

## 近 50 年宣城地区气候变化特征

杨伟<sup>1</sup>, 汪大林<sup>2</sup> (1. 安徽省旌德县气象局, 安徽旌德 242600; 2. 安徽省绩溪县气象局, 安徽绩溪 245300)

**摘要** 利用 1961—2010 年宣城地区气象观测资料, 采用线性趋势、滑动平均和 R/S 分析等方法, 对近 50 年来宣城地区平均气温、降水量和日照时数的变化特征进行分析。结果表明, 近 50 年来宣城地区年平均气温逐渐升高, 尤其是秋季气温异常偏高; 年降水量有所增加, 日照时数呈现明显的减少趋势; 年平均气温、四季气温、夏季降水、秋季降水均存在赫斯特现象, 未来的年平均气温、四季气温和夏、秋季的降水量将继续保持上升趋势。

**关键词** 气温; 降水; 日照时数; 变化特征; 宣城地区

**中图分类号** S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)17-0159-04

## Change Characteristics of Climate in Xuancheng Area in Recent 50 Years

**YANG Wei<sup>1</sup>, WANG Da-lin<sup>2</sup>** (1. Jingde County Meteorological Bureau, Jingde, Anhui 242600; 2. Jixi County Meteorological Bureau, Jixi, Anhui 245300)

**Abstract** Using the meteorological observation data of Xuancheng area from 1961 to 2010, the change of the average temperature, precipitation and sunshine hours in Xuancheng area was analyzed by linear trend, sliding average and R/S analysis. The results showed that the annual average temperature in Xuancheng area had been increasing in recent 50 years, especially in autumn. Annual precipitation had increased, sunshine hours showed a significant reduction trend. Annual average temperature, four seasons temperature, summer precipitation and autumn precipitation were Hurst phenomenon, the annual average temperature, seasonal temperature, summer precipitation and autumn precipitation will continue to maintain an upward trend in the future.

**Key words** Temperature; Precipitation; Sunshine hours; Change characteristics; Xuancheng area

气候变化是指某一地区气候平均状态的巨大改变或持续较长一段时间(30 年或更长的时间)的气候变动<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 气候变化成为全球关注的十大热点问题之一。林学椿等<sup>[2]</sup>研究指出, 我国年平均气温以 0.04 °C/10 a 的速率上升, 年降水量以 12.66 mm/10 a 的速度减少。近年来, 气象要素无论在时间上、空间上都发生了很大的变化<sup>[3-4]</sup>, 然而这种变化与各地气候变化的趋势并不完全一致, 气候变化存在着一定的地域性。宣城市位于安徽省东南部, 地处皖南山区。笔者利用线性趋势、滑动平均等方法, 对 1961—2010 年宣城地区各季及年的平均气温、降水和日照变化进行统计分析, 并用重标极差分析法(R/S 方法)对其趋势的持续性进行了预测, 以提高对宣城地区气温和降水的预报水平, 为农业的防灾减灾、农业规划等提供科学依据。

## 1 资料与方法

**1.1 资料选取** 所用资料为宣城地区 7 个县市站点(宣州、郎溪、广德、泾县、宁国、旌德和绩溪)1961—2010 年的各月平均气温、月降水量等气候资料, 根据以上资料对宣城地区的气候变化特点进行统计分析。

## 1.2 分析方法

**1.2.1 R/S 分析法。**R/S 分析法(Rescaled range analysis)是赫斯特(Hurst)在研究尼罗河水文资料时提出的一种能够定量揭示时间序列变化的趋势性成分及其强度的有效方法, 后来 Mandelbrot 等<sup>[5-6]</sup>对该方法进行了补充和完善。其主要原理是: 设  $\{\varepsilon(t)\}_{t=1}^{\infty}$  为一时间序列, 该序列在以  $t$  为零点、 $\tau$  为间隔的区间  $(t+1, t+\tau)$  内的平均值  $\langle \varepsilon \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{u=1}^{\tau} \varepsilon(t+u)$ , 而

