

四川省日照时数时空变化特征及影响因子分析

张 澜, 刘峻熙

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年6月14日; 录用日期: 2024年8月1日; 发布日期: 2024年8月13日

摘 要

基于四川省1961~2017年31个气象站点实测的日照时数和同步观测的气压、气温、相对湿度和风速等资料, 采用气候倾向率、Mann-Kendall (M-K) 突变检验和Morlet小波分析等方法, 本文研究了四川省日照时数的时空变化特征及其影响因子, 结果表明: 1) 四川省年平均日照时数为1795.5 h, 呈显著下降趋势, 约为每10年下降29.4 h。年代际尺度上, 自20世纪90年代起, 日照时数从相对较高的时期逐渐过渡到相对较低的时期。2) 日照时数在1985年发生了明显突变: 从偏多期骤然转变为偏少期。就周期性特征而言, 日照时数主要包含了3个不同周期, 分别为5年(第三周期)、11年(首要周期)和23年(次要周期)。3) 四川省日照时数在空间上自东向西递增, 呈现出“西多东少”的分布格局。4) 平均风速对日照时数影响最大, 二者呈显著正相关; 云量和相对湿度对日照时数的影响次之, 呈显著负相关关系; 降水量与日照时数呈负相关关系, 但不是很显著; 气压对日照时数影响较小。

关键词

日照时数, 时空变化特征, Mann-Kendall检验, 小波分析, 相关关系

Temporal and Spatial Variation Characteristics and Influencing Factors Analysis of Sunshine Hours in Sichuan Province

Lan Zhang, Junxi Liu

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jun. 14th, 2024; accepted: Aug. 1st, 2024; published: Aug. 13th, 2024

Abstract

Based on the sunshine hours measured by 31 meteorological stations in Sichuan Province from

1961 to 2017 and the data of air pressure, temperature, relative humidity and wind speed observed simultaneously, this paper studies the temporal and spatial variation characteristics and influencing factors of sunshine hours in Sichuan Province by using climatic inclination rate, Mann-Kendall (M-K) mutation test and Morlet wavelet analysis. The results showed that: 1) The annual average sunshine hours in Sichuan Province were 1795.5 h, showing a significant downward trend, about 29.4 h per 10 years. From the perspective of interdecadal change, since the 90s of the 20th century, the sunshine hours have gradually transitioned from a relatively high period to a relatively low period. 2) In 1985, there was an obvious abrupt change in the number of sunshine hours: it changed from a period of more than one period to one period of less. In terms of cyclical characteristics, the number of sunshine hours mainly includes three different cycles, namely 5 years (the third cycle), 11 years (the primary cycle) and 23 years (the secondary cycle). 3) The sunshine hours in Sichuan Province increased spatially from east to west, showing a distribution pattern of “more in the west and less in the east”. 4) The average wind speed had the greatest impact on the number of sunshine hours, and there was a significant positive correlation between the two. The effects of cloud cover and relative humidity on sunshine hours were the second, showing a significant negative correlation. There was a negative correlation between precipitation and sunshine hours, but it was not very significant. Barometric pressure has little effect on the number of hours of sunshine.

Keywords

Sunshine Hours, Temporal and Spatial Variation Characteristics, Mann-Kendall Test, Wavelet Analysis, Correlations

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

日照时数指的是一天内太阳直接辐射强度达到或者超过 $120 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 时间的总和(用小时表示), 对于了解当地气候、农业生产、太阳能利用等方面具有重要意义。气候变化会导致大气层的物理和化学结构经历显著变动, 进而影响地面接收到的太阳辐射量的分布和强度[1]。因此, 在当前全球气候系统显著变化的背景下, 日照时数已经成为气候学、环境学和生态学等领域重点关注的对象[2]。

