廖玉芳,彭嘉栋,郭庆.2014.湖南气候对全球气候变化的响应[J].大气科学学报,37(1):75-81.
Liao Yu-fang,Peng Jia-dong,Guo Qing.2014.Response of Hunan climate to global climate change[J].Trans Atmos Sci,37(1):75-81.(in Chinese)

# 湖南气候对全球气候变化的响应

廖玉芳[1],彭嘉栋[1],郭庆[2]
(1.湖南省气候中心,湖南 长沙 410007;2.湖南省气象科学研究所,湖南 长沙 410007)

**摘要**:利用湖南省 96 个台站 1960—2010 年逐日气象观测资料,在进行均一性检验和订正的基础上对湖南省气候变化事实进行检测分析。结果表明:湖南气候与全球气候变化一致,呈现以变暖为主要特征的变化,且变暖存在季节、地域上的差异,冬、春、秋气温变暖趋势显著,增暖幅度最大的区域在湘北地区;对气候变暖响应敏感的要素主要是与平均气温、冬季气温相关密切的要素,如季平均气温、年平均最低气温、活动积温等;湖南气温在突变时间上具有较好的时间逻辑关系;湖南降水量无显著趋势变化,但极端降水增加,地域性差异明显,湖南东部地区降水量呈现明显增加趋势,日降水量大于等于 100 mm 的日数呈显著增加趋势;湖南日照时数、风速、相对湿度均呈现显著减少的变化趋势。

**关键词**:湖南;气候变化;响应
**中图分类号**:P46 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-7097(2014)01-0075-07

# Response of Hunan climate to global climate change

LIAO Yu-fang[1],PENG Jia-dong[1],GUO Qing[2]
(1.Hunan Climate Center,Changsha 410007,China;2.Hunan Meteorological Research Institute,Changsha 410007,China)

**Abstract**: After the homogeneity test and correction, the meteorological data from 96 observation stations in Hunan province during 1960—2010 were used to analyze the climate change facts there. The results showed that getting warm was the main characteristic in climate change in Hunan, which was consistent with the global trend. The warming tendency in Hunan also presented seasonal and regional differences: the linear warming trend was significant in winter, spring and autumn and the most significant warming region appeared in northern areas; the factors sensitive to warming were closely related to temperature such as seasonal mean temperature, annual mean minimal temperature and active accumulated temperature. The abrupt change times of temperature presented a good logical relation; the linear trend of precipitation in Hunan was not significant but it presented regional differences and the extreme preicipitation events was increasing. There was an increasing trend in precipitation in eastern areas of Hunan and the annual days with daily precipitation of more than 100 mm were increasing significantly. The annual sunshine hours, annual mean wind speed and annual mean relative humidity in Hunan presented a significantly decresing trend in recent 61 years.

**Key words**: Hunan; climate change; response

## 0 引言

近百年来全球气候正在经历着以全球变暖为主要特征的显著变化。IPCC 第四次评估报告中指出,最近 100 a(1906—2005 年)全球平均地表温度上升了 0.74 ℃,比 2001 年第三次评估报告给出的 100 a

**收稿日期**:2011-09-17;**改回日期**:2012-03-05
**基金项目**:中国气象局气候变化专项(200920);湖南省气象局重点科研项目(200801)
**通信作者**:廖玉芳,正研级高工,研究方向为气候和气候变化,lyf_13975681873@163.com.