$X(t, \tau, s) = \sum_{1 \leq u \leq \tau} [\varepsilon(t+u) - \langle \varepsilon \rangle_{\tau}]$ , 其中  $s = 1, 2, 3, \dots, \tau$  为时间序列在  $(t+1, t+s)$  内偏离平均值的累积。  $R(t, \tau) = \max_{1 \leq s \leq \tau} \{X(t, \tau, s)\} - \min_{1 \leq s \leq \tau} \{X(t, \tau, s)\}$  为  $(t+1, t+\tau)$  内时间序列的离均累积变幅, 而此段内的方差满足  $S^2(t, \tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{u=1}^{\tau} [\varepsilon(t+u) - \langle \varepsilon \rangle_{\tau}]^2$ , 则比值  $R(t, \tau)/S(t, \tau)$  反映了此随机序列在不同起点、不同尺度  $\tau$  的相对离均累积变幅。可以证明  $R(t, \tau)/S(t, \tau) = R(\tau)/S(\tau)$  仅仅是  $\tau$  的函数, 与起点  $t$  无关。若存在  $R(\tau)/S(\tau) \propto \tau^H$ , 则说明该时间序列存在赫斯特现象。其中  $0 < H < 1$ ,  $H$  被称为 Hurst 指数。  $H = 0.5$ , 表明各时间序列各量之间是完全独立的, 气候变化是随机性的;  $0.5 < H < 1$ , 说明在气候指标上未来气候整体变化将与过去的变化趋势一致, 且越接近 1, 持续性就越强;  $0 < H < 0.5$ , 表明过程是反持续性的, 在这种情况下, 未来气候演变趋势将与过去相反。

**1.2.2 信噪比。**气温突变分析采用信噪比方法<sup>[7]</sup>, 首先根据累积距平曲线的极低值找出可能发生突变的年份, 为检验这些转折点是否存在突变, 计算转折年相邻气候段的序列平均值之差  $|y_1 - y_2|$  与标准差之和  $(x_1 + x_2)$  的比值记为  $S/N$ , 称为信噪比。规定如果  $S/N > 1$  时, 则可以认为时间序列在该年发生了气候突变, 否则, 可认为是一次转折。

**1.2.3 趋势系数、相关系数和线性倾向估计。**采用一元线性回归方程来描述气温、降水的变化趋势, 即  $y = a + bt$ 。式中,  $b$  为回归系数(即倾向值),  $a$  为回归常数。  $a$  和  $b$  可以用最小二乘法估计。回归系数  $b$  值的符号表示气候变量的趋势倾向。  $b > 0$  时, 说明随时间  $t$  的增加,  $y$  呈上升趋势;  $b < 0$  时, 说明随时间  $t$  的增加,  $y$  呈下降趋势。  $b$  的大小反映了上升或下降的速率, 即表示上升或下降的倾向程度。

**作者简介** 杨伟(1989—), 男, 江苏南京人, 助理工程师, 从事气象防灾减灾研究。

**收稿日期** 2017-04-12

在分析温度变化的拟合值和观测值的相关性时, 所用相

关系数计算式为： $r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \cdot \sum(y - \bar{y})^2}}$ 。式中， $r$  为

相关系数， $x$  和  $y$  为样本变量， $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  为样本平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 气温变化特征

**2.1.1 年平均气温。**从图 1 可看出，1961—2010 年宣城地区年平均气温呈峰谷波动形逐渐上升趋势，大致可分为 2 个时期：第 1 个时期（1965—1993 年）为偏冷期，平均值为 15.5℃，低于历年平均值（15.8℃）0.3℃；第 2 个时期（1994—2008 年）为偏暖期，平均值为 16.4℃，高于历年平均值 0.6℃。第 2 个时期宣城地区气温基本呈稳定的上升趋势

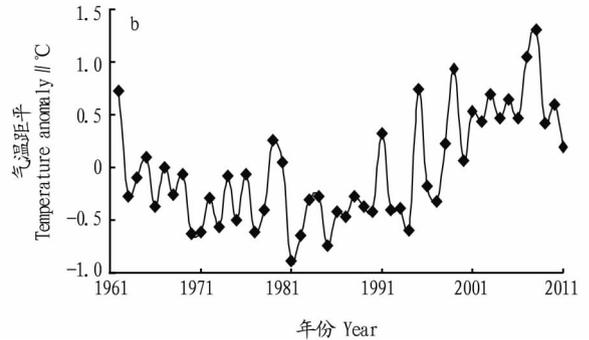
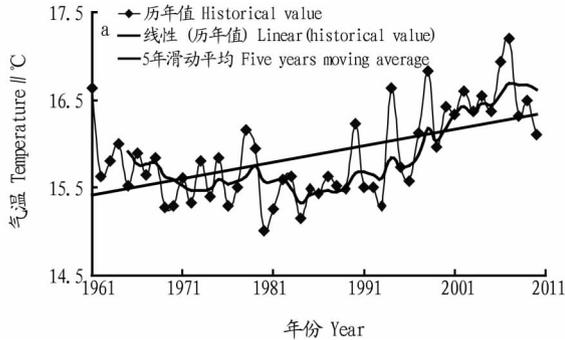