目前, 许多学者对日照时数的时空变化特征及其影响因子进行了深入探讨。就全球范围来看, 大多数研究发现全球日照时数呈逐年减少趋势, 即所谓的“全球变暗”现象[3] [4]。我国许多地区日照时数也呈现出明显的下降趋势。广东省 1965~2015 年四季日照时数均呈下降趋势, 其中秋季下降最明显[5]; 安徽省 1955~2005 年日照时数呈显著减少的趋势, 除春季日照时数变化不明显外, 其他季节日照时数显著减少[6]; 1961~2009 年西南地区日照时数在 1990 年之前降低, 此后明显增加[7]。宜宾地区 1960~2018 年年日照时数呈显著下降趋势, 各季节日照时数的年际变化均呈下降趋势, 夏季日照时数随时间减少速度最快, 春季最慢[8]。同时学者们还探讨了气象因子对日照时数的影响。虞海燕[9]研究发现全国年日照时数与温度、降水呈负相关, 与风速呈正相关。杨小梅[7]发现在西南地区风速是影响日照时数变化的主要原因之一。何彬方[6]研究结果表明安徽省日照时数的显著下降与能见度的下降、大气水汽压的增加、年降水量和年雨日数的增加关系密切, 而与总云量和低云量的变化无关。王钊[10]研究发现西安及其以东地区日照时数的区域性下降很可能是在地形和盛行风向的共同作用下导致气溶胶在关中东部地区堆积而

产生的直接辐射效应所致。

四川省地形复杂, 气候类型多, 同时拥有山地、丘陵、平原和高原, 从川西到川东落差高达 7000 m, 是我国重要的粮食生产基地。日照时数直接影响着作物生长, 许多农作物的生长发育过程对光照要求严格, 光照不足会导致农作物产量减少[11]。国内也有一些学者对四川省日照时数特征进行了一些分析[12][13], 但是关于近年来日照时数变化特征的深入分析及其影响因子的研究比较少。本文通过深入研究四川省日照时数的时空变化特征及其影响因子, 对于提高对四川省气候变化及成因的认识、布局农业生产发展和开发利用太阳能资源具有一定的指导意义。

2. 资料和方法

2.1. 资料概况

本文研究所用数据主要来源于中国气象数据网(<http://cdc.cma.gov>)的中国地面气候资料日值集(V3.0), 该数据集涵盖了四川省 41 个国家气象站点的日照时数以及本站气压、相对湿度、平均风速、降水量等气象要素数据。1961 年以前日照时数缺测站数较多, 1961~2017 年有 10 个站点缺测较多, 舍弃这 10 个站点数据, 该数据集中 2018 年之后四川地区的日照时数数据不完整, 且仅分析 2017 年之前年份仍然能够反映出四川省日照时数的整体变化趋势, 故本文研究选取四川省 31 个国家站 1961~2017 年的逐日日照时数资料。研究中使用的云量数据来自于美国国家气候数据中心(NCDC)。

2.2. 研究方法

本研究中分析日照时数的时间变化趋势、突变特征和周期变化分别采用线性倾向趋势分析、Mann-Kendall (M-K) 突变检验[14]和 Morlet 小波分析[15]; 同时采用克里金插值法分析日照时数的空间分布特征; 利用 SPSS 软件分析了日照时数与其他气象因子的相关性。

3. 结果

3.1. 日照时数时间变化特征

3.1.1. 年际变化特征

1961~2017 年四川省日照时数年际变化特征如图 1(a)所示。观测期间年平均日照时数为 1795.5 h, 整体上呈显著下降趋势, 平均每 10 年减少 29.4 h, 通过了 0.01 的显著性水平检验。日照时数年际间差异较大, 变化范围为 1614.9~1968.6 h, 最大值(1978 年)与最小值(2005 年)相差 353.7 h。四川省日照时数的变化趋势与我国大部分地区基本一致, 但其下降速度明显低于安徽省的下降速度(气候倾向率为 88.3 h/10a)[6], 而略高于黑龙江省日照时数的下降速度(气候倾向率为 26.7 h/10a)[16], 这说明日照时数的变化幅度受到区域气候环境条件的影响。此外, 年日照时数标准差平均值高达 566.0 h, 变异系数为 0.32, 这说明四川省各个站点的年日照时数差异较大。

