

# 1960 年以来长江流域太阳总辐射的时空变化

刘长坤<sup>1</sup> 王艳君<sup>1</sup> 郭媛<sup>1</sup>

## 摘要

基于长江流域 147 个站点的气象数据,利用气候学计算方法估算 1960 年以来的太阳总辐射数据,运用线性回归和相关分析等方法,探讨 1960 年以来太阳总辐射在长江流域的时空变化特征,并分析太阳总辐射的影响因子。结果表明:太阳总辐射在整个长江流域(除去上游源头区金沙江流域)自东向西递减,且上游地区变化波动大,中下游地区下降趋势显著;自 1960 年以来太阳总辐射在长江流域呈现下降趋势,1990 年以后开始呈现上升趋势;近 50 a 来太阳总辐射的减少趋势与云量和大气水汽含量没有显著相关性。

## 关键词

太阳总辐射; 时空分析; 云量; 水汽含量; 长江流域

中图分类号 P422

文献标志码 A

收稿日期 2011-06-07

资助项目 国家自然科学基金(40701028); 山东省水资源与水环境重点实验室开放基金(WRISD0901)

作者简介

刘长坤,男,硕士生,研究方向为气候变化对水资源的影响。liuchangkunair@163.com

王艳君(通信作者),女,博士,副教授,主要研究方向为气候变化对水资源的影响。

yjwang78@163.com

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 遥感学院 南京 210044

## 0 引言

太阳辐射是地球-大气系统最重要的能量来源,也是产生大气运动的主要动力。大气和地面接收到的太阳辐射能,对大气加热和对流、地面热状况及生物生长、人类活动、太阳能利用等都有巨大的影响,它从根本上决定着地球-大气的热状况。近年来,气候变化日益成为全世界普遍关注的问题,因此对太阳辐射的研究越来越受到国内外研究者的重视。Wild 等<sup>[1]</sup>的研究表明,近几十年地球表面已经从过去的“变暗(dimming)”转变为“变亮(brightening)”,从 20 世纪 80 年代末到 90 年代初,全球许多地区的地面太阳辐射停止了自 1950 年以来的下降趋势,开始增加。自 20 世纪 60 年代起,翁笃鸣<sup>[2]</sup>就开始研究适合我国直接辐射的计算方法,近来有不少学者<sup>[3-7]</sup>对太阳总辐射的气候变化进行过研究,所得出的结论与文献[1]一致。

本文选择长江流域作为研究区域,利用气候学计算方法估算太阳总辐射,并对辐射数据进行时空分析,探究近 50 a 来太阳总辐射在长江流域的分布特征及其变化趋势,并分析了云量和水汽含量对太阳总辐射的影响。长江是我国第一、世界第三大河,流域总面积 180 万 km<sup>2</sup>。长江流域既是我国社会经济高度发达的地区之一,又是气候灾害频发区。在全球气候变化的区域响应研究已经成为国际上科学界的热点的背景下,对于长江流域气候变化的研究也显得越来越重要。研究太阳总辐射的时空变化规律,不仅有助于了解区域气候变化规律,还可以间接推断该流域的大气组成及其变化,从而为研究长江流域气候变化提供更好的依据和手段。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料与来源

本研究采用了中国气象局提供的地面观测数据资料,包括长江流域 147 个站点的 1960—2007 年的日照时数(单位:0.1 h),总云量(单位:0.1 成),低云(单位:0.1 成)相对湿度(单位:1%)数据。对于数据集中出现的缺测数据进行剔除和插补,其中对于连续缺测 5 d 以上的数据进行剔除,其他的不连续或少于连续 5 d 的缺测数据采用缺测值相邻点的非缺测值的均数做代替。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 太阳总辐射的估算方法

利用中国气象局提供的观测数据来进行太阳总辐射的估算. 目前, 国内外太阳总辐射的气候学计算方法可归纳为

$$Q = Q_0 f(s, n),$$

$$Q = Q_1 f(s, n),$$

$$Q = Q_2 f(s, n).$$

其中:  $Q$  为地表接受到的太阳总辐射;  $Q_0$ 、 $Q_1$ 、 $Q_2$  分别为天文总辐射、晴天大气总辐射、理想大气总辐射;  $f(s, n)$  是以日照百分率  $s$  和总云量  $n$  表示的天空遮蔽度函数. 文献 [8] 研究表明: 使用晴天大气总辐射、理想大气总辐射或天文总辐射作为计算太阳总辐射的基数值, 其计算效果基本无差别; 用日照百分率  $f(s)$  表示天空遮蔽度函数比用云量  $f(n)$  效果好; 用双因子  $f(s, n)$  表示天空遮蔽度函数比单因子  $f(s)$  略好, 但相差不大. 考虑到天文总辐射可直接用公式计算, 本着简便实用的原则, 本文采用世界粮农组织 (FAO) 给出的方程估算太阳总辐射:

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a.$$

$R_s$  为太阳总辐射,  $n$  为日照时数,  $N$  为可能的最大日照时数, 经验系数  $a = 0.15$  和  $b = 0.5$ ,  $R_a$  为天文总辐射, 计算方法见文献 [8-10].