图 1 1961—2010 年宣城地区年平均气温(a)及其距平(b)变化

Fig. 1 Change of annual average temperature(a) and its anomaly(b) in Xuancheng area from 1961 to 2010

从图 2 可以看出，1993 年宣城地区气温累计距平发生了变化。根据信噪比计算方法，1961—1992 年平均气温为 15.6℃，标准差为 0.33，1994—2008 年平均气温为 16.4℃，标准差为 0.44，计算得到信噪比为 0.997 < 1，可以认为 1993 年是近 50 年宣城地区气温的一个转折年。

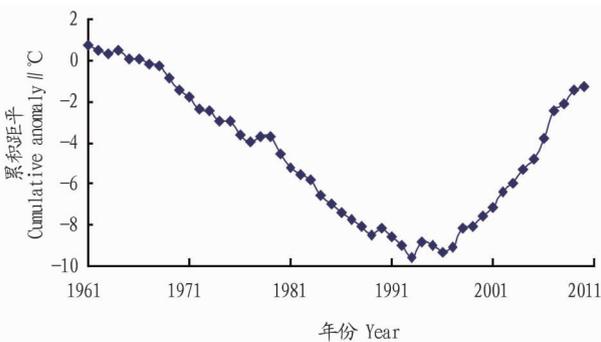


图 2 1961—2010 年宣城地区平均气温累积距平

Fig. 2 Cumulative anomaly of average temperature in Xuancheng area from 1961 to 2010

**2.1.2 季、月平均气温。**从表 1 可以看出，1961—2010 年宣城地区平均气温在各个季节均有增高趋势，从相关系数( $r$ )考虑，夏季平均气温未通过显著性检验，春、秋、冬季均通过显著性检验，特别是秋、冬季平均气温超过 0.001 的信度检验。可见，秋、冬季平均气温的线性增加趋势最为显著，其次是春季，夏季平均气温仅有弱增温倾向。

近 50 年宣城地区月平均气温倾向率  $b < 0$  的月份有 7、8 和 11 月，其余的月份均是  $b > 0$ 。表明 1961—2010 年宣城地区 7、8 和 11 月平均气温呈降低趋势，其余月份平均气温均

呈增高趋势；而第 1 个时期偏冷期气温变化幅度较大，1978—1979 年呈微弱回升趋势，但回升幅度较小，总体上该时段仍处于偏冷期，是偏冷期中的相对暖期。20 世纪 90 年代中期气温开始明显上升，2007 年是有观测记录以来最暖的一年（年均温达 17.2℃，气温距平 1.3℃），而最冷年是 1980 年（距平为 -0.8℃），两者之差为 2.1℃。近 50 年宣城地区增温速率为 0.1℃/a，年平均气温在近 50 年的前半段（1961—1990 年）偏低，后 20 年（1991—2010 年）气温呈明显上升趋势。从气温变率看，20 世纪 60 年代后期—70 年代中期，90 年代后期至今宣城地区年平均气温变率小，同时气温变化还存在着一个 20 年左右的振荡周期。

呈增高趋势。

表 1 1961—2010 年宣城地区四季平均气温倾向率和相关系数

Table 1 Tendency and correlation coefficient of four seasons average temperature in Xuancheng area from 1961 to 2010

季节 Season	倾向率 Tendency//℃/a	相关系数 Correlation coefficient
春季 Spring	0.018 5	0.403 2*
夏季 Summer	0.002 1	0.030 0
秋季 Autumn	0.299 8	0.462 7**
冬季 Winter	0.025 6	0.446 8**

注：\* 表示通过信度为 0.01 的检验，\*\* 表示通过信度为 0.001 的检验

Note: \* indicates a test with a reliability of 0.01, \*\* indicates a test with a reliability of 0.001