由年日照时数的累积距平曲线(图 1(b))可见, 全省日照时数包括上升和下降 2 个阶段。1961~1987 年累积距平曲线明显呈现出增加趋势, 为日照时数偏高阶段。自 1987 年开始累积距平曲线呈现出明显下降趋势, 这意味着多数年份的日照时数低于 57 年的平均值, 标志着日照时数进入了一个相对偏低的阶段, 在这一转折点的附近, 可能存在日照时数的突变点。

3.1.2. 年代际变化

表 1 为四川省不同季节平均日照时数的年代际变化, 从表中可见 20 世纪 70 年代是一个显著的高峰期, 特别是夏季的日照时数达到了最大值; 而春、秋、冬季最大值出现在 20 世纪 60 年代。20 世纪 60

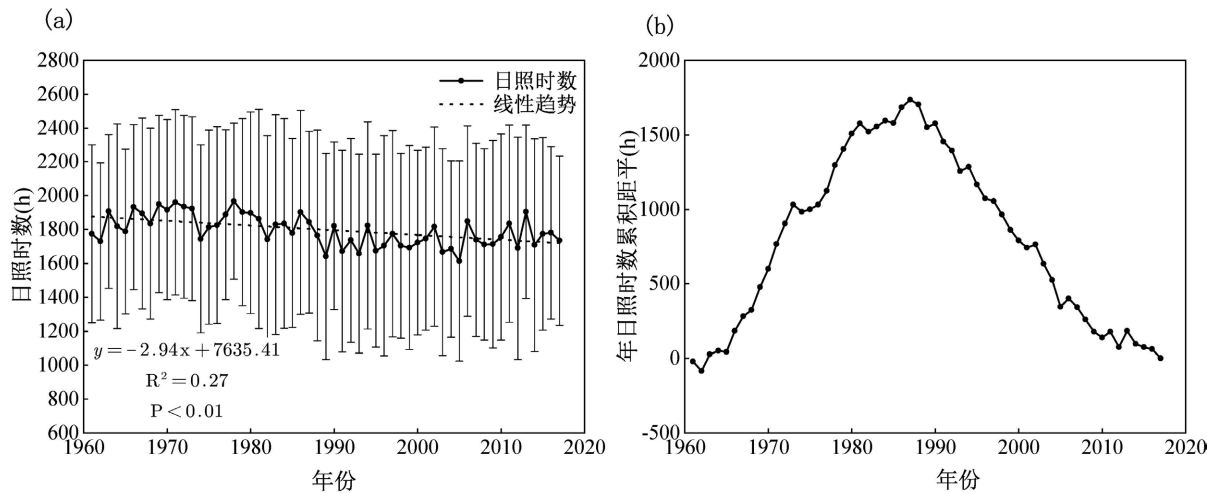


Figure 1. Temporal variation characteristics of sunshine hours in Sichuan Province from 1961 to 2017: (a) Interannual trends; (b) Cumulative anomaly curves

图 1. 1961~2017 年四川省日照时数时间变化特征: (a) 年际变化趋势; (b) 累积距平曲线

至 80 年代期间,日照时数普遍高于过去 57 年全省的平均水平,显示出这一时期日照资源的相对充裕。然而,自 20 世纪 90 年代起,日照时数开始呈现下降趋势,持续低于历史平均值,标志着日照资源的相对减少。整体而言,20 世纪 90 年代和 21 世纪初 10 年年,日照时数明显偏低。在进入 21 世纪的第二个十年,即 10 年代,日照时数有所回升,呈现出一定的增长趋势。

Table 1. Decadal variation of sunshine hours in Sichuan Province (unit: h)

表 1. 四川省日照时数的年代际变化(单位: h)

