

# The Variation Characteristics of Solar Radiation in Kunming China in the Past 40 Years

Jian Liu<sup>1</sup>, Bingyun Wang<sup>1\*</sup>, Jian Wang<sup>1</sup>, Shigong Wang<sup>1</sup>, Ping Shao<sup>1</sup>, Sulin Tao<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing Jiangsu

<sup>3</sup>Technology Development Center, Nanjing Bridge Machine Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

Email: t1678117719@163.com, \*bywangcuit@163.com

Received: Aug. 23<sup>rd</sup>, 2019; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2019; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Using the Mann-Kendall mutation test, Morlet wavelet analysis, correlation analysis, linear trend regression methods, the variations of solar radiation in Kunming from China daily radiation data are analyzed during 1970~2011. The whole tendency of annual change of solar radiation in 41 years is rising, with the trend approximately  $12.924 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/\text{a}$ . The periods before 1991, the solar radiation value showed a downward trend, and after that, the solar radiation value showed a clear upward trend, which indicated that the solar radiation experienced from “darkening” to “brightening” process in Kunming. Solar radiation increased rapidly in 1991~1994 at a growth rate of  $446.38 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/\text{a}$ . The mutation of solar radiation occurs around 1981, and the amount of radiation exists in a primary period of 20 years and a sub-cycle of quasi-6 years. The conclusions are useful for the references of the solar radiation changes' trends and the utilization of clean energy in Kunming in the past 40 years.

## Keywords

Kunming, Solar Radiation, Mann-Kendall Mutation Detection Algorithm, Morlet Wavelet Algorithm, Climate Changes

# 中国昆明近40年太阳辐射变化特征分析

刘 健<sup>1</sup>, 王炳贇<sup>1\*</sup>, 王 健<sup>1</sup>, 王式功<sup>1</sup>, 邵 平<sup>1</sup>, 陶苏林<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>大气科学学院, 成都信息工程大学, 四川 成都

<sup>2</sup>南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京

<sup>3</sup>南京大桥机器有限公司技术开发中心, 江苏 南京

Email: t1678117719@163.com, \*bywangcuit@163.com

\*通讯作者。

文章引用: 刘健, 王炳贇, 王健, 王式功, 邵平, 陶苏林. 中国昆明近 40 年太阳辐射变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2019, 8(5): 619-624. DOI: 10.12677/ccrl.2019.85068

## 摘要

本文使用Mann-Kendall突变检验、Morlet小波分析、线性趋势回归等方法，对1970~2011年云南昆明(56778)中国辐射日值数据集的总辐射量中的太阳辐射变化趋势进行了分析。太阳辐射量在近40年间整体呈上升趋势，趋势系数约为 $12.9 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/\text{a}$ 。在1991年之前辐射值呈波动下降趋势，1991年之后呈明显的波动上升趋势，这说明昆明地区的太阳辐射存在先变暗后变亮过程。1991~1994年太阳辐射快速增强，增长率为 $446.38 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/\text{a}$ 。太阳辐射量突变发生在1981年左右，并且辐射量存在以准20年的主周期和准6年的次周期的周期变化。相关结论对深入了解昆明近40年来太阳辐射变化趋势和清洁能源利用有参考价值。

## 关键词

昆明，太阳总辐射，Mann-Kendall突变，小波分析，气候变化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

地球只有通过辐射过程才能与周围环境交换能量并最终达到平衡，地球的绝大多数能量来自于太阳，而地球的自热与来自太阳的辐射能相比都可以忽略不计。地球大气上界的太阳辐射照度分布和变化，与局地大气及地面能收到多少辐射能量密切相关，这是形成地球上各处气候差异的基本因素。在地球-大气系统对太阳辐射的吸收中，大气的吸收只占20%，地球表面的吸收约为50% [1]。在地球大气上界太阳辐射的中长期变化非常小，而到达地面的太阳辐射量的变化则较大，造成这种差别的主要原因是吸收和散射的不同，这与大气成分、云量、降水、气溶胶等有着密切的联系[2]。

有研究指出中国的地面总辐射与全球变化趋势一致，经历了由减少到增加的过程，即所谓的地球由变亮到变暗的过程。许建明等利用西北地区的总辐射资料研究地面太阳辐射的长期变化特征，指出从1961~2007年该地区总辐射的长期变化经历了“维持”、“变暗”、“变亮”和“回落”4个阶段[3]。齐月等对近50年来中国地面太阳辐射变化及空间分布分析指出，大约是在1960~1990年呈下降趋势，在1990年前后各地的太阳总辐射开始逐渐上升[4]。YANG等对中国总辐射变化趋势做了研究，云南、高原、西北地区的太阳辐射变化也呈现出了先下降后上升的趋势[5]。杨娟等分析贵阳市太阳总辐射变化特征指出1961~1986年总辐射呈明显下降趋势，之后发生逆转，1986~2015年总辐射呈显著上升趋势，总体呈现变暗-变亮的趋势[6]。但也有不一样的研究观点。陶苏林等采用DSRM-C模型与气象资料估算我国各地区逐日总辐射结果显示，我国1981~2014年太阳总辐射量呈总体下降趋势。华北、东北和西南地区总辐射量显著下降，西北地区辐射量明显增加，华南地区则无明显变化[7]。陈中钰等对四川省太阳辐射分析发现川西高原年总辐射随时间呈先下降后趋于平稳的变化特征，攀西地区年总辐射随时间的变化是先下降后上升，四川盆地总辐射变化不大，有缓慢下降趋势。20世纪70年代四川大部分地区太阳总辐射是正距平，在此之后基本是负距平[8]。

在全球气候变化的背景条件下, 研究到达地表太阳总辐射量的变化特征趋势, 不仅有助于了解区域气候变化的规律, 还可以通过辐射的变化状况间接推断该地区大气气象要素的变化特点, 为科学研究提供依据。针对以上研究现状, 对于处在云贵高原上的“春城”昆明的太阳辐射是怎么变化的需要进一步分析。因此, 本文试图通过对昆明该区 1970~2011 年太阳辐射的分析, 阐明昆明地区太阳总辐射的时间变化特征及其变化可能的影响因素。

## 2. 数据资料和研究方法

### 2.1. 研究区域概况和数据资料

云南省昆明市位于云南省东北部, 处云贵高原中部, 享“春城”之美誉, 北亚热带低纬高原山地季风气候。年平均气温 16.5℃, 昆明全年降水量约 1031 毫米。降水分为干、湿两季。5~10 月为雨季, 降水量占全年的 85%左右; 11 月至次年 4 月为干季, 降水量仅占全年的 15%左右。在控制数据质量的情况下, 择优选取 1970~2011 年云南省昆明站的辐射日值数据, 本文主要使用昆明站逐日总辐射量数据。

### 2.2. 研究方法

本文采用非参数统计检验方法的 M-K 突变检验对太阳辐射进行突变检验, 采用 Morlet 小波周期分析对太阳辐射进行周期变化分析, 同时还采用了线性回归进行线性拟合趋势变化分析[9][10][11]。

## 3. 结果分析

### 3.1. 年变化特征

由昆明 1970~2011 年的太阳辐射量年变化和趋势图(图 1)可知, 该地区近 41 年期间太阳辐射总体呈上升趋势, 年总辐射量的增长率为  $129.24 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$ 。太阳总辐射量在 1974 年为相对最低值  $4730.94 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 在 1994 年为相对最高值  $6152.56 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。这与刘瑜等的研究昆明地区 46 年的平均温度呈上升趋势, 太阳辐射的上升将导致昆明地区的温度上升相一致[12]。1974~1984 年期间太阳总辐射为波动增大, 之后至 1991 年波动减小, 达到 41 年间的次低值  $4813.42 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。1981~1999 年期间太阳总辐射波动较大, 其中 1991 至 1994 年为太阳总辐射快速增强期, 增长率为  $446.38 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/\text{a}$ , 1994 年太阳总辐射值为  $6152.56 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。并且, 总辐射量在 1991 年之后先快速上升后波动维持较高辐射量, 这与全国太阳辐射的变化趋势一致, 在 1990 年前后, 太阳辐射存在翻转现象, 也就是太阳辐射由“变暗”到“变亮”的过程[3][4][5][6]。

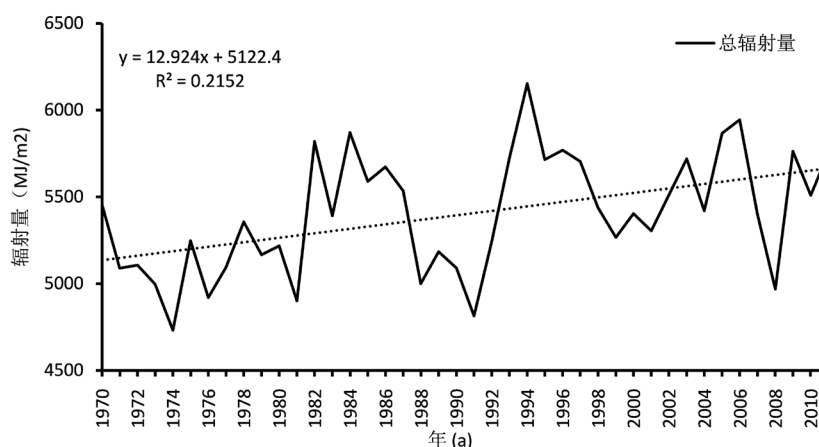


Figure 1. Annual changes and trend of total solar radiation in Kunming, Yunnan  
图 1. 云南昆明太阳总辐射的年际变化和趋势

### 3.2. 季节变化特征

由 1970~2011 年期间四季太阳总辐射年际变化图(图 2)和逐月变化图(图 3)可以看出, 昆明地区太阳总辐射的季节差异非常明显, 春季最高, 秋季最低, 夏季和冬季次之, 这种变化的主要原因可能是该地区日照时数和阴雨天气的共同影响有关。春夏秋冬四季总辐射的增长率分别为  $21.0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$ ,  $48.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$ ,  $44.6 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$  和  $15.5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$ 。夏季和秋季的增长率相对较快。春季总辐射在 1987 年达到最大值  $2040.1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 在 1990 年达到最小值  $1440.38 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。夏季总辐射在 2011 年达到最大值  $1664.2 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 在 1974 年达到最小值  $940.39 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 秋季总辐射在 2009 年达到最大值  $1368.24 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 在 1988 年达到最小值  $795.85 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ; 冬季总辐射在 2005 年达到最大值  $1483.28 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 在 2008 年达到最小值  $1031.56 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

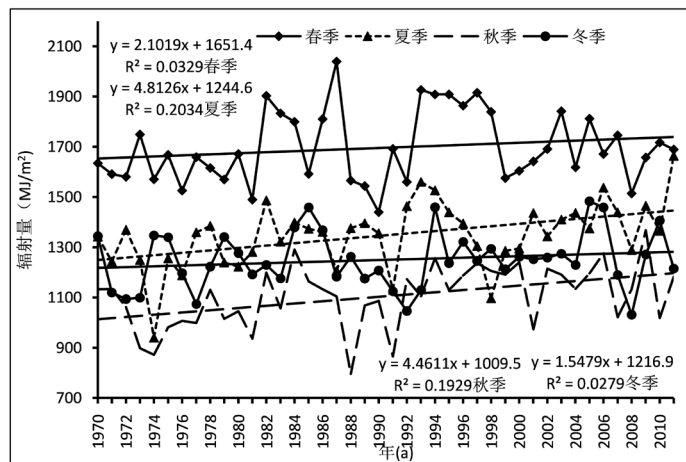


Figure 2. Annual changes and trends of total solar radiation in four seasons in Kunming, Yunnan  
图 2. 云南昆明太阳总辐射四季年际变化和趋势

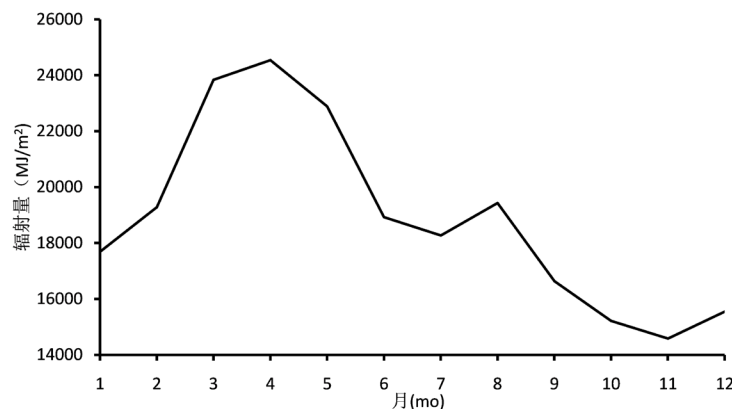


Figure 3. Monthly changes of total solar radiation in Kunming, Yunnan  
图 3. 云南昆明太阳总辐射逐月变化

### 3.3. 突变检验

由图 4 太阳总辐射的 M-K 突变检验可知, 在 1970 年~1978 年期间 UB 线在超过 1.96 的信度检验且 UF 线为负值, 说明此期间总辐射呈下降趋势。1978 年之后呈上升趋势, 在 1994 年之后总辐射上升趋势显著。根据 UB 和 UF 曲线交点的位置, 确定昆明的总辐射在 1981 年发生突变, 上升是一种突变现象,

从图 1 太阳辐射变化趋势图上可以看出 1981 年之前总辐射量呈相对规律的趋势变化, 在 1981 年, 总辐射量开始显著上升, 在之后的 10 年波动下降为主, 1991 年之后呈现波动上升趋势, 1994 年之后, 总辐射呈显著上升趋势, 总辐射的上升表明昆明地区的气温在呈现一定的上升趋势。

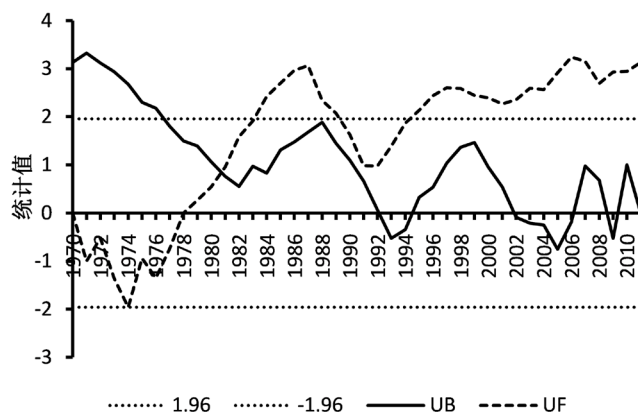


Figure 4. Mann-Kendall mutation detection of total solar radiation in Kunming, Yunnan  
图 4. 云南昆明太阳总辐射的突变检验

### 3.4. 周期性分析

为了进一步识别太阳总辐射时间序列的周期成分及其在时域上的分布, 利用 Morlet 小波对昆明地区 1970~2011 年的太阳总辐射数据做周期变化分析(图 5)。由图可知, 小波系数实部等值线上半部分等值线比下半部分等值线稀疏, 表明上半部分为较长尺度的时间周期振荡, 下半部分为较短时间的周期振荡, 在 3~8 年时间尺度上、10~30 年这两个时间尺度的波动十分明显, 正负位相交替出现。并且小波系数的等值线在 10~30 年周期上未闭合, 说明 2011 年昆明地区总辐射可能存在上升趋势。由昆明地区的小波方差可知, 总辐射变化具有准 6a 和准 20a 主周期。说明在该地区太阳的总辐射在近 41 年来, 第一主周期约为 20a, 第二主周期约为 6a。

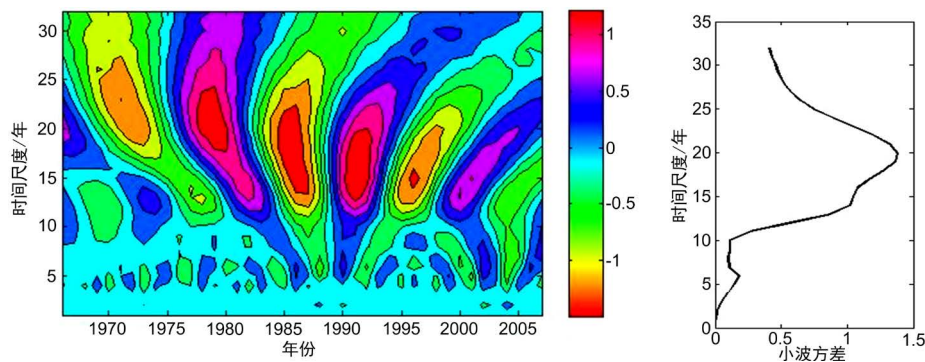


Figure 5. Real contour map (left) and wave-wave variance chart (right) of total solar radiation wavelet coefficient in Kunming, Yunnan

图 5. 云南昆明太阳总辐射小波系数实部等值线图(左)和小波方差图(右)

## 4. 结论

本文利用云南省昆明地区 1970~2011 年的太阳辐射资料分析了昆明地区太阳总辐射年代际变化, 得出如下结论:

1) 近 40 年来昆明的太阳总辐射呈波动上升趋势。在 1990 年之前, 太阳辐射呈下降趋势, 1990 年之后, 太阳辐射呈上升趋势, 这与全国的太阳辐射趋势变化特征一致。总辐射量的增长率为  $129.24 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}/10\text{a}$ , 总辐射的增长率变化最大; 总辐射在 1980 年发生突变现象, 存在以准 20a 的主振荡周期和准 6a 的次周期。

2) 在总辐射的季节性变化中, 发现春季总辐射量最大, 秋季总辐射量最小, 夏季总辐射大于冬季总辐射。夏季、秋季总辐射量在 1990 年之后存在显著的波动上升趋势, 总辐射最大值出现在春季的 4 月份, 夏季的 8 月份; 最小值出现在秋季 11 月。

## 基金项目

国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(91644226)和面上项目(41775147), 国家电网有限公司科技项目资助(521999180006), 四川省雅安市科技局 2019 年度科技计划项目(2019yyjskf02)共同资助。

## 参考文献

- [1] 申彦波, 赵宗慈, 石广玉. 地面太阳辐射的变化、影响因子及其可能的气候效应最新研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 915-923.
- [2] Hu, B., Wang, Y.S. and Liu, G.R. (2008) Influences of the Clearness Index on UV Solar Radiation for Two Locations in the Tibetan Plateau-Lhasa and Haibei. *Advances in Atmospheric Sciences*, **5**, 885-896.  
<https://doi.org/10.1007/s00376-008-0885-8>
- [3] 许建明, 何金海, 阎凤霞. 1961~2007 年西北地区地面太阳辐射长期变化特征研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(1): 89-96.
- [4] 齐月, 房世波, 周文佐. 近 50 年来中国地面太阳辐射变化及其空间分布[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7444-7453.
- [5] Yang, S.P., Wang, K.L. and Lu, S.H. (2007) Regional Characteristics of Global Solar Radiation Evolution in China over Recent 40 Years. *Acta Energiae Solaris Sinica*, **28**, 227-232.
- [6] 杨娟, 吴战平, 白慧, 陈娟. 1961~2015 年贵阳市太阳辐射观测研究及变化特征分析[J]. 贵州科学, 2017, 35(1): 48-54.
- [7] 陶苏林, 戚易明, 申双和, 李雨鸿, 周寅. 中国 1981-2014 年太阳总辐射的时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(11): 143-147.
- [8] 陈中钰, 吕结. 近 44 年四川太阳辐射时空变化特征[J]. 高原山地气象研究, 2018, 38(3): 56-60.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [10] 郑有飞, 尹焰寅, 吴荣军, 刘建军. 1960~2005 年京津冀地区地表太阳辐射变化及成因分析[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 436-445.
- [11] 占腊生, 何娟美, 叶艺林, 赵海娟. 太阳活动周期的小波分析[J]. 天文学报, 2006, 47(2): 166-174.
- [12] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 周建琴, 琚建华. 云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(1): 39-44+63.