**2.1.3 年极端气温。**从图 3 可以看出，近 50 年宣城地区极端最低气温有显著的增加趋势，而极端最高气温的增加趋势不明显，这会导致宣城地区气温的年极差值越来越小。

**2.2 降水量变化特征** 从图 4 可看出，近 50 年来宣城地区年降水量经历了低—高一低的变化趋势，类似正弦波的变化过程，特别在 20 世纪 70 年代前期—80 年代中期波动幅度相对较大，而 90 年代中期—2000 年波动最大，表明该地区降水状况变化较大。1961 年以来宣城地区降水量有增加趋势，但程度不大，变化十分缓慢，增加倾向率为 0.207 3 mm/a（通过 0.05 的显著性检验）。近 50 年宣城地区降水量年际间波动很大，且很不均匀；最多年降水量 2 308.2 mm（1983 年），是多年平均降水量（1 530.8 mm）的 1.51 倍，而最少年降水量 984.7 mm（2006 年），是多年平均降水量的 64.33%，表明宣城地区极易出现大涝大旱等自然灾害。

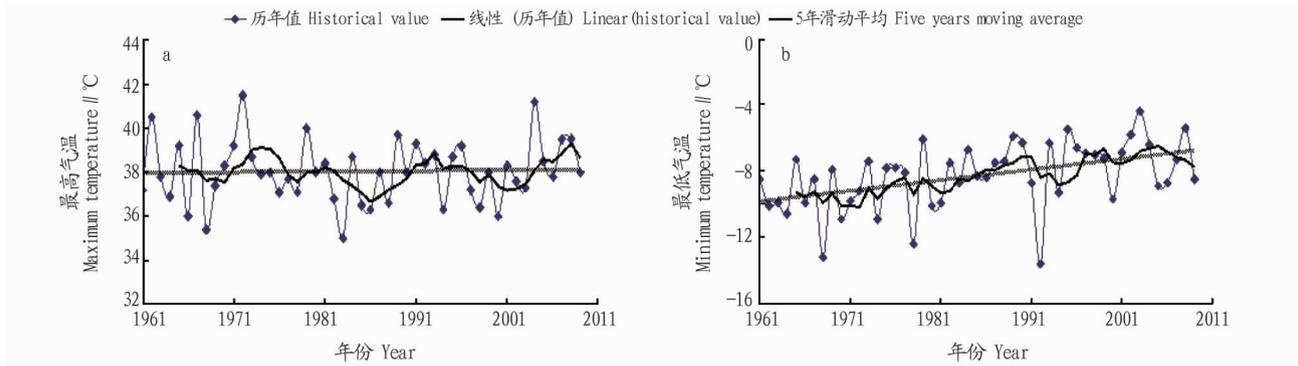


图 3 1961—2010 年宣城地区最高气温(a)和最低气温(b)变化

Fig. 3 Change of maximum temperature(a) and minimum temperature (b) in Xuancheng area from 1961 to 2010

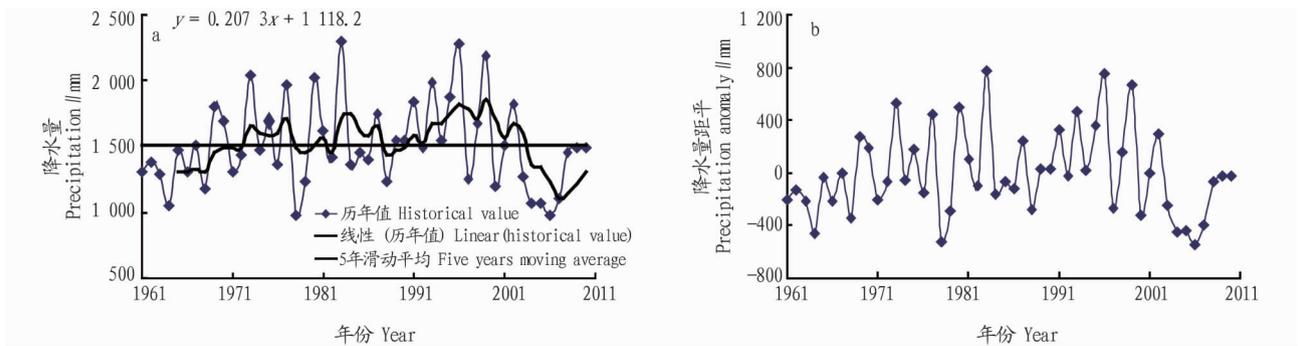


图 4 1961—2010 年宣城地区年降水量(a)及其距平(b)变化

Fig. 4 Change of annual precipitation (a) and its anomaly (b) in Xuancheng area from 1961 to 2010

