

文章编号: 2096-1618(2021)05-0518-05

# 西昌近60年日照时数的变化特征分析

张 杨<sup>1,2</sup>, 肖国杰<sup>1</sup>, 路增鑫<sup>1</sup>, 陈孟佳<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 大竹县气象局, 四川 达州 635100)

**摘要:**为研究西昌近60年日照时数变化特征,利用中国气象数据网1960–2019年西昌逐月日照时数气象资料,采用线性趋势倾向分析、Mann-Kendall突变检验法、Morlet小波分析,分析西昌日照时数的变化特征。结果表明:(1)日照时数整体呈显著的下降趋势,减少速率为 $-54.7\text{ h}/10\text{a}$ ,远低于中国西南地区平均减少速率。(2)日照时数四季均呈下降趋势,春季日照时数最多,秋季日照时数最少。夏季减少速率最大,冬季减少速率最小。(3)各月日照时数年际变化均呈减少的趋势。(4)日照时数在1989年开始发生突变,通过小波分析确定周期为28 a。

**关键词:**气候学;气候变化;日照时数;线性倾向率;周期分析;突变检验

**中图分类号:**P467

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2021.05.008

## 0 引言

近年随着对气候的重视,越来越多的学者开始对不同区域的日照时数和湿度进行研究,Gerald Stanhill等<sup>[1]</sup>提出了全球变暗现象。1990年前的许多观测记录中,地表太阳辐射的下降已明显,这种现象被称为全球变暗,20世纪80年代末,观察到一种普遍的变亮现象<sup>[2]</sup>。1960–1980年的一个暗淡阶段在中国被证明是大规模全国性的<sup>[3]</sup>。关于研究中国日照的演变及其关键气候特征,赵东等<sup>[4]</sup>指出47 a来全国日照时数总体基本呈现下降,在20世纪80年代下降最为明显,1993年后转为略有回升,具有明显的季节性和区域性,且初步认为大气污染是造成东部地区日照下降的主要原因,而低云和水汽的增加是西部地区日照下降的主要原因。近50 a长江中下游地区大都呈显著减少趋势且日照时数长期趋势变化有显著的空间变化<sup>[5]</sup>。通过研究云南省近44 a日照时数,王宇等<sup>[6]</sup>指出云南省年日照时数整体呈波动减少趋势,20世纪70年代“变暗”和90年代开始“变亮”,春、夏、冬季均呈减少趋势,秋季相反。近50 a华北平原春季日照时数最多,年、四季日照时数呈大范围负趋势<sup>[7]</sup>。山东省在1997年的突变最显著,年日照时数呈极显著的减少趋势<sup>[8]</sup>。青海省54 a日照空间分布呈自东南向西北梯度增加趋势,西北部为日照最为丰富的地区,也是日照时数减少最显著的地区<sup>[9]</sup>。新疆近50 a低云量明显增多,是日照时数减少的主要原因<sup>[10]</sup>。1985年前后吉林省日照时数由明显偏多变为明显偏少<sup>[11]</sup>。福建省

日照时数序列具有长期相关的持续性,未来变化趋势与过去一致<sup>[12]</sup>。

西昌隶属于四川省凉山彝族自治州,幅员广阔,属热带高原季风气候区,素有小“春城”之称,蕴藏着丰富的气候资源。作为人均资源匮乏和倡导可持续发展的国家,如何合理利用太阳能资源成为一个难题。研究西昌的日照时数变化不仅能够合理的利用当地太阳能资源,而且对西昌农、林、牧、渔等产业发展具有极其重要的影响。西昌旅游资源丰富,是多个著名旅游线上的重要景点,了解日照时数的变化特征,可以更加合理地利用旅游资源。因此研究西昌近60 a的日照时数变化特征对西昌的社会经济发展、生态建设及能源开发等都有实际意义,也将对人民的日常生活和人类社会的发展有重要意义和实际价值。

## 1 数据与研究方法

### 1.1 数据来源

使用资料为西昌站1960–2019年的逐月日照时数来分析西昌近60 a日照时数的变化特征,气象数据来源于中国气象数据网。季节划分如下:3–5月为春季,6–8月为夏季,9–11月为秋季,12–次年2月为冬季。

### 1.2 数据采用的研究方法

用线性倾向趋势来分析各个气象要素的主要线性变化趋势,趋势的大小及趋势的显著性特征等;用M-K突变检验对其做相应的突变分析;为了解各时间尺度上各个气象要素的周期性和对各个气候要素的主要周