年份	春季	夏季	秋季	冬季	年平均值
1961~1969 年	521.7	488.7	405.5	432.6	462.1
1970~1979 年	516.8	539.5	403.0	430.2	472.4
1980~1989 年	519.7	473.6	396.6	426.6	454.1
1990~1999 年	479.4	462.3	382.5	403.1	431.8
2000~2009 年	493.6	443.6	392.5	396.6	431.6
2010~2017 年	498.2	476.7	382.8	415.4	443.3

3.1.3. 突变检验

图 2 为 M-K 突变检验曲线,观察正序列曲线 UF 的走势,可以发现在 1985 年之前,其统计值维持在正值区间,这清晰地表明日照时数在此时间段内呈现出增长的趋势。然而,转折点出现在 1985 年之后,UF 统计值转为负值,这一变化表明了日照时数开始逐渐下降。值得注意的是,1993 年 UF 统计值突破了 -1.96 的显著性阈值,这一显著的变化明确标志着四川省日照时数开始显著减少。在 1985 年 UF 与 UB 两条曲线在临界值线(± 1.96)之间产生了交叉点,说明日照时数在 1985 年发生了显著的突变,日照时数从之前的偏多阶段转变为了偏少阶段,这与日照时数累积距平曲线说明的问题基本一致。

3.1.4. 周期变化

由 Morlet 小波系数实部等值线图 3(a)可见,发现日照时数在 5a、11a、23a 时间尺度上分布相对集中,呈现出显著的高低值震荡现象,说明这 3 个特征时间尺度的准周期性在最近 57 年的日照时数序列中占据

主导地位。图 3(b)为对应的小波方差图, 在图中可见存在三个显著的峰值, 这些峰值与 5 年、11 年和 23 年的时间尺度相对应, 其中 11 年的震荡周期表现最为显著, 因此是影响日照时数变化的首要主导周期。其后是 23 年和 5 年的周期, 它们分别作为第二和第三主导周期, 对日照时数的变化同样产生了重要影响。