从图 5 可看出,1961—2010 年宣城各县市年降水量存在一定的差异。其中以绩溪的年降水量最多,为 1 570.7 mm,而年降水量最少的是郎溪,为 1 207.7 mm,两者相差 363.0 mm。近 50 年整个宣城地区降水量空间分布比较均匀,南部的县市年降水量比北部的县市降水量多,对于皖南山区且集水面积较小的区域来说,区域内各地的气候差异和地形作用所引起的降水分布不均匀对年降水量的影响很明显。

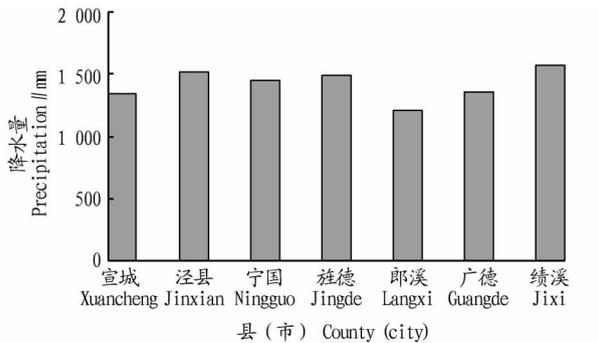


图 5 1961—2010 年宣城地区各县市降水量

Fig. 5 Counties and cities precipitation in Xuancheng area from 1961 to 2010

从图 6 可看出,1961—2010 年宣城地区降水量月分布存在着很明显的差异,汛期(4—8 月)的降水量(868.0 mm)占全年降水量(1 418.0 mm)的 61.2%,其中 6 月份的降水量最多,达 247.1 mm,占全年降水量的 17.4%,表明 6 月份是汛

期雨水最多、最容易发生大面积山洪涝渍的月份。

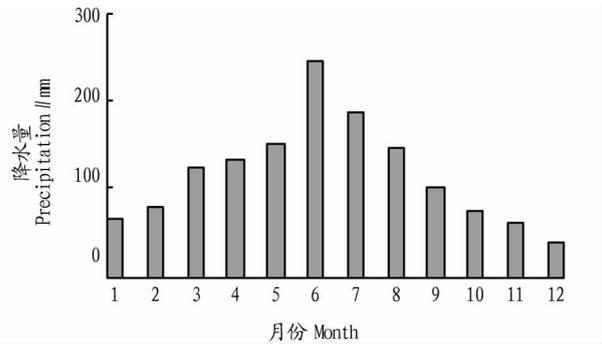


图 6 1961—2010 年宣城地区降水量的月变化

Fig. 6 Monthly change of precipitation in Xuancheng area from 1961 to 2010

2.3 气温、降水变化趋势 R/S 分析 由表 2 可知,各要素中有气温指数、夏季降水、秋季降水的 H 值大于 0.5,说明年平

表 2 1961—2010 年宣城地区年和各季的气温、降水 H 指数  
Table 2 H Index of year and season temperature and precipitation in Xuancheng area from 1961 to 2010

季节 Season	气温 Temperature	降水 Precipitation
春季 Spring	0.569 1	0.460 9
夏季 Summer	0.515 6	0.527 6
秋季 Autumn	0.683 1	0.510 5
冬季 Winter	0.626 1	0.443 8
全年 Year	0.598 6	0.489 9

均气温、四季气温、夏季降水、秋季降水均存在赫斯特现象,且具有状态持续性,也就是说近50年宣城地区全年平均气温、四季气温、夏季降水、秋季降水均将延续过去的趋势,即未来的年平均气温、四季气温和夏、秋季的降水量将继续保持上升势头;其中秋季气温的 $H$ 值最大(0.6831),预示未来秋季气温的增暖趋势将比过去其他季节的平均气温更为明显;同理未来年和春季、冬季的降水将与过去的变化趋势相反,即宣城地区未来的年、春季、冬季的降水趋势也是减少的;其中降水的夏季 $H$ 值最大,预示未来夏季雨水增多的趋