#### 1.2.2 分析方法

通过线性回归法<sup>[11-12]</sup> 分析研究太阳总辐射的变化趋势, 建立太阳总辐射 ( $y$ ) 与时间序列 ( $x$ , 年份)

的一元线性回归方程  $y = a + bx$ , 方程斜率  $b$  即为倾向率.  $b > 0$  和  $b < 0$  分别表示太阳总辐射随时间增加或减少.

通过计算 2 组气象要素间的 Pearson 相关系数, 来度量气象要素之间的相关性<sup>[13]</sup>. 相关分析和回归分析采用 SPSS 统计软件.

## 2 太阳总辐射的空间变化分析

长江流域各站点太阳总辐射年平均值在 2 968.09 ~ 5 395.03  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  之间变化. 上游地区太阳总辐射年平均值为 3 992.23  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , 中下游地区为 4 018.42  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ . 由图 1 可以看出整个长江流域的太阳总辐射年平均值的分布情况. 上游地区较中下游地区的辐射值变化波动大, 其中 4 621.60 ~ 5 395.03  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  的数值区域仅出现在上游地区. 从整个长江流域来看, 除去上游源头区金沙江流域, 自东向西递减, 上游源头是高值区域, 而四川盆地为低值区域, 这与文献 [14] 的结论一致.

图 2 给出的是整个长江流域太阳总辐射年平均变化倾向率的空间分布状况. 从整体来看, 长江流域太阳总辐射表现为显著下降的趋势, 中下游的下降趋势比上游地区明显, 上游源头区金沙江流域太阳总辐射有增加的趋势. 通过图 2 也可以看出, 除上游源头区金沙江流域外, 上游和中下游的个别站点太阳总辐射也呈现出上升的趋势, 如梁平、武都、镇安、邵阳、吕泗等. 其中会泽、梁平和托托河通过了 0.01 显著性检验.

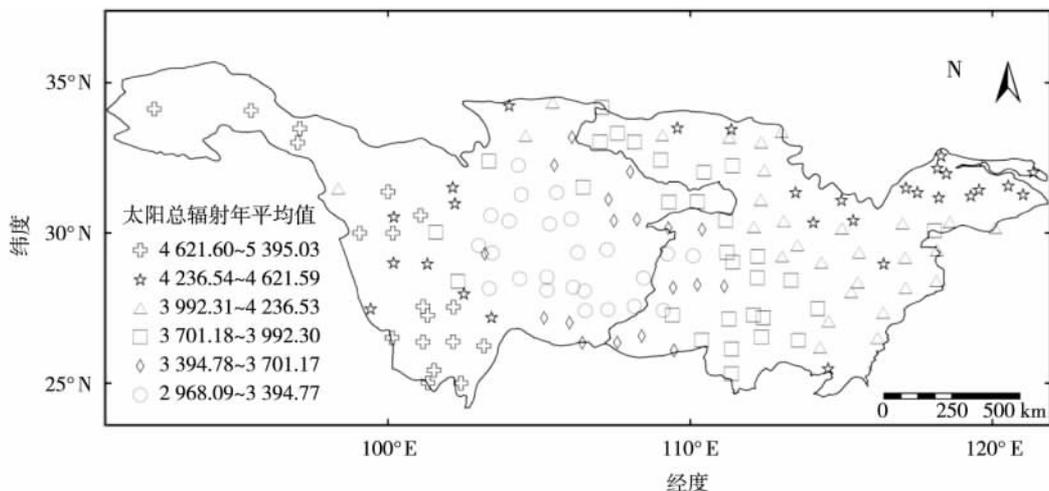


图 1 长江流域太阳总辐射年平均值空间分布(单位:  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )

Fig. 1 Spatial distribution of mean annual solar radiation over the Yangtze River basin( units:  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )

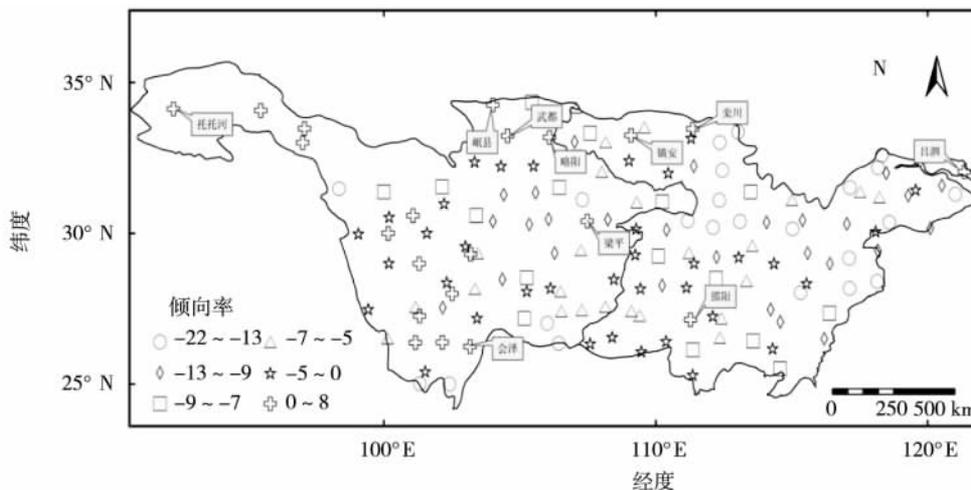


图2 长江流域太阳总辐射年平均值变化倾向率的空间分布(单位:  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

Fig. 2 Spatial distribution for change rate of mean annual solar radiation over the Yangtze River basin (units:  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

### 3 太阳总辐射的时间变化分析

#### 3.1 太阳总辐射的年际变化

图3是长江各区域1960—2007年太阳总辐射年平均值变化趋势。由图3可知,自1960年以来,不管是上游、中下游,还是整个长江流域的太阳总辐射年平均值在总体上都呈现出下降的趋势,1990年以后各个区域太阳总辐射有所回升。进一步对长江流域1960年以来的太阳总辐射进行线性回归分析,结果见表1。由表1可知,在1960—2007年和1960—1989年间,上、中下游和整个流域均呈现显著的下降趋势,通过了0.01显著性检验,其中中下游地区的下降趋势最为明显。在进入全球变亮的1990年以来,变化趋势不显著(未通过显著性检验),1990年以后中下游下降趋势变平缓,上游和整个的长江流域出现微弱上升趋势。这一变化与Wild等<sup>[1]</sup>提出的全球变暗和全球变亮的时间段吻合,与文献[3-7]对中国太阳辐射的研究分析所得出的结论一致。从长江流域1960—2007年的变化幅度来看,整个长江流域的下降趋势为 $-6.681 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (约 $-2.1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/(10 \text{ a})$ ),比Che等<sup>[7]</sup>研究得到中国1960—2000太阳总辐射 $-4.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/(10 \text{ a})$ 的下降趋势略小,很可能是由于时间序列和研究区域的不同造成的,因为2001—2007年是太阳总辐射增加的时间段,而文献[7]在这一时间段的缺失势必会导致整个时间序列下降趋势的增大。

#### 3.2 太阳总辐射的年内变化

图4是长江流域太阳总辐射的月际变化。由图4

可以看出,上游的太阳总辐射在1 a内的变化呈现双峰趋势,其中5月有个高值的出现,6月略有下降,7月出现最大值。上游地区冬、春季太阳总辐射高于中下游地区,夏、秋季则正好相反,而中下游则呈现单峰趋势,仅仅7月出现高值。整个长江流域地区的太阳总辐射年内变化趋势与中下游大体相似,7月达到最大值。

表1 长江流域太阳总辐射年平均值变化的倾向率

Table 1 Temporal tendency of mean annual solar radiation over the Yangtze River basin  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$

区域	1960—1989年	1990—2007年	1960—2007年
长江上游	-5.471**	4.571	-4.958**
长江中下游	-13.623**	-1.906	-8.454**
长江流域	-9.907**	1.046	-6.681**

注: \*\*表示通过0.01的显著性检验。

表2给出了长江流域和上、中下游区域太阳总辐射各月和季节平均值变化的倾向率。表2的数据表明:整个长江流域,上游和中下游区域的太阳总辐射在夏季和冬季均出现显著的下降趋势,春秋季节下降趋势不明显,夏季的下降趋势最为明显,且通过了0.01的显著性检验。从各月的太阳总辐射变化来看,整个长江流域夏季的下降归因于6、7、8月的显著下降,而冬季的下降则主要归因于1月明显的下降趋势,春秋各月的下降趋势均不明显。