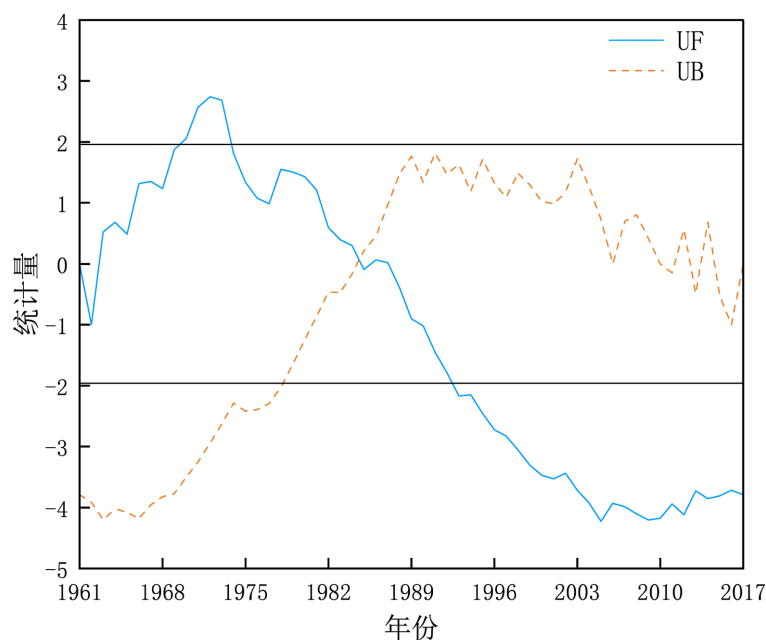


Figure 2. M-K curve of annual average sunshine hours in Sichuan Province

图 2. 四川省年平均日照时数 M-K 曲线

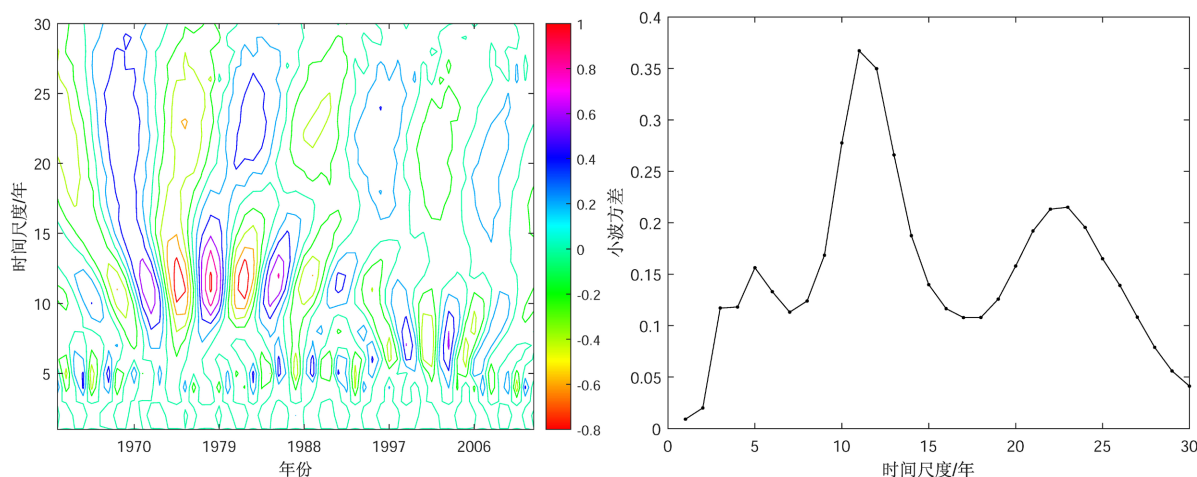


Figure 3. Real part contour (a) and variance (b) of Morlet wavelet coefficients for sunshine hours in Sichuan province

图 3. 四川省日照时数 Morlet 小波系数实部(a)等值线图 and (b)小波方差图

3.2. 日照时数空间分布特征

1961~2017 年四川省年日照时数空间分布特征如图 4 所示。日照时数空间差异显著, 从西往东逐渐减少, 呈现出“西多东少”的分布格局。其高值区域主要集中于川西的高山高原地带, 最高值可达 2594.4 h; 低值区域分布于四川盆地, 最低值仅为 922.2 h。这种分布特点与四川省的地形特征紧密相关, 四川盆地多云且污染较大, 对太阳辐射的削弱作用强烈导致日照时数较低; 高原地区因其独特的地理环