势将比其他季节以及全年的更为显著。

## 2.4 日照时数变化特征

**2.4.1 年变化。**从图7可以看出,近50年宣城地区日照时数下降趋势明显,1980年前后发生跃变,日照时数距平值从1979年的317.9 mm跃降到1980年的-34.8 mm;正距平几乎集中在1980年以前,负距平出现在1980年之后。从逐年气候变化上看,日照时数减少幅度为10.217 h/a,整体呈现明显的下降趋势。

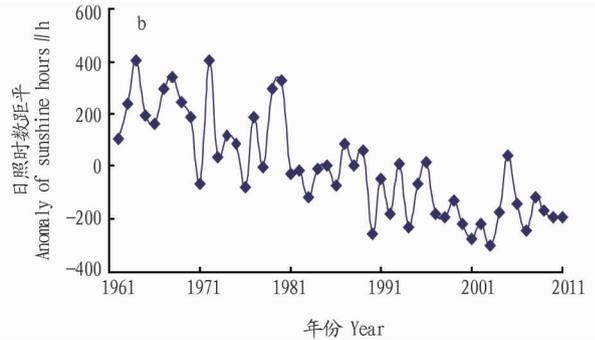
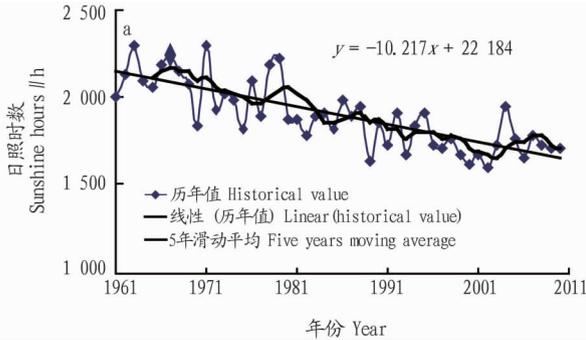


图7 1961—2010年宣城地区日照时数(a)及其距平(b)变化

Fig.7 Change of annual sunshine hours(a) and its anomaly(b) in Xuancheng area from 1961 to 2010

**2.4.2 季变化。**由表3可知,近50年宣城地区春季、夏季、秋季和冬季的最多日照时数均出现在20世纪60年代,4个季节在60—90年代均发生明显减少,减少最大幅度是冬季,2001—2010年的年日照时数相对于60年代减少了155.1 h,降幅达34.4%,而春、夏和秋季的降幅分别为5.2%、27.1%和13.7%。

**2.4.3 月变化。**由表4可知,近50年宣城地区不同年代各个月份日照变化情况;2、3、6和7月的日照时数从20世纪60年代一直到90年代依次减少,而21世纪以来在低位振荡,略有增加。1和8月的日照时数从60年代开始一直持续减少。

表3 1961—2010年宣城地区不同季节不同年代的日照时数

Table 3 Sunshine hours in different seasons of different ages in Xuancheng area from 1961 to 2010

时段 Period	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	合计 Total
1961—1970	465.4	711.5	516.0	450.5	2 143.4
1971—1980	460.6	670.9	485.0	395.4	2 011.9
1981—1990	433.8	553.1	423.7	359.6	1 770.2
1991—2000	396.3	511.3	445.1	342.5	1 695.2
2001—2010	441.0	517.9	387.5	295.4	1 641.8

表4 1961—2010年宣城地区逐月不同年代的日照时数

Table 4 Monthly sunshine hours in different ages in Xuancheng area from 1961 to 2010

时段 Period	1月 January	2月 February	3月 March	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October	11月 November	12月 December
1961—1970	159.5	138.5	147.6	142.8	175.1	195.9	260.9	254.8	185.5	183.0	147.4	152.5
1971—1980	126.9	120.8	136.3	162.8	161.5	177.8	240.3	252.9	151.6	171.0	162.4	147.6
1981—1990	110.0	92.4	107.3	145.8	180.7	153.6	198.7	200.8	145.6	139.9	138.2	157.3
1991—2000	104.5	113.0	102.7	134.5	159.1	138.7	195.6	177.0	152.3	154.1	138.7	125.0
2001—2010	93.5	98.3	140.2	136.6	164.2	146.5	206.7	164.7	131.9	137.3	118.3	103.6