(1901—2000 年)上升 0.6 ℃有所提高。自 1850 年以来,最暖的 12 个年份中有 11 个出现在 1995—2006 年(除 1996 年),过去 50 a 升温率几乎是过去 100 a 的 2 倍(秦大河等,2007;IPCC,2007)。近 100 a 中国气候变化的主要特征与全球气候变化的趋势一致:增暖幅度为 0.5~0.8 ℃,与全球同期增温基本持平;近 50 a 中国平均气温升高以北方为主,升温速率远大于北半球平均的升温速率(任国玉等,2005;丁一汇等,2007;唐国利等,2009)。

在全球气候变暖的背景下,不同地区对全球气候变暖的响应各不相同。近年来,很多学者对中国不同地区气候变化对全球气候变暖的响应进行了研究(汪高明等,2008;高润祥等,2011)。湖南地处我国东西结合部,位于青藏高原南缘下游、长江中游南部,省内南高北低三面环山,地理位置特殊。分析湖南特殊地理位置、地形特征条件下气候对全球气候变化的响应,有助于印证气候变化的共性和揭示气候变化的个性特征,为经济和社会可持续发展提供科学依据。

## 1 资料及方法

### 1.1 资料

气候资料的可靠性和精确性是气候变化研究的基础,由于观测仪器的更换或观测台站的变迁,会影响到观测资料的均一性(李庆祥等,2003)。因此,采用二相回归方法(Lund and Reeves,2002)、序列图及台站历史沿革对湖南省 96 个地面气象观测站自建站至 2010 年逐月的平均最高气温、平均最低气温、平均气温以及降水量资料序列进行均一性检验,并根据均一性检验的结果,利用非均一点前后待检序列与参考序列比值(差值)的平均值之比(之差)作为订正系数,对非均一点之前的序列进行订正。

图 1 给出了湖南省 1960—2010 年年平均气温均一性订正前后的气温线性倾向率分布。由图可知,一些在均一性订正之前线性倾向率显著高于或低于周边的台站(图中圆圈标记处),在均一性订正之后线性倾向率基本与周围台站保持一致。均一性订正之后的气温线性倾向率更能反映台站所处地区真实的气候变化。

### 1.2 方法

1.2.1 气候变化检测指标

为了对湖南气候变化特点进行系统性分析,选取以下指标作为湖南气候变化检测指标。

1)年、季平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温、平均年极端最高气温、平均年极端最低气温。

2)高温日数、低温日数、气温年较差、年平均气温日较差。

3)气候学四季持续时间及起始时间。

4)稳定通过 0、5、8、10、11、15 和 20 ℃的持续时间。

5)0、5、10、15 和 20 ℃的活动积温。

6)年、季降水量,日降水量大于等于 0.1、1、10、25、50、100 mm 日数。

7)年日照时数、年平均风速、年平均相对湿度。

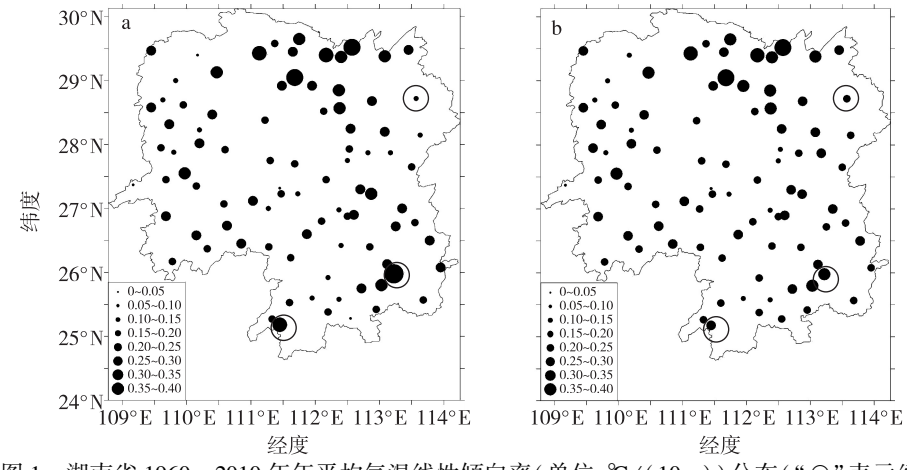


图 1 湖南省 1960—2010 年年平均气温线性倾向率(单位:℃/(10 a))分布("○"表示经均一化订正的台站) a.均一化订正之前;b.均一化订正之后

Fig.1 Distribution of the linear tendency of annual mean temperature in Hunan Province from 1960 to 2010(units:℃/(10 a))("○"denots the stations which are bomogenized) a.before homogenized;b.after homogenized

1.2.2　气候变化检测方法

本文采用的气候变化检测方法有:线性趋势分析、曼—肯德尔检验及 $t$ 检验(魏凤英,1999)。文中资料时间段为 1960—2010 年;平均年极端最高气温、年极端最低气温为 96 站年极端最高、最低的平均;统计检验的最低信度为 0.05。

## 2　湖南气候对全球气候变化的响应

### 2.1　气温

2.1.1　线性趋势分析

图 2 给出了湖南省 1960—2010 年年平均气温变化趋势。可以看出,气温变暖趋势显著(通过 0.01 信度显著性检验),增暖速率为 0.15 ℃/(10 a)。增暖幅度最大的区域位于湘北地区,最大上升速率为 0.33 ℃/(10 a)(洞庭湖区的华容县);湘西边沿地区为上升速率偏小的地区,最小上升速率为 0.01 ℃/(10 a)(湘西南的新邵县)。全省 96 个县(市)有 93 个县(市)年平均气温上升趋势通过 0.05 信度显著性检验。

图 3 为湖南省 1960—2010 年年平均气温线性倾向率及相关系数。各季节中,冬、春、秋 3 季平均气温呈显著上升趋势(分别通过 0.05、0.01 和 0.05 信度的显著性检验),上升速率分别为 0.22、0.22 和 0.14 ℃/(10 a)。夏季平均气温变化趋势不明显(未通过显著性检验),但呈上升趋势,上升速率为 0.02 ℃/(10 a)(表 1)。冬、春、秋 3 季平均气温上升速率分布特点与年平均气温基本一致(图略)。

湖南省平均年极端最高气温变化趋势不明显(未通过显著性检验),但呈现为上升趋势,上升速率为 0.09 ℃/(10 a);平均年极端最低气温、年平均最高气温和年平均最低气温上升速率分别为 0.44、0.14 和 0.19 ℃/(10 a),通过 0.01 信度显著性检验(表 1)。平均极端最高气温、平均极端最低气温、年平均最高气温和年平均最低气温上升最为显著的区域均位于湘北地区(图略)。

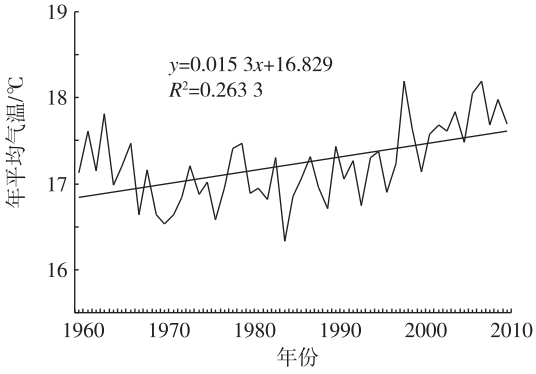


图 2　湖南省 1960—2010 年年平均气温线性趋势

Fig.2　The linear trend of annual mean temperature in Hunan province from 1960 to 2010

2.1.2　突变检验

曼—肯德尔突变检验结果表明,湖南省年平均气温增暖突变点为 2002 年,冬季平均气温增暖突变点为 1997 年、春季为 2000 年、夏季增暖突变点不明显、秋季为 2003 年;平均年极端最高气温增暖突变点不明显,平均年极端最低气温、年平均最高气温和年平均最低气温增暖突变点分别是 1982、2003 和 1997 年。$t$ 检验结果表明,年、冬、春、秋 3 季平均气温序列突变点前后均值存在显著性差异(通过 0.01 信度显著性检验),夏季平均气温序列突变点前后均值无明显差异(未通过显著性检验);平均年极端

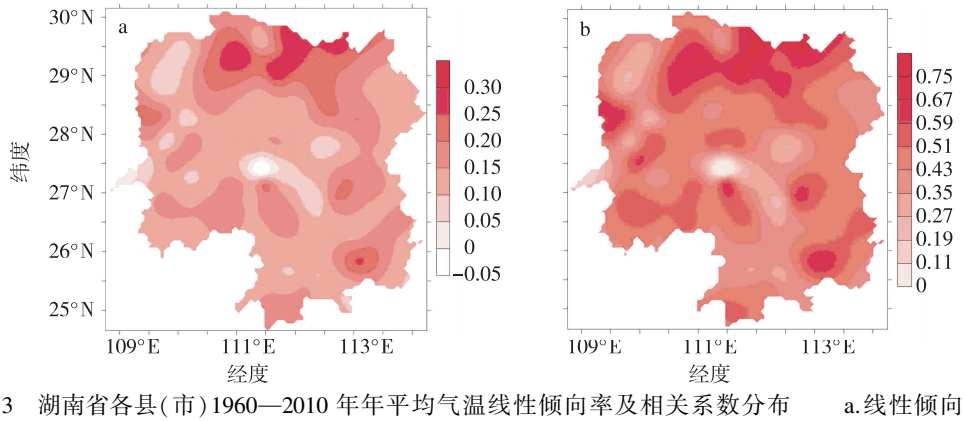


图 3　湖南省各县(市)1960—2010 年年平均气温线性倾向率及相关系数分布　a.线性倾向率(单位:℃/(10 a));b.相关系数

Fig.3　Distribution of linear tendency and correlation coefficient of annual mean temperature in counties and cities of Hunan Province from 1960 to 2010　a.linear tendency(units:℃/(10 a));b.correlation coefficient

**表 1 湖南省气温检测指标线性倾向率、相关系数和显著性检验结果、突变时间及突变点前后 *t* 检验结果**

Table 1 Linear tendency, correlation coefficient and significance test result of temperature index in Hunan, time of abrupt change and *t*-test results before and after the change point

| | 线性倾向率/(℃·(10 a)$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 | 突变时间 | *t* 检验结果 |
|---|---|---|---|---|---|
| 年平均气温 | 0.15 | 0.513 2 | 0.01 信度 | 2002 年 | 0.01 信度 |
| 冬季平均气温 | 0.22 | 0.309 4 | 0.05 信度 | 1997 年 | 0.01 信度 |
| 春季平均气温 | 0.22 | 0.414 1 | 0.01 信度 | 2000 年 | 0.01 信度 |
| 夏季平均气温 | 0.02 | 0.070 7 | 未通过 | | |
| 秋季平均气温 | 0.14 | 0.313 8 | 0.05 信度 | 2003 年 | 0.01 信度 |
| 平均年极端最高气温 | 0.09 | 0.163 7 | 未通过 | | |
| 平均年极端最低气温 | 0.44 | 0.406 3 | 0.01 信度 | 1982 年 | 0.01 信度 |
| 年平均最高气温 | 0.14 | 0.360 6 | 0.01 信度 | 2003 年 | 0.01 信度 |
| 年平均最低气温 | 0.19 | 0.673 9 | 0.01 信度 | 1997 年 | 0.01 信度 |

最低气温、年平均最高气温和年平均最低气温突变点前后均值均存在显著性差异,通过 0.01 信度的显著性检验(表 1)。

2.1.3 高、低温日数及气温年、日较差

湖南省年高温日数增加速率为 0.3 d/(10 a),未通过显著性检验;年低温日数呈显著减少趋势,减少速率为 2.2 d/(10 a),通过 0.01 信度显著性检验(表 2)。

湖南省气温年较差呈下降趋势,下降速率为 0.25 ℃/(10 a),但未通过显著性检验;年平均气温日较差呈减小趋势,减小速率为 0.05 ℃/(10 a),也未通过显著性检验(表 2)。

**表 2 湖南省年高温日数、低温日数、气温年较差、年平均气温日较差的线性倾向率、相关系数及显著性检验结果**

Table 2 Linear tendency, correlation coefficient and significance test results of annual high-temperature days, annual low-temperature days, annual temperature range and annual mean temperature diurnal range

| | 线性倾向率 | | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|---|
| | 日数/(d·(10 a)$^{-1}$) | 气温/(℃·(10 a)$^{-1}$) | | |
| 年高温日数 | 0.3 | | 0.049 0 | 未通过 |
| 年低温日数 | −2.2 | | 0.445 5 | 0.01 信度 |
| 气温年较差 | | −0.25 | 0.188 7 | 未通过 |
| 气温年平均日较差 | | −0.05 | 0.243 3 | 未通过 |

2.1.4 气候学四季持续时间及起始时间

湖南省春、夏、秋、冬持续时间变化趋势均未通过显著性检验,但冬季持续时间呈减少趋势(减少速率为 1.4 d/(10 a)),春、秋季持续时间呈增多趋势(增多速率分别为 0.7 和 0.8 d/(10 a));夏季持续时间无变化(表 3)。

春、夏、秋、冬起始时间均未通过显著性检验,但冬季起始时间呈推迟趋势(推迟速率为 0.5 d/(10 a)),春、夏、秋 3 季起始时间呈提前趋势(提前速率分别为 1.0、0.3 和 0.3 d/(10 a))(表 3)。

**表 3 湖南各季节持续时间、起始时间的线性倾向率、相关系数及显著性检验**

Table 3 Linear tendency, correlation coefficient and significance test of the duration and starting time of each season in Hunan Province

| | | 线性倾向率/(d·(10 a)$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|---|
| 持续时间 | 冬 | −1.4 | 0.159 4 | 未通过 |
| | 春 | 0.7 | 0.099 0 | 未通过 |
| | 夏 | 0 | 0 | 未通过 |
| | 秋 | 0.8 | 0.093 3 | 未通过 |
| 起始时间 | 冬 | 0.5 | 0.082 5 | 未通过 |
| | 春 | −1.0 | 0.180 8 | 未通过 |
| | 夏 | −0.3 | 0.056 6 | 未通过 |
| | 秋 | −0.3 | 0.052 0 | 未通过 |

2.1.5 农业界限温度及活动积温

湖南省稳定通过 0、5、8、10、11、15 和 20 ℃的持续时间均呈增多趋势,增多速率分别为 2.3、2.4、1.5、1.5、1.7、3.1 和 1.2 d/(10 a),但只有稳定通过 15 ℃持续时间的变化趋势通过 0.05 信度显著性检验(表 4)。

**表 4　湖南省稳定通过各界限温度持续时间的线性倾向率、相关系数及显著性检验**

Table 4　Linear tendency, correlation coefficient and significance test of the duration time of each stably accumulating critical temperature in Hunan Province

| 界限温度/℃ | 线性倾向率/(d·(10 a)$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|
| 0 | 2.3 | 0.249 2 | 未通过 |
| 5 | 2.4 | 0.176 9 | 未通过 |
| 8 | 1.5 | 0.144 2 | 未通过 |
| 10 | 1.5 | 0.193 9 | 未通过 |
| 11 | 1.7 | 0.223 2 | 未通过 |
| 15 | 3.2 | 0.317 8 | 0.05 信度 |
| 20 | 1.2 | 0.191 8 | 未通过 |

湖南省 0、5、10、15 和 20 ℃的活动积温呈增加趋势,增加速率分别为 5.4、5.8、6.1、6.4 和 6.4 ℃/a,均通过 0.01 信度的显著性检验(表 5)。

**表 5　湖南省各活动积温线性倾向率、相关系数及显著性检验**

Table 5　Linear tendency, correlation coefficient and significance test of each active accumulated temperature in Hunan Province

| 活动积温/℃ | 线性倾向率/(℃·a$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|
| 0 | 5.4 | 0.510 6 | 0.01 信度 |
| 5 | 5.8 | 0.505 8 | 0.01 信度 |
| 10 | 6.1 | 0.475 4 | 0.01 信度 |
| 15 | 6.4 | 0.478 0 | 0.01 信度 |
| 20 | 6.4 | 0.424 0 | 0.01 信度 |

## 2.2　降水

### 2.2.1　年、季降水量

湖南省 1960—2010 年年降水量变化呈现为增多趋势,增多速率为 12.5 mm/(10 a),但未通过显著性检验(图 4)。省内大部分地区降水量呈增多趋势,增加速率最大的地区在湘东半部,湘西部分地区降水量呈减少趋势,以湘西自治州一带的递减速率最大;全省只有湘东的 2 个县(市)年降水量变化趋势通过 0.05 信度显著性检验(图 5)。

由表 6 可见,各季节降水量变化趋势均未通过显著性检验,但冬、夏季降水量呈增多趋势(增加速率分别为 8.5、19.1 mm/(10 a)),春、秋季降水量呈减少趋势(减少速率分别为 6.8、10.8 mm/(10 a))。

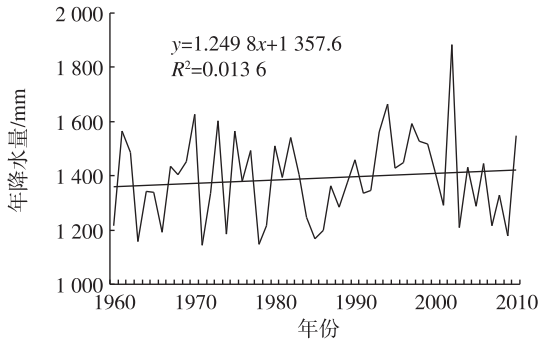


图 4　湖南省 1960—2010 年年降水量线性趋势分析

Fig.4　The linear trend of annual precipitation in Hunan Province from 1960 to 2010

**表 6　湖南省各季节降水量线性倾向率、相关系数及显著性检验**

Table 6　Linear tendency, correlation coefficient and significance test of precipitation in each season in Hunan Province

| | 线性倾向率/(mm·(10 a)$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|
| 冬季 | 8.5 | 0.234 3 | 未通过 |
| 春季 | −6.8 | 0.130 0 | 未通过 |
| 夏季 | 19.1 | 0.257 9 | 未通过 |
| 秋季 | −10.8 | 0.202 5 | 未通过 |

### 2.2.2　各等级降水日数

湖南省日降水量大于等于 0.1、1 mm 的日数呈减少趋势,减少速率分别为 1.68 和 1.01 d/(10 a);大于等于 10、25、50、100 mm 降水日数呈增多趋势,增加速率分别为 0.07、0.26、0.16 和 0.05 d/(10 a)。上述各等级降水日数中,只有日降水量大于等于 100 mm 的日数变化趋势通过显著性检验(表 7)

**表 7　湖南省日降水量大于等于 0.1、1、10、25、50 和 100 mm 日数线性倾向率、相关系数及显著性检验**

Table 7　Linear tendency, correlation coefficient and significance test of the number of days with daily precipitation equal to or larger than 0.1, 1, 10, 25, 50 and 100 mm in Hunan Province

| 日降水量/mm | 线性倾向率/(d·(10 a)$^{-1}$) | 相关系数 | 显著性检验 |
|---|---|---|---|
| ≥0.1 | −1.68 | 0.203 0 | 未通过 |
| ≥1 | −1.01 | 0.154 9 | 未通过 |
| ≥10 | 0.07 | 0.020 0 | 未通过 |
| ≥25 | 0.26 | 0.167 6 | 未通过 |
| ≥50 | 0.16 | 0.260 8 | 未通过 |
| ≥100 | 0.05 | 0.377 6 | 0.01 信度 |