境(海拔高, 污染小, 空气质量好), 晴天频现, 云雾相对较少, 导致日照时数较长。

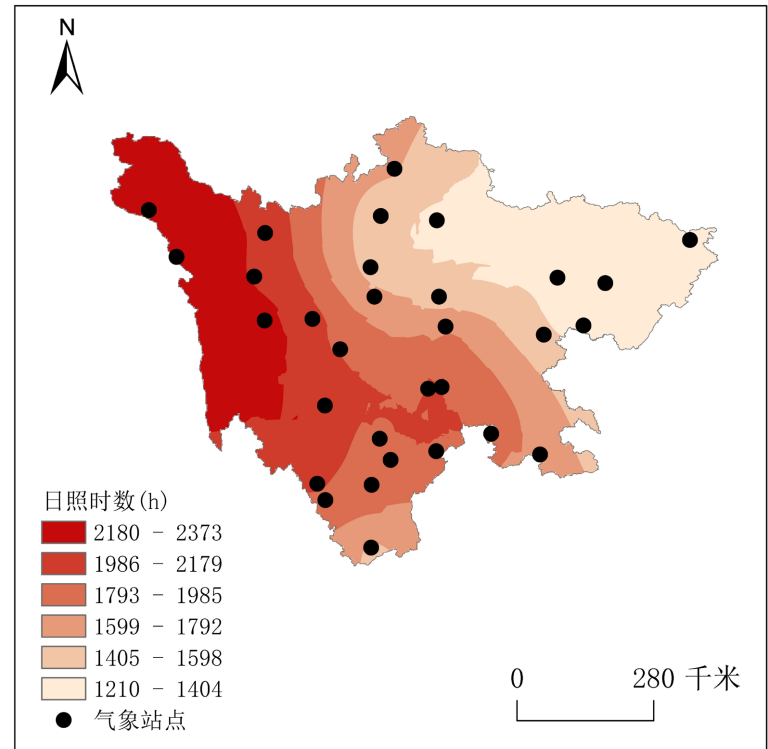


Figure 4. Spatial distribution of annual sunshine hours in Sichuan Province from 1961 to 2017

图 4. 1961~2017 年四川省年日照时数空间分布

3.3. 日照时数影响因子分析

日照时数可能受到多种气象因素的显著影响, 这些因素主要包括风速、云量、降水量、相对湿度以及气压等。这些气象条件的变化, 对于太阳辐射的吸收和散射具有不可忽视的作用。通过对 1961~2017 年四川省相对湿度、云量、降水量、平均风速、气压统计, 并与日照时数进行 Pearson 相关性分析。其结果见表 2。

1) 与相对湿度的关系

日照时数与相对湿度之间存在显著负相关关系, 这与杨小梅对西南地区日照时数影响因子的研究结果相一致[7], 且达到了 0.01 的显著性检验水平。尤其在春季和秋季, 两者的相关系数达到了最高值, 表明这两个季节内日照时数与相对湿度的关系尤为紧密。空气中的水汽通过其特有的物理作用, 如吸收、散射和反射, 能够显著削弱太阳辐射的强度, 例如当空气中的相对湿度较高时, 其削弱太阳辐射的能力也会相应增强, 从而导致日照时数呈现出减少。

2) 与云量的关系

年以及四季日照时数均与云量呈负相关关系, 其中四季均通过了显著性检验。这一结果符合云量增加导致日照时数减少的规律。有研究表明西南地区日照时数偏低与云量在该区较高密切相关[17] [18]。

3) 与降水量的关系

年以及四季日照时数均与降水量呈负相关关系, 其中春、夏、冬季通过了显著性检验。降水增多时, 云量增加, 日照时数会减少; 但有降水发生时, 雨滴会冲掉空气中的污染物颗粒, 大气能见度增加, 也

会导致日照时数有所增加。其他研究也得出类似的结论[19]。

4) 与平均风速的关系。四季以及全年的数据均显示出一种正相关趋势,与西南地区研究结果一致[7]。具体来说,春季、夏季以及全年的日照时数与风速之间的关联尤为强烈,且这种关系在 0.01 的显著性水平下得到了验证。特别是在夏季,这种正相关关系尤为显著。值得注意的是,随着风速的逐年递减,空气中的水汽和污染物难以得到充分的扩散,这一现象直接导致了近地面气溶胶浓度的显著上升。由于气溶胶的存在,大气透明度明显降低,进而影响了太阳光线在穿越大气层时的传输效率。这种衰减现象使得到达地面的太阳光线强度显著减弱,进而不足以充分感光日照记录纸。因此,这种由大气污染物和气溶胶引起的光线衰减现象,成为了导致日照时数减少的一个关键因素。

5) 与气压的关系。除了春季之外,其余三个季节以及全年的日照时数均与气压呈现出负相关关系,但并未达到显著性检验的标准。这表明,虽然气压对日照时数有一定的影响,但其影响程度并不显著。

Table 2. Coefficient between sunshine hours and meteorological elements in Sichuan Province
表 2. 四川省日照时数与气象要素的相关系数