## 3 结论

(1)近50年来宣城地区的年平均气温、秋季平均气温呈明显上升趋势,夏季平均气温仅有弱增温倾向,极端最低气温有显著的增加趋势,极端最高气温的增加趋势不明显;平均气温、四季气温均存在赫斯特现象;1993年是气温转折年;7、8和11月平均气温呈降低趋势,其余月份均呈增高趋势。

(2)1961年以来宣城地区的降水量有增加趋势,但程度不大,变化十分缓慢,增加倾向率为0.2073 mm/a,年降水量

存在一定的差异,月降水量的分布存在很明显的差异,汛期(4—8月份)的降水量占全年降水量的61.2%。宣城地区未来的年、春季、冬季的降水趋势也是减少的,而夏季雨水增多的趋势将比其他季节以及全年的更为显著。

(3)近50年宣城地区年日照时数下降趋势明显,减少幅度为10.217 h/a,减少最大幅度是冬季,降幅达34.4%,2、3、6和7月的日照时数从20世纪60年代一直到90年代依次减少。

(下转第189页)

- & sustainable energy reviews,2013,18(2):174-183.
- [6] LIN Y,TANAKA S. Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects[J]. Applied microbiology and biotechnology,2006,69(6):627-642.
- [7] KWANT K W. Status of Biomass Gasification in countries participating in the IEA and GasNet activity August 2004[R]. 2004.
- [8] CARDONE M,MAZZONCINI M,MENINI S, et al. Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: Agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization[J]. Biomass & bioenergy,2003,25(6):623-636.
- [9] ACHTEN W M J,ALMEIDA J,FOBELETS V, et al. Life cycle assessment of *Jatropha* biodiesel as transportation fuel in rural India[J]. Applied energy,2010,87(12):3652-3660.
- [10] CHEN H,CHEN G Q. Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China[J]. Renewable energy,2011,36(5):1374-1378.
- [11] FLECK B,HUOT M. Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use[J]. Renewable energy,2009,34(12):2688-2696.
- [12] YANG H P,YANG Q,HAN F, et al. Comprehensive evaluation of biomass energy technologies in China[J]. Journal of technology innovations in renewable Energy,2014,3(3):85-93.
- [13] YANG Q,CHEN G Q. Nonrenewable energy cost of corn-ethanol in China[J]. Energy policy,2012,41(1):340-347.
- [14] YANG Q,HAN F,CHEN Y Q, et al. Greenhouse gas emissions of a biomass-based pyrolysis plant in China[J]. Renewable & sustainable energy reviews,2016,53:1580-1590.
- [15] 陈德民,柳锋,杨晴,等. 生物质直燃系统的能耗分析和温室气体排放[J]. 太阳能学报,2016,37(3):553-558.
- [16] ODUM H T. Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making[J]. Child development,1996,42(4):1187-1201.
- [17] 付晓,吴钢,刘阳. 生态学研究中的焓分析与能值分析理论[J]. 生态学报,2004,24(11):2621-2626.
- [18] 杨晴. 可再生能源的系统生态热力学核算[D]. 北京:北京大学,2011.
- [19] 韩菲,柳锋,杨晴,等. 生物质热解多联产系统的能值分析[J]. 太阳能学报,2015,36(12):3060-3065.
- [20] 罗玉和,丁力行. 生物质直燃发电 CDM 项目可持续性的能值评价[J]. 农业工程学报,2009,25(12):224-227.
- [21] 罗玉和,楼波,丁力行. 清洁发展机制下生物质气化发电的能值分析[J]. 太阳能学报,2010,31(9):1124-1128.
- [22] 李欣,娄世玲,杨麒,等. 基于生命周期能值分析的秸秆能源化利用方式的对比评价[J]. 环境工程学报,2016,10(8):4607-4614.
- [23] CHEN G Q. Exergy consumption of the earth[J]. Ecological modelling,2005,184(2/3/4):363-380.
- [24] 黄素逸. 能源监测与评价[M]. 北京:中国电力出版社,2013.
- [25] 季曦. 生态经济的热力学焓值理论及其在城市系统模拟和调控中的应用[D]. 北京:北京大学,2008.
- [26] 魏胜文,陈先江,张岩,等. 能值方法与存在问题分析[J]. 草业学报,2011,20(2):270-277.
- [27] SHAO L,CHEN G Q. Exergy based renewability assessment: Case study to ecological wastewater treatment[J]. Ecological indicators,2015,58:392-401.
- [28] CHEN G Q,JIANG M M,YANG Z F, et al. Exergetic assessment for ecological economic system: Chinese agriculture[J]. Ecological modelling,2009,220(3):397-410.
- [29] 周江波. 国民经济的体现生态要素核算[D]. 北京:北京大学,2008.