### 4 太阳总辐射变化的影响因子分析

到达地面的太阳总辐射受到大气成分、云量、大

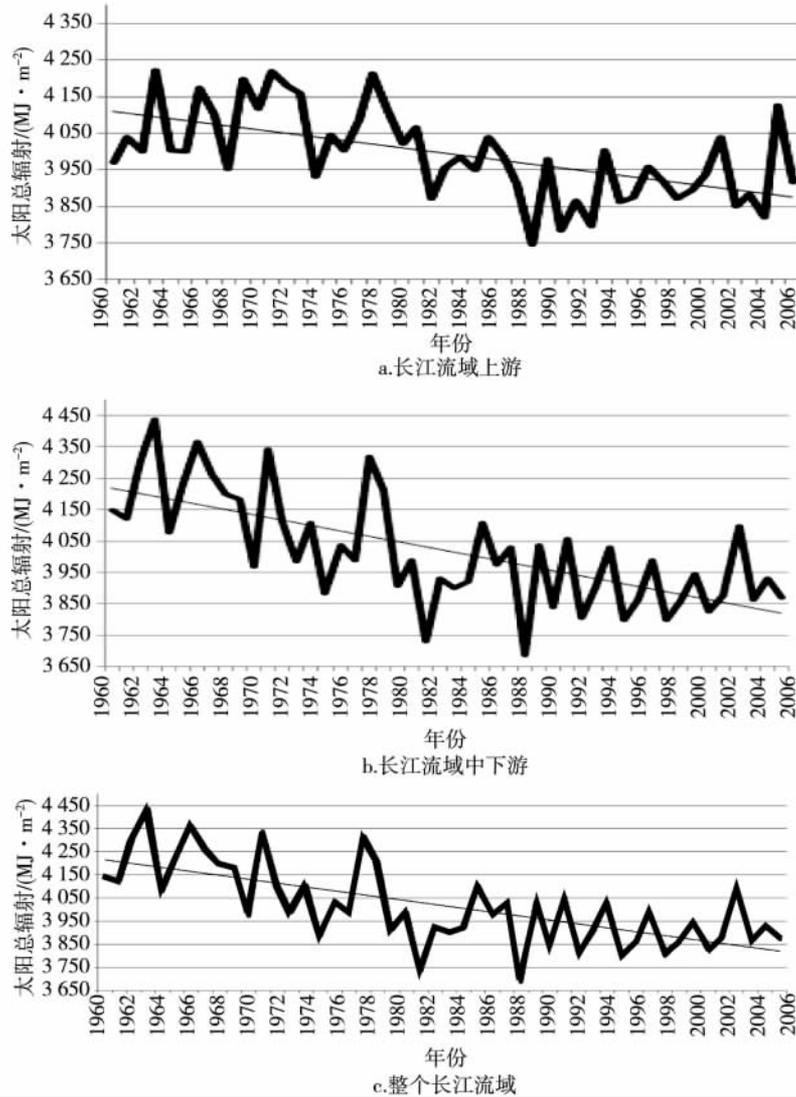


图3 1960—2007 长江流域上游、中下游和整个长江流域太阳总辐射年平均值的线性变化趋势

Fig. 3 Linear trend of mean annual solar radiation over the up reaches ( a ) and mid-lower reaches ( b ) of the Yangtze River basin and the whole Yangtze River basin ( c )

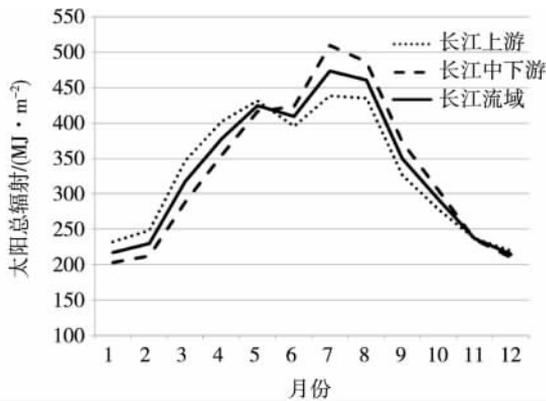


图4 长江流域太阳总辐射的月际变化

Fig. 4 Monthly changes of global solar radiation over the Yangtze River basin

气中水汽含量及大气悬浮物含量等多种因素的影响. 由于数据原因, 本文着重分析了云量和水汽含量对太阳总辐射的影响.