时间	相对湿度	云量	降水量	平均风速	气压
春季	-0.510**	-0.407**	-0.311*	0.437**	0.111
夏季	-0.484**	-0.652**	-0.573**	0.490**	-0.161
秋季	-0.512**	-0.54**	-0.24	0.077	-0.134
冬季	-0.461**	-0.375*	-0.537**	0.247	-0.046
年	-0.185	-0.17	-0.173	0.469**	-0.218

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关、**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

4. 结论

1) 1961~2017 年四川省年平均日照时数整体呈显著下降趋势,空间上呈自东向西递增的分布特征;自 20 世纪 90 年代起,日照时数从相对较高的时期逐渐过渡到相对较低的时期,在 1985 年发生了突变,日照时数由偏多期突变为偏少期;日照时数变化存在 5a (第三主周期)、11a (第一主周期)和 23a (第二主周期)的周期变化特征。

2) 平均风速对日照时数影响最大,二者呈显著正相关;云量和相对湿度对日照时数的影响次之,呈显著负相关关系;降水量与日照时数呈负相关关系,但不是很显著;气压对日照时数影响较小。

参考文献

[1] 李慧群,付遵涛, 闻新宇, 等. 中国地区日照时数近 50 年来的变化特征[J]. 气候与环境研究, 2013, 18(2): 203-209.

[2] Yang, Y.H., Zhao, N., Hao, X.H. and Li, C.Q. (2008) Decreasing Trend of Sunshine Hours and Related Driving Forces in North China. *Theoretical and Applied Climatology*, **97**, 91-98. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0049-x>

[3] Stanhill, G. and Cohen, S. (2001) 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. *Agricultural and Forest Meteorology*, **107**, 255-278. [https://doi.org/10.1016/s0168-1923\(00\)00241-0](https://doi.org/10.1016/s0168-1923(00)00241-0)

[4] Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, E.G., et al. (2005) From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at Earth's Surface. *Science*, **308**, 847-850. <https://doi.org/10.1126/science.1103215>

[5] 吴桂明, 覃丰阜, 林益才, 等. 1965-2015 年广东省日照时数时空变化特征[J]. 广东气象, 2019, 41(3): 14-16.

[6] 何彬方, 冯妍, 荀尚培, 等. 安徽省 50 年日照时数的变化特征及影响因素[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1275-1285.

-
- [7] 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.
 - [8] 王富萍, 肖国杰, 蒲学敏, 等. 宜宾近 59a 日照变化特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(3): 347-351.
 - [9] 虞海燕, 刘树华, 赵娜, 等. 我国近 59 年日照时数变化特征及其与温度, 风速, 降水的关系[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 389-398.
 - [10] 王钊, 彭艳, 白爱娟, 等. 近 60 年西安日照时数变化特征及其影响因子分析[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 185-192.
 - [11] 曹丽娟. 酒泉市日照时数变化特征及对农业生产的影响分析[J]. 农业灾害研究, 2023, 13(2): 124-126.
 - [12] 胡慧敏, 吴薇, 杜冰. 四川省 1969-2018 年日照时数变化规律及未来趋势分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2023, 38(5): 610-614.
 - [13] 李金建, 秦宁生, 孙善磊, 等. 基于均一性检验的 1961 年至 2006 年四川省日照变化规律研究[J]. 资源科学, 2011, 33(5): 1002-1009.
 - [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 63-66.
 - [15] 程正兴, 杨守志, 冯晓霞. 小波分析的理论、算法、进展和应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
 - [16] 裴宇航, 孙爽, 王春丽. 黑龙江省近 50 年日照时数变化特征分析[J]. 黑龙江农业科学, 2012(8): 41-44.
 - [17] 肖风劲, 张旭光, 廖要明, 等. 中国日照时数时空变化特征及其影响分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(20): 92-100.
 - [18] 刘引鸽, 王宁练. 我国总云量时空特征及其影响因素分析[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 2014, 34(1): 45-50+58.
 - [19] 李敏. 陕西关中地区降水对变化环境的响应特征研究[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2015.