突变点也主要集中在 20 世纪 60 年代末和 70 年代,只有南昌、长沙、岳阳和武汉站的突变集中于 1990 年和 20 世纪 80 年代初期。由此说明,庐山旅游区年降水量变化较好的反映气候变化的宏观影响,各站降水量变化的突变时间具有较好的一致性。而近年来最大日暴雨量增加趋势相对较大,且暴雨日数也呈增加趋势,这意味着降水强度的相对增强,可见降水量的变化仍然较好的反映了气候变暖的驱动<sup>[2,6,20]</sup>。

在气候变暖背景下,降水量的增加和降雨强度的加强可能与增强的温室效应、气溶胶排放和自然变化有关,也可能同土地利用变化有联系<sup>[1,2,7]</sup>。同时,庐山旅游区山地小气候特征显著,其降水变化还受人类活动对下垫面性质改变的水文效应的影响<sup>[2,7,19,21]</sup>。而前述庐山旅游区 20 世纪 80 年代以来游客稳步增长和城镇化过程加速的事实也基本印证了这一论断的可靠性。

## 5 结 论

1) 气温变化上,近 54 a 来庐山旅游区年平均气温上升趋势显著,并在 1996 年左右发生了突变,20 世纪 90 年代以来年平均气温明显偏高。极端最高气温升高幅度微弱,且上升趋势不显著,但极端最低气温上升趋势显著,且升高幅度明显偏大,说明低温对人类活动的响应更为敏感。

2) 降水变化上,年降水量呈微弱的增加趋势,20 世纪 70 年代频繁波动突变,且 70 年代以来年降水量都较以前偏高,其中 90 年代最高。近年

来,最大日暴雨量和年暴雨日数都呈增大趋势,且年降水量增加趋势的贡献可能是夏秋季节暴雨极端降水事件增加的结果。

3) 旅游旺季 4~11 月气候变化上,5 月、10 月和 11 月的气温呈显著上升趋势,但 7 月和 8 月却出现了微弱的下降趋势,并且 5 月和 10 月平均气温突变频繁,而 7~9 月突变具有同步性。在区域尺度上,人类活动是气温变化的主要因素,旅游活动的综合影响对平均气温偏低月份的贡献和影响更大,且平均气温偏低月份对人类活动的影响更为敏感,这对于旅游旺季科学引导游客和控制游客数量具有重要指导意义。庐山旅游区夏秋季节暴雨频繁,暴雨以 6 月最多,大暴雨则 8 月最多,暴雨降水的时间规律可为旅游活动的可能洪涝灾害及次生灾害预警提供科学参考。

4) 驱动因素与机制上,庐山旅游区的气候变化过程反映了全球气候变暖的区域影响,其变化特征可能更与 20 世纪 80 年代以来旅游业发展下人类活动和城市化过程等对地表属性改造及人为增热等效应密切相关,是气候变暖和人类活动双重因素驱动下的典型区域响应过程。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policy Makers[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(1): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3~8.
- [3] 李子君,李秀彬. 近 45 年来降水变化和人类活动对潮河流域年径流量的影响[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 809~813.
- [4] 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.
- [5] 卢爱刚,庞德谦,何元庆,等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响[J]. 地理科学, 2006, 26(3): 345~50.
- [6] 杨素英,孙凤华,马建中. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 224~228.
- [7] 于兴修,杨桂山,王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学, 2004, 24(5): 627~633.
- [8] Camille P, Stephen R, and Ben M. Geological heritage in Chinese parks balancing protection and development[J]. FOCUS on Geography, 2006, 49(3): 10~16.
- [9] 胡海胜,魏美才,唐继刚,等. 庐山风景名胜区景观格局动态及其模拟[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4696~4706.
- [10] 蒋晓伟,冯立梅,杨达源,等. 庐山旅游气候资源优势评价及深度开发[J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(3): 233~236.
- [11] 钟士恩,任黎秀,欧阳怀龙. 世界遗产地庐山“圈层飞地”型

- 旅游客源市场空间结构研究[J]. 地理与地理信息科学, 2007 **23**(4): 76 ~ 80.
- [12] Mann H B. Nonparametric tests against trend[J]. *Econometrica*. 1945 **13**: 245 ~ 259.
- [13] Mandelbr B B, Wallis J R. Robustness of rescaled range R/S in measurement of noncyclic long run statistical dependence[J]. *Water Resources Research*. 1969 **5**(5): 967 ~ 988.
- [14] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报. 2009 **64**(11): 1131 ~ 1134.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [16] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J]. 地理科学 2007 **27**(4): 499 ~ 505.
- [17] 贾文雄, 何元庆, 李宗省, 等. 近 50 年来河西走廊平原区气候变化的区域特征及突变分析[J]. 地理科学 2008 **28**(4): 525 ~ 531.
- [18] 刘宇, 匡耀求, 吴志峰, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例[J]. 地理科学 2006 **26**(5): 597 ~ 602.
- [19] 柳艳菊, 闫俊岳, 宋艳玲. 近 50 年南海西沙地区的气候变化特征研究[J]. 地理科学 2008 **28**(6): 804 ~ 808.
- [20] 岳文泽, 徐丽华. 城市土地利用类型及格局的热环境效应研究——以上海市中心城区为例[J]. 地理科学 2007 **27**(2): 243 ~ 248.
- [21] 叶正伟, 许有鹏, 徐金涛. 江苏里下河地区洪涝灾害演变趋势与成灾机理分析[J]. 地理科学 2009 **29**(6): 880 ~ 885.

## Characteristics of Climate Change and Its Driving Forces in the Tourism Area of Lushan Mountain Since 1955

YE Zheng-wei<sup>1,2</sup>, WU Wei<sup>3</sup>

- (1. School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaian, Jiangsu 223300, China;  
2. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China;  
3. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

**Abstract:** Mann-Kendall trend test and abrupt change detection methods are utilized to analyze the climate change in the tourism area of Lushan Mountain. Results show that the temperature and the precipitation are undergoing an increasing trend in the tourism area of Lushan Mountain. The annual mean temperature is detected to have a significant increasing trend since 1955, and abrupt change occurred in 1996. The annual extreme maximum temperature increases slightly while the annual extreme minimum temperature has a relatively higher increasing trend with larger amplitude. The annual precipitation demonstrates a relatively slow increasing trend, and frequent abrupt changes occurred in the 1970s, the 1990s witnessed the highest precipitation since 1970s in which it has more precipitation than ever. The maximum daily storm rainfall and the annual total storm days also show an increasing trend, and the precipitation in 1990s proves to be the highest decade. Storm occurs frequently, most storm days and heavy storms occur in June and August respectively, and the storm rainfall in summer and autumn might be the main contribution for the annual precipitation increase. As for the possible driving forces of the climate change in the tourism area of Lushan Mountain, it is a typical regional response to the climate change which is demonstrated to be a response process of the influence of global warming and the effect of anthropological activities.

**Key words:** climate change; air temperature; precipitation; tourism area of Lushan Mountain