- [30] HUANG L Q,CHEN G Q,ZHANG Y, et al. Exergy as a unified measure of water quality[J]. Communications in nonlinear science & numerical simulation,2007,12(5):663-672.
- [31] CHEN Z M,CHEN B,CHEN G Q. Cosmic exergy based ecological assessment for a wetland in Beijing[J]. Ecological modelling,2011,222(2):322-329.
- [32] 姜味茗. 城市系统演化的生态热力学焓值分析[D]. 北京:北京大学,2007.
- [33] WU X F,CHEN G Q,WU X D, et al. Renewability and sustainability of biogas system: Cosmic exergy based assessment for a case in China[J]. Renewable & sustainable energy reviews,2015,51:1509-1524.
- [34] WALL G. EXERGY-A USEFUL CONCEPT WITHIN RESOURCE ACCOUNTING[R]. Göteborg, Sweden: Institute of Theoretical Physics, Chalmers University of Technology and University of Göteborg,1977.
- [35] SZARGUT J. Application of exergy for the calculation of ecological cost[J]. Bulletin of the polish academy of sciences, technical sciences,1986,34(7):475-480.
- [36] SZARGUT J. Analysis of cumulative exergy consumption[J]. International journal of energy research,1987,11(4):541-547.
- [37] SZARGUT J. Minimization of the consumption of natural resources[J]. Bulletin of the polish academy of sciences, technical sciences,1978,26(6):41-46.
- [38] SCIUBBA E. Extended exergy accounting applied to energy recovery from waste: The concept of total recycling[J]. Energy,2003,28(13):1315-1334.
- [39] SCIUBBA E,BASTIANONI S,TIEZZI E. Exergy and extended exergy accounting of very large complex systems with an application to the province of Siena, Italy[J]. Journal of environmental management,2008,86(2):372-382.
- [40] JØRGENSEN S E. Exergy and ecological buffer capacities as measures of ecosystem health[J]. Ecosystem health,1995,1(3):150-160.
- [41] JØRGENSEN S E. Evolution and exergy[J]. Ecological modelling,2007,203(3/4):490-494.
- [42] JØRGENSEN S E. Description of aquatic ecosystem's development by eco-exergy and exergy destruction[J]. Ecological modelling,2007,204(1/2):22-28.
- [43] CHEN G Q. Scarcity of exergy and ecological evaluation based on embodied exergy[J]. Communications in nonlinear science & numerical simulation,2006,11(4):531-552.
- [44] 陈彬. 生态焓理论及其在黄河流域生态模拟中的应用[D]. 北京:北京大学,2004.
- [45] CHEN G Q,CHEN Z M. Carbon emissions and resources use by Chinese economy 2007: A 135-sector inventory and input-output embodiment[J]. Communications in nonlinear science & numerical simulation,2010,15(11):3647-3732.

(上接第 162 页)

## 参考文献

- [1] 罗碧瑜,陈映强,贺汉清,等. 梅州近 50 年气候变化特征及未来变化趋势[J]. 气象科技,2008,36(3):289-292.
- [2] 林学椿,于淑秋. 近四十年我国气候趋势[J]. 气象,1990,16(10):16-21.
- [3] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):701-716.
- [4] 任福民,翟盘茂. 1951~1990 年中国极端气温变化分析[J]. 大气科学,1998,22(2):217-227.
- [5] MANDELBROT B B,WALLIS J R. Some long-run properties of geophysical records[J]. Water resources research,1969,5(2):321-340.
- [6] MANDELBROT B B,WALLIS J R. Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long run statistical dependence[J]. Water resources research,1969,5(5):967-988.
- [7] 陈正洪. 武汉、宜昌 20 世纪平均气温突变的诊断分析[J]. 长江流域资源与环境,2000,9(1):56-62.