#### 4.1 云量对太阳总辐射的影响

大气中的云层能够通过直接反射太阳的短波辐射导致太阳辐射的下降<sup>[15]</sup>, 因此, 云量的减少(增加)会导致太阳辐射的增加(减少)<sup>[16-20]</sup>. 通过表 3 云量与太阳总辐射的相关性分析可以看出 1960—2007 年云量的变化趋势, 不管是总云量还是低云量, 与太阳总辐射都呈现出显著的负相关性. 1960—2007 年太阳总辐射呈现出下降的趋势, 而表 4 中云量也呈现出下降的趋势, 与负相关性显然矛盾. 因此, 云量并非是 1960—2007 年太阳总辐射减

表 2 太阳总辐射月份和季节平均值的倾向率

Table 2 Temporal tendency of monthly and seasonal average global solar radiation

$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

区域	春季	3月	4月	5月	夏季	6月	7月	8月
长江上游	-0.187	-0.489	-0.163	-0.169	-2.774**	-0.527	-1.025**	-1.235*
长江中下游	-0.123	-0.456	0.327	-0.007	-5.241**	-1.274**	-1.778**	-2.387**
长江流域	-0.470	-0.472	0.082	-0.088	-4.098**	-0.900**	-1.402**	-1.811**
区域	秋季	9月	10月	11月	冬季	12月	1月	2月
长江上游	-0.624	-0.256	-0.308	-0.062	-0.744**	0.227	-0.375**	-0.151
长江中下游	-0.848	-0.489	-0.451	0.078	-2.031**	-0.469	-0.988**	-0.580
长江流域	-0.741	-0.373	-0.380	0.008	-1.387**	-0.348	-0.681**	-0.366

注: \*\*表示通过 0.01 的显著性检验; \* 表示通过 0.05 的显著性检验.

表 3 云量与太阳总辐射的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between global solar radiation and cloud cover

区域	1960—2007 年		1960—1989 年		1990—2007 年	
	总云量	低云	总云量	低云	总云量	低云
长江上游	-0.071	-0.050	-0.322	-0.331	-0.805**	-0.584*
长江中下游	-0.280	-0.161	-0.555**	-0.605**	-0.607**	-0.575*
长江流域	-0.101	-0.018	-0.515**	-0.454*	-0.528*	-0.631**

注: \*\*表示通过 0.01 的显著性检验; \* 表示通过 0.05 的显著性检验.

表 4 云量的倾向率

Table 4 Temporal tendency of cloud cover

$\% \cdot \text{a}^{-1}$

区域	1960—2007 年		1960—1989 年		1990—2007 年	
	总云量	低云	总云量	低云	总云量	低云
长江上游	-0.078**	-0.068**	-0.041	-0.076	-0.075	0.165
长江中下游	-0.068**	-0.099**	-0.023	-0.045	0.020	-0.106
长江流域	-0.072**	-0.085**	-0.031	-0.059	-0.024	0.011

注: \*\*表示通过 0.01 的显著性检验.

少的主要因子. 这与对中国东南部<sup>[21]</sup>、鄂尔多斯<sup>[22]</sup>、海河流域<sup>[23]</sup>等地分析太阳辐射与气候因子的关系后得出的云量的变化并不是导致这些地区太阳辐射发生变化的主要原因相符.

由于 1990 年以后的长江流域太阳总辐射变化趋势发生改变, 因此, 对云量和太阳总辐射的相关性分析, 也分为 1960—1989 年和 1990—2007 年 2 个时间段. 由表 3 可以看出 1960—1990 年的太阳总辐射在整个长江流域和中下游地区与云量呈现显著的负相关, 而上游地区相关性不显著. 1990—2007 年不论是上、中下游地区还是从整个长江流域来看, 均呈现显著的负相关.

由表 4 可知, 1960—1989 年间, 云量的变化与之前分析中得到的太阳总辐射一样, 也呈下降趋势, 显然与表 3 得出的两者显著负相关矛盾, 说明在这一时期, 云量不是影响太阳总辐射变化的主要因素, 这

与李晓文等<sup>[3]</sup>在分析 1990 年以前的中国太阳辐射变化规律时, 得出排除云量的影响并不能改变辐射变化趋势的结论一致.