## 2.3　日照时数、风速及相对湿度

湖南省年日照时数呈显著减少趋势,1960—

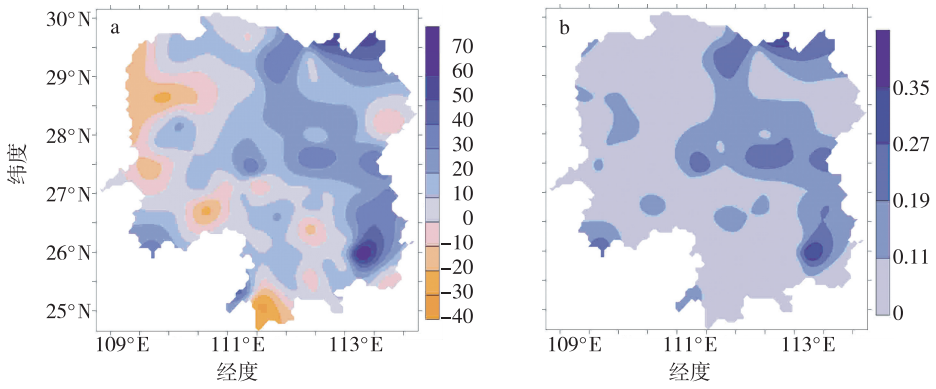


图 5 湖南省各县(市)1960—2010 年年降水量线性倾向率及相关系数分布 a.线性倾向率(单位:mm/(10 a));b.相关系数

Fig.5 Distribution of linear tendency and correlation coefficient of annual precipitation in counties and cities of Hunan Province from 1960 to 2010 a.linear tendency(units:mm/(10 a)); b.correlation coefficient

2010 年减少速率为 31.6 h/(10 a)(图 6),通过 0.01 信度显著性检验。

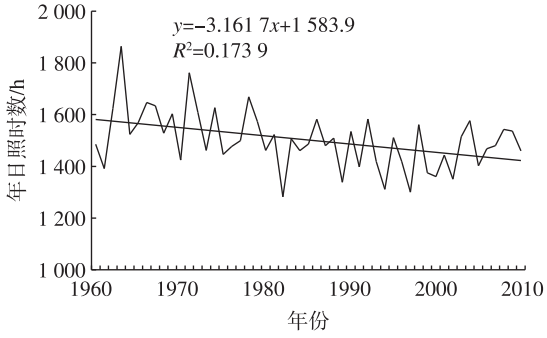


图 6 湖南省 1960—2010 年年日照时数线性趋势

Fig.6 The linear trend of annual sunshine duration in Hunan Province from 1960 to 2010

湖南省年平均风速呈显著下降趋势,1960—2010 年下降速率为 0.15 m·s$^{-1}$·(10 a)$^{-1}$(图 7),通过 0.01 信度显著性检验。

湖南省年平均相对湿度呈显著下降趋势,1960—2010 年的下降速率为 0.4/(10 a)(图 8),通过 0.05 信度显著性检验。

## 3 结论与讨论

1)湖南气候与全球气候变化一致,呈现以变暖为主要特征的变化;降水变化趋势不明显,但极端降水增多。

2)湖南气温变暖存在季节、地域上的差异,冬、春、秋气温变暖趋势显著,增暖幅度最大的区域在湘北地区。对气候变暖响应敏感的要素有年平均气温,冬、春、秋季平均气温,年平均最高气温,年平均最低气温,年平均极端最低气温,低温日数,稳定通过 15 ℃持续时间,0、5、10、15 和 20 ℃活动积温;夏季气温、平均年极端最高气温、高温日数、气温日较差及年较差、季节持续时间和开始时间、农业各界限温度等要素未呈现出显著的趋势变化。

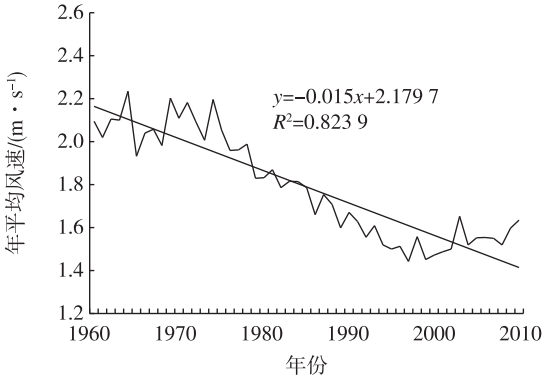


图 7 湖南省 1960—2010 年年平均风速线性趋势

Fig.7 The linear trend of annual mean wind speed in Hunan Province from 1960 to 2010

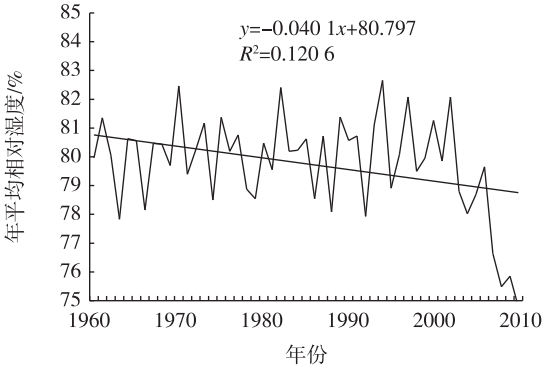


图 8 湖南省 1960—2010 年年平均相对湿度线性趋势

Fig.8 The linear trend of annual mean relative humidity in Hunan Province from 1960 to 2010

3)通过气温突变检验得出,湖南气温在突变时间上具有较好的时间逻辑关系。冬季气温突变时间最早,其后是春季和秋季,年平均气温突变时间介于春、秋季气温突变时间之间;年平均最高气温突变时间与秋季气温突变时间相同、年平均最低气温突变时间与冬季气温突变时间相同;平均年极端最低气温突变时间早于年平均最低气温时间。

4)湖南降水量无显著趋势变化,但极端降水增加,地域性差异明显。湖南东部地区降水量呈现明显增加趋势;日降水量大于等于 100 mm 日数呈显著增加趋势。

根据现有资料分析表明,湖南日照时数、风速、相对湿度均呈现显著的趋势变化,但年平均相对湿度在 2006 年前后出现剧烈下降现象,其原因有待作进一步的研究。需要说明的是:鉴于日照、风、湿度的均一性检验订正目前还处在探索阶段,特别是风、湿度因仪器设备同批次更换和人工观测改自动观测,参考序列建立难度大,因此本文风、湿度资料未做均一性检验订正处理,日照则只根据台站历史沿革数据做简单处理,关于日照、风、湿度均一序列的构建将作为下一步的研究内容。

## 参考文献:

丁一汇,任国玉,赵宗慈,等.2007.中国气候变化的检测及预估[J].沙漠与绿洲气象,1(1):1-10.

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.

李庆祥,刘小宁,张洪政.2003.定点观测气候资料序列的均一性研究[J].气象科技,31(1):3-10.

秦大河,陈振林,罗勇,等.2007.气候变化科学的最新认知[J].气候变化研究进展,3(2):63-73.

任国玉,初子莹,周雅清,等.2005.中国气温变化研究最新进展[J].气候与环境研究,10(4):701-716.

唐国利,丁一汇,王绍武,等.2009.中国近百年温度曲线的对比分析[J].气候变化研究进展,5(2):71-78.

汪高明,王金艳,王式功.2008.湖北地区气温变化对全球变暖的响应[J].兰州大学学报:自然科学版,44(4):71-74.

魏风英.1999.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社.

IPCC.2007.Climate change 2007:The physical science basis [R].Cambridge,UK:Cambridge University Press.

Lund R,Reeves J.2002.Detection of undocumented change points:A revision of the two-phase regression model [J]. J Climate, 15: 2547-2554.

(责任编辑:刘菲)