期上未来变化趋势进行预测,用小波分析法来研究<sup>[13]</sup>。

2 结果与分析

2.1 日照时数的年际变化

图 1 为 1960–2019 年西昌日照时数的年际变化特征图。可以看出,西昌 1960–2019 年年日照时数平均值为 2334.9 h,最大值为 2660.5 h(1980 年),最小值为 1971.6 h(2007 年),极差为 688.9 h,整体呈显著的下降趋势,日照时数变化的气候倾向率为  $-54.7\text{ h}/10\text{a}$  (相关系数  $r=-0.585$ ,通过了  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验,表明西昌年日照时数下降趋势显著),远高于中国西南地区平均减少速率  $31.9\text{ h}/10\text{ a}$ <sup>[14]</sup>。从 5 a 滑动曲线上可以看出,20 世纪 60、70、80 年代日照时数较多,大部分年份年日照时数均高于平均年日照时数值,1960–1992 年整体呈下降趋势,减少幅度为  $-39.8\text{ h}/10\text{ a}$  ( $r=-0.291$ ,未通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验),平均值为 2425.8 h,从 80 年代末年日照时数开始下降,1992 年后总体略有回升,增加幅度为  $21.1\text{ h}/10\text{a}$  ( $r=0.134$ ,未通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验),平均值为 2224.0 h,其变化与世界大多数地区 20 世纪 60 年代开始“变暗”和 90 年代开始“变亮”<sup>[14]</sup> 这一说法基本吻合。

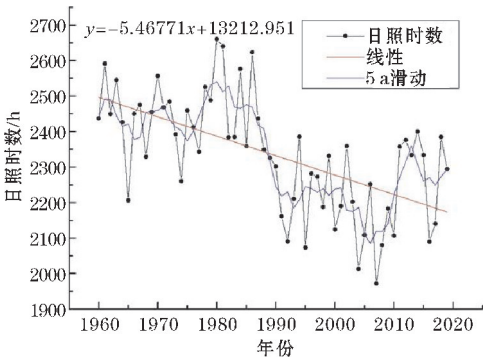


图 1 1960–2019 年西昌日照时数的年际变化特征

2.2 日照时数的季节变化

图 2 ~ 图 5 分别为 1960–2019 年西昌春、夏、秋、冬季日照时数变化特征图。春、夏、秋、冬季日照时数年平均值分别为 715.1 h、486.5 h、480.0 h、653.0 h,最大值分别为 864 h(1987 年)、639.7 h(1972 年)、624.3 h(1981 年)、781.7 h(1978 年),最小值分别为 561.8 h(2017 年)、278.7 h(1998 年)、307.8 h(1988 年)、503.1 h(1991 年),振幅分别为 302.2 h、352 h、

316 h、278.6 h,气候倾向率分别为  $-15.1\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-21.4\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-10.6\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-7.9\text{ h}/10\text{ a}$  (其中,春、夏、秋季相关系数分别为  $-0.413$ 、 $-0.468$ 、 $-0.271$ ,均通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,冬季相关系数为  $-0.206$ ,未通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验),表明年日照时数的下降主要是由春、夏季的下降引起的。

春、冬季的日照时数平均值远高于夏、秋季,且春季近 60 a 的日照时数平均值最大,占年日照时数的 30.6%,秋季的日照时数平均值最小,占年日照时数的 20.6%。春、夏、秋、冬季年日照时数均呈下降趋势,其中春夏两季日照时数减少较大,而秋冬两季日照时数减少较小。

年日照时数的变化特征是以 1992 年为界限,所以以 1992 年为界限来分析日照时数的季节变化。1960–1992 年,春、夏、秋、冬的变化幅度分别为  $-7.1\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-4.2\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-30.5\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-3.5\text{ h}/10\text{ a}$ 。其中,春、夏、冬季的相关系数分别为  $-0.119$ 、 $-0.059$ 、 $-0.052$ ,均未通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,秋季的相关系数为  $-0.427$ ,通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。1993–2019 年,春、夏、秋、冬的变化幅度为  $-11.0\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-2.6\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $30.5\text{ h}/10\text{ a}$ 、 $-6.8\text{ h}/10\text{ a}$ 。春、夏、冬季的相关系数分别为  $-0.146$ 、 $-0.030$ 、 $-0.081$ 均未通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,秋季的相关系数为 0.379,通过了  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验。表明虽然 1960–2019 年春、夏、秋、冬季整体趋势都是下降的,但其中 1992–2019 年西昌年日照时数略有增加,其增加主要是由秋季日照时数的增加引起的。从 5 a 滑动曲线上可以看出,春季日照时数主要表现为以 00 年代末为界限,前期逐渐减少,后期略有增加;夏季日照时数主要表现为 20 世纪 60、70 年代波动变化,80 至 00 年代初期逐渐减少,之后逐渐增加;秋季日照时数主要表现为 90 年代前在波动中减少,从 90 年代开始逐渐增加;冬季日照时数主要表现为 60 至 80 年代中期逐渐增加,80 年代中期之后呈波动变化,且幅度较大。

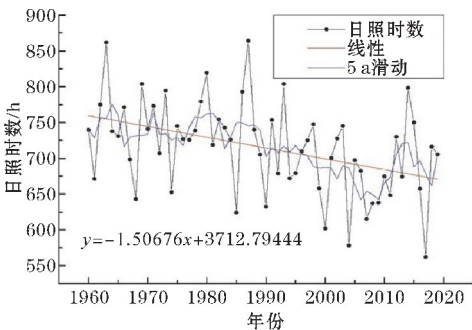


图 2 1960–2019 年西昌春季日照时数的变化特征

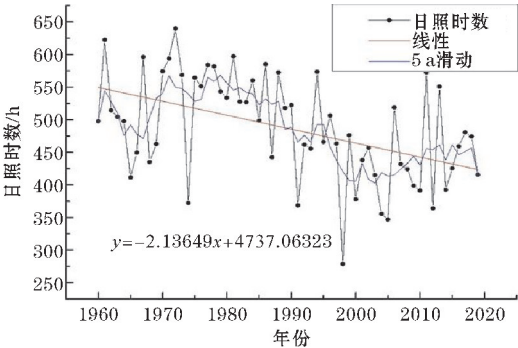


图3 1960–2019年西昌夏季日照时数的变化特征

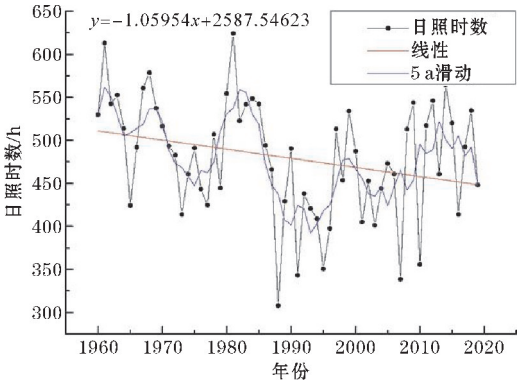


图4 1960–2019年西昌秋季日照时数的变化特征

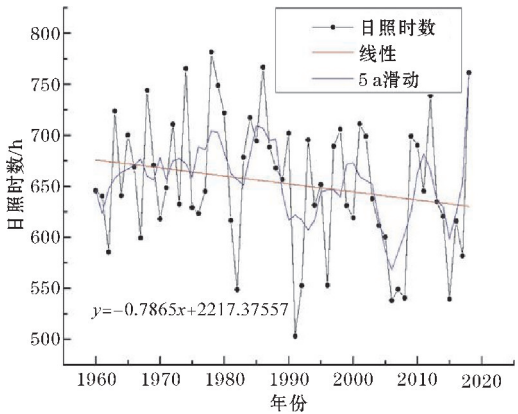


图5 1960–2019年西昌冬季日照时数的变化特征

2.3 日照时数的月变化

表1为西昌1960–2019年各月平均日照时数、气候倾向率和相关系数。从表1可以看出,4月、7月通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,3月、8月、9月通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,其余月份未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。月日照时数最大值月份为3月(254.7 h),最小值月份为9月(135.4 h),平均值为194.6 h。1–12月日照时数均呈下降趋势,负倾向率最大月份为7月(−11.3 h/10 a),负倾向率最小月份为11月(−0.4 h/10 a)。

表1 西昌1960–2019年各月平均日照时数、倾向率和相关系数			
月份	月平均日照时数/h	倾向率/(h/10 a)	相关系数
1	228.5	−2.1	−0.114
2	221.2	−0.9	−0.047
3	254.7	−5.3	−0.308 *
4	243.3	−6.5	−0.347 **
5	217	−3.3	−0.161
6	141	−1.8	−0.081
7	162.9	−11.3	−0.572 **
8	183	−8.2	−0.307 *
9	135.4	−5.8	−0.266 *
10	155	−4.4	−0.214
11	189.2	−0.4	−0.018
12	204.1	−4.6	−0.242

注:\*\*为0.01显著性水平,显著;\*为0.05显著性水平,弱显著;无\*为未通过检验。

2.4 日照时数的周期性分析

图6、7分别为西昌年日照时数小波系数实部等值线及小波方差。从图6可以看出在24~28 a时间尺度上存在明显的周期震荡,出现偏少—偏多交替的准3次明显震荡,同时还可以看出这个尺度的周期变化在整个分析时段表现的非常稳定,具有全域性。从小波方差图上可以看出,存在一个明显的峰值,对应着28 a的时间尺度,表明28 a左右的周期震荡最强,可以确定变化过程中28 a为主周期。

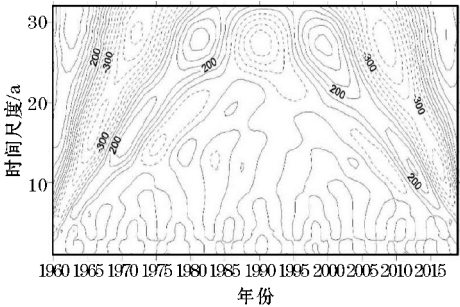


图6 西昌年日照时数小波系数实部等值线

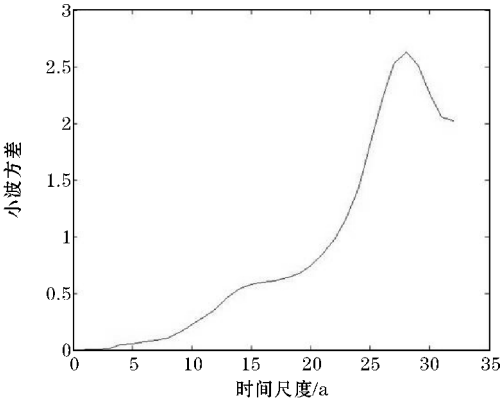


图7 西昌年日照时数小波方差



## 2.5 日照时数的突变检验

图8为年日照时数 M-K 法突变检验。若 UF 或 UB 值大于 0,则表明序列呈上升趋势,若 UF 或 UB 值小于 0,则表明序列呈下降趋势,当统计曲线超过临界值时,则表明上升或下降趋势显著<sup>[15]</sup>。给定的显著性水平  $\alpha=0.05$ ,检验临界值  $T=1.96$ ,从图8可以看出,西昌年日照时数在 1989 年开始发生突变由偏多期变为偏少期,且 2005 年以后显著性减少。1960–1989 年西昌平均年日照时数为 2449.9 h,1990–2019 年西昌平均年日照时数为 2220.0 h,突变后下降了 229.9 h。

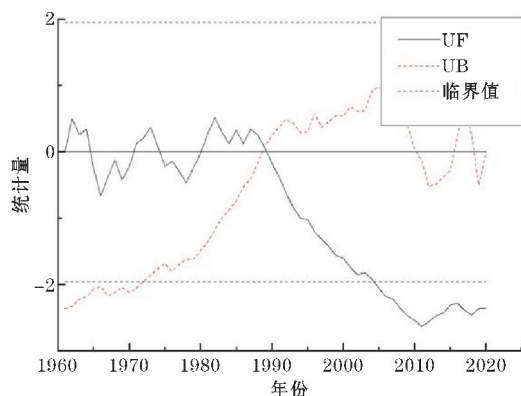


图8 年日照时数 M-K 法突变检验

## 3 结束语

通过对 1960–2019 年西昌日照时数气象资料进行变化特征分析,结论如下:

西昌近 60 a 日照时数整体呈显著下降趋势,减少速率为  $-54.7 \text{ h}/10 \text{ a}$  (通过了  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验),远低于中国西南地区平均减少速率,且变化特征有明显的阶段性,20 世纪 60、70、80 年代日照时数较多,从 80 年代末年日照时数开始下降,1992 年后总体略有回升。

日照时数四季均呈下降趋势,且都具有明显的季节性。春季日照时数最多,秋季日照时数最少。夏季减少速率最大,冬季减少速率最小。

各月日照时数年际变化均呈减少的趋势。日照时数减少速率最大的是 7 月,气候倾向率为  $-11.3 \text{ h}/10 \text{ a}$ ,减少速率最小的是 11 月,气候倾向率为  $-0.4 \text{ h}/10 \text{ a}$ 。月日照时数最大值的月份为 3 月,最小值的月份为 9 月。

西昌年日照时数在 1989 年开始发生突变由偏多期变为偏少期,且 2005 年以后显著性减少。通过小波分析确定日照时数周期为 28 a。

## 参考文献:

- [1] Gerald Stanhill, Shabtai Cohen. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 7: 255–278
- [2] Wild M, Gilgen H, Roesch A, et al. From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at earth's surface[J]. *Science*, 2005, 308: 847–850.
- [3] Wang Y W, Wild Martin, Sanchez Lorenze Artuo, et al. Urbanization effect on trends in sunshine duration in China[J]. *Annales Geophysicae*, 2017, 35(4): 839–851.
- [4] 赵东, 罗勇, 高歌, 等. 1961 年至 2007 年中国日照的演变及其关键气候特征[J]. *资源科学*, 2010, 32(4): 701–711.
- [5] 张立波, 娄伟平. 近 50 年长江中下游地区日照时数的时空特征及其影响因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(5): 595–601.
- [6] 王宇, 延军平, 吴梦初, 等. 云南省近 44 年日照时数时空变化及其影响因素分析[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(3): 392–399.
- [7] 陈红梅, 张立波, 娄伟平. 近 50a 华北平原日照时数的时空特征及其影响因素[J]. *气象科学*, 2012, 32(5): 573–579.
- [8] 董旭光, 邱黎, 刘煥彬, 等. 山东省日照时数的气候变化特征及其影响因素[J]. *中国农业气象*, 2013, 34(2): 138–145.
- [9] 张少婷, 肖国杰, 范广洲, 等. 青海省日照时数的时空变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(1): 121–126.
- [10] 张山清, 普宗朝, 李景林. 近 50 年新疆日照时数时空变化分析[J]. *地理学报*, 2013, 68(11): 1481–1492.
- [11] 刘玉英, 韦小丽, 李宇凡. 1961–2012 年吉林省日照时数的变化特征及影响因素[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1367–1377.
- [12] 孙晓航, 丘永杭, 黄奇晓, 等. 福建省近 60 年日照时数时空变化特征及未来趋势分析[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2020, 49(5): 712–720.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M].

2版,北京:气象出版社,2007.

- [14] 杨小梅,安文玲,张薇,等.中国西南地区日照时数变化及影响因素[J].兰州大学学报(自然科学版),2012,48(5):52-60.

- [15] 黄菊梅,赖顶梅,向涛等.1960-2012年洞庭湖区日照时数的变化特征及影响因素[J].生态学杂志,2014,33(3):755-760.

## Analysis on Variation Characteristics of Sunshine Hours in Xichang in Recent 60 Years

ZHANG Yang<sup>1,2</sup>, XIAO Guojie<sup>1</sup>, LU Zengxin<sup>1</sup>, CHEN Mengjia<sup>1</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Dazhu County Meteorological Bureau, Dazhou 635100, China)

**Abstract:** In order to study the variation characteristics of sunshine hours in Xichang in recent 60 years, the monthly sunshine hours meteorological data of Xichang from 1960 to 2019 were used in this paper. The variation characteristics of sunshine hours in Xichang were analyzed by linear trend analysis, Mann Kendall mutation test and Morlet wavelet analysis. The results show that: (1) The number of sunshine hours as a whole showed a significant downward trend, with a reduction rate of  $-54.7 \text{ h}/10 \text{ a}$ , which was much lower than the average decrease rate in Southwest China. (2) The sunshine hours showed a decreasing trend in four seasons, with the most sunshine hours in spring and the least in autumn. The decreasing rate is the highest in summer and the lowest in winter. (3) The interannual variation of sunshine hours in each month showed a decreasing trend. (4) The sunshine hours began to change in 1989, and the period was determined to be 28 years by wavelet analysis.

**Keywords:** climatology; climate change; sunshine hours; linear tendency rate; periodic analysis; mutation test