表 4 中 1990—2007 年总云量在上游和整个长江流域呈现不显著的减小趋势, 在中下游地区出现上升的现象. 表 1 中太阳总辐射在 1990—2007 年的年际变化趋势为上游和整个长江流域呈现不显著增多的趋势, 中下游则是减少趋势. 这与该时段总云量与太阳辐射呈现出显著负相关性(上游, 中下游和整个长江流域分别通过了 0.01, 0.01 和 0.05 的显著性水平检验)相吻合, 因此, 1990 年以后太阳总辐射的变化可能受到总云量的影响.

#### 4.2 水汽含量对太阳总辐射的影响

相对湿度表示在一定温度条件下, 空气中的水蒸气含量距离该温度条件下饱和水蒸气量的程度. 相对湿度愈大, 空气越潮湿; 反之, 则越干燥<sup>[24]</sup>. 水

汽是大气中吸收太阳辐射的主要物质之一<sup>[25]</sup>,因此,表征水汽含量高低的相对湿度是影响太阳总辐射变化重要的气候因子之一。通过对 1960—2007 年相对湿度和太阳辐射进行相关性分析,得出两者呈现出负相关性(其相关系数分别为:上游  $-0.404^{**}$ ;中下游  $-0.314^{**}$ ;整个长江流域  $-0.279^{**}$ 。表示通过 0.01 的显著性检验.)。

表 5 是 1960—2007 年长江流域相对湿度的倾向率。由表 5 得出近 50 a 来,长江流域的相对湿度呈现轻微的下降趋势,其中 1960—1989 年呈现缓慢的上升趋势,1990 年以后相对湿度的下降趋势显著。与表 1 的太阳总辐射倾向率进行对照,1960—1989 年,太阳总辐射下降显著,相对湿度上升微弱;1990—2007 年,太阳总辐射微弱上升(中下游下降)相对湿度下降显著。这两时间段内,太阳总辐射与相对湿度都呈现出负相关性,其可能是导致太阳辐射变化的原因之一,但在其变化程度上表现出的不一致则反映了相对湿度不是影响太阳辐射变化的最主要因子。而 1960—2007 年相对湿度和太阳辐射均呈下降趋势,说明水汽含量并非近 50 a 来长江流域太阳辐射下降的主要影响因子。

表 5 相对湿度的倾向率

区域	1960—1989 年	1990—2007 年	1960—2007 年
长江上游	0.010	$-0.252^{**}$	$-0.016$
长江中下游	0.001	$-0.216^{**}$	$-0.036^*$
长江流域	0.004	$-0.030^{**}$	$-0.027^*$

注: \*\*表示通过 0.01 的显著性检验; \* 表示通过 0.05 的显著性检验。

综上所述,云量和水汽含量均不是近 50 a 来长江流域太阳总辐射变化的主要影响因子。文献[26—30]认为太阳辐射的下降主要由气溶胶的减少所致。但气溶胶的变化是否是长江流域太阳辐射变化的主要原因,尚需进一步的研究。

## 5 结论

本文通过对 1960 年以来长江流域太阳总辐射时空变化分析得出以下结论。

1) 太阳总辐射在长江流域的空间分布上,除去长江源头区金沙江流域,自东向西逐渐递减,上游源头是高值区域,低值区在四川盆地。

2) 1960 年以来,长江流域的太阳总辐射总体上呈现递减的趋势,中下游地区的下降趋势比上游地

区显著。1960—1989 下降趋势明显,1990 年以后则略有回升。对于太阳辐射年内的变化,从近 50 a 来的四季变化来看,夏冬下降的趋势明显;从月际变化来看,长江流域的上游和中下游分别呈现出双峰和单峰 2 种不同的趋势,其中 7 月均为最大值,上游地区 5 月出现高值,而整个长江流域属于单峰型。

3) 作为影响太阳总辐射的因子——云量和水汽含量,通过其与太阳总辐射的相关性分析和从其自身的年际变化趋势来看,1960—2007 年不管是云量还是水汽含量,对太阳总辐射的下降趋势没有影响,但 1990 年以后,云量和水汽含量都对太阳总辐射的变化有一定的影响。

## 参考文献

### References

- [1] Wild M, Ohmura A, Makowski K. Impact of global dimming and brightening on global warming [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34: L047024. Doi: 10.1029/2006GL028031
- [2] 翁笃鸣. 试论总辐射的气候学计算方法 [J]. *气象学报*, 1964, 34(3): 304-315  
WENG Duming. The climatology calculation of global solar radiation [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1964, 34(3): 304-315
- [3] 李晓文, 李维亮, 周秀骥. 中国近 30 年太阳辐射状况研究 [J]. *应用气象学报*, 1998, 9(1): 24-31  
LI Xiaowen, LI Weiliang, ZHOU Xiujie. Analysis of the solar radiation variation of China in recent 30 years [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1998, 9(1): 24-31
- [4] 赵东, 罗勇, 高歌, 等. 我国近 50 年来太阳直接辐射资源基本特征及其变化 [J]. *太阳能学报*, 2009, 30(7): 946-952  
ZHAO Dong, LUO Yong, GAO Ge, et al. Essential characteristic of solar direct radiation over recent 50 years in China [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2009, 30(7): 946-952
- [5] 王雅婕, 黄耀, 张稳. 1961—2003 年中国大陆地表太阳总辐射变化趋势 [J]. *气候与环境研究*, 2009, 14(4): 405-413  
WANG Yajie, HUANG Yao, ZHANG Wen. Changes in surface solar radiation in mainland China over the period from 1961 to 2003 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2009, 14(4): 405-413
- [6] 文小航, 尚可政, 王式功, 等. 1961—2000 年中国太阳辐射区域特征的初步研究 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28(3): 554-561  
WENG Xiaohang, SHANG Kezheng, WANG Shigong, et al. Primary study on regional characteristics of solar radiation in China during 1961—2000 [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 554-561
- [7] Che H Z, Shi G Y, Zhang X Y, et al. Analysis of 40 years of solar radiation data from China, 1961—2000 [J]. *Geo-*

- physical Research Letters ,2005 ,32: L06803. Doi: 10.1029/2004GL022322
- [ 8 ] 杜尧东,毛慧琴,刘爱君,等. 广东省太阳总辐射的气候学计算及其分布特征[J]. 资源科学 2003 25(6): 66-70  
DU Yaodong, MAO Huiqin, LIU Aijun, et al. The climatological calculation and distributive character of global solar radiation in Guangdong province [J]. Resources Science 2003 25(6): 66-70
- [ 9 ] 王建源,冯建设,袁爱民. 山东省太阳辐射的计算及其分布[J]. 气象科技 2006 34(1): 98-101  
WANG Jianyuan, FENG Jianshe, YUAN Aimin. Calculation and distributive characteristics of solar radiation in Shandong province [J]. Meteorological Science and Technology 2006 34(1): 98-101
- [10] 鞠晓慧,屠其璞,李庆祥. 我国太阳总辐射气候学计算方法的再讨论[J]. 南京气象学院学报 2005 28(4): 516-521  
JU Xiaohui, TU Qipu, LI Qingxiang. Discussion on the climatological calculation of solar radiation [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology 2005 28(4): 516-521
- [11] 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  
WEI Fengying. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M]. 2rd Ed. Beijing: China Meteorological Press 2007
- [12] 陈少勇,董安祥,王丽萍. 中国西北地区总云量的气候变化特征[J]. 成都信息工程学院学报 2006 21(3): 423-428  
CHEN Shaoyong, DONG Anxiang, WANG Liping. Climate change features of total cloud cover over Northwest China [J]. Journal of Chengdu University of Information Technology 2006 21(3): 423-428
- [13] 翁笃鸣. 中国辐射气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 111-123  
WENG Duming. Radiation climate in China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1997: 111-123
- [14] 吴其重,王自发,崔应杰. 我国近20年太阳辐射时空分布状况模式评估[J]. 应用气象学报 2010 21(3): 343-351  
WU Qizhong, WANG Zifa, CUI Yingjie. Evaluating the solar radiation resources of China in recent 20 years by meteorological model [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology 2010 21(3): 343-351
- [15] Ramanathan V, Cess R D, Harrison E F, et al. Cloud-radiative forcing and climate: Results from the Earth Radiation Budget Experiment [J]. Science, 1989, 243(4887): 57-63
- [16] 陈志华. 1957—2000年中国地面太阳辐射状况的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院 2005  
CHEN Zhihua. Study on surface solar radiation during 1957—2000 over China [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences 2005
- [17] 施红,许建明,李成才. 华南地面太阳辐射状况及其转折特征分析[J]. 热带气象学报 2009 25(2): 209-215  
SHI Hong, XU Jianming, LI Chengcai. Analysis on variation and transition of surface solar radiation in South China area [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 25(2): 209-215
- [18] 王学锋,朱勇,范立张,等. 1961—2007年云南太阳总辐射时空变化特征[J]. 气候变化研究进展 2009 5(1): 29-34  
WANG Xuefeng, ZHU Yong, FAN Lizhang, et al. Spatial-temporal variations of solar global radiation in Yunnan province during 1961—2007 [J]. Advances in Climate Change Research 2009 5(1): 29-34
- [19] 杨羨敏,曾燕,邱新法,等. 1960—2000年黄河流域太阳总辐射气候变化规律研究[J]. 应用气象学报, 2005 16(2): 243-248  
YANG Xianmin, ZENG Yan, QIU Xinfu, et al. The climatic change of global solar radiation over the Yellow River basin during 1960—2000 [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology 2005 16(2): 243-248
- [20] 申彦波,赵宗慈,石广玉. 地面太阳辐射的变化、影响因素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  
SHEN Yanbo, ZHAO Zongci, SHI Guangyu. The progress in variation of surface solar radiation, factors and probable climatic effects [J]. Advances in Earth Science, 2008 23(9): 915-923
- [21] 汪凯,叶红,陈峰,等. 中国东南部太阳辐射变化特征、影响因素及其对区域气候的影响[J]. 生态环境学报, 2010 19(5): 1119-1124  
WANG Kai, YE Hong, CHEN Feng, et al. Long-term change of solar radiation in southeastern China: Variation factors and climate forcing [J]. Ecology and Environmental Sciences 2010 19(5): 1119-1124
- [22] 申彦波,赵东,祝昌汉,等. 近50年来鄂尔多斯地面太阳辐射的变化及与相关气象要素的联系[J]. 高原气象 2009 28(4): 786-794  
SHEN Yanbo, ZHAO Dong, ZHU Changhan, et al. Variational characteristics of surface solar radiation and associated meteorological elements over Ordos Plateau in Recent 50 Years [J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(4): 786-794
- [23] 刘昌明,刘小莽,郑红星,等. 海河流域太阳辐射变化及其原因分析[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1283-1291  
LIU Changming, LIU Xiaomang, ZHENG Hongxing, et al. The change of solar radiation and its causes in Haihe River basin and surrounding areas [J]. Acta Geographica Sinica 2009 64(11): 1283-1291
- [24] 杜春丽,沈新勇,陈渭民,等. 43 a来我国城市气候和太阳辐射的变化特征[J]. 南京气象学院学报 2008, 31(2): 200-207  
DU Chunli, SHEN Xinyong, CHEN Weimin, et al. Urban climate and solar radiation changes in China in recent 43 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2008 31(2): 200-207
- [25] 白建辉,王庚辰. 影响太阳总辐射各主要因子的分析[J]. 高原气象 1994 3(4): 485-488  
BAI Jianhui, WANG Gengchen. The analysis for the primary factors affecting the solar global radiation [J]. Plateau Meteorology, 1994 3(4): 485-488
- [26] Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, et al. Climate forcing by anthropogenic aerosols [J]. Science, 1992, 255

- (5043) : 423-430
- [27] Ramanathan V ,Crutzen P J ,Kiehl J T ,et al. Aerosols , climate and the hydrological cycle [J]. *Science* ,2001 , 294( 5549) : 2119-2124
- [28] 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( 5723) : 847-850
- [29] Qian Y ,Kaiser D P ,Leung L R ,et al. More frequent cloud-free sky and less surface solar radiation in China from 1955 to 2000 [J]. *Geophysical Research Letters* , 2006 33 ,L01812. Doi: 10. 1029/2005GL024586
- [30] Liang F ,Xia X A. Long-term trend in solar radiation and the associated climatic factor over China for 1961—2000 [J]. *Annales Geophysicae* 2005 23( 7) : 2425-2432

## Spatial-temporal variations of global solar radiation over the Yangtze River basin since 1960

LIU Changkun<sup>1</sup> WANG Yanjun<sup>1</sup> GUO Yuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Remote Sensing ,Nanjing University of Information Science & Technology ,Nanjing 210044

**Abstract** Based on the meteorological data from 147 stations over the Yangtze River basin ,climatology computational method was used to estimate global solar radiation. For a better understanding of spatial-temporal variations of global solar radiation over the Yangtze River basin since 1960 ,and the impact of the cloud cover and the atmospheric water vapour on the global solar radiation ,linear regression and correlation analysis methods were used. The main results are as follows: Global solar radiation over the Yangtze River basin except for the Jinsha River basin decreases from east to west with fluctuant change in the upstream region and significant decrease in the downstream region. The decreasing trend in global solar radiation did not persist into the 1990s which coincided with the “global dimming” and “global brightening”. The cloud cover and the atmospheric water vapour content are not the primary causes for the decrease in global solar radiation over the Yangtze River basin.

**Key words** global solar radiation; spatial-temporal variations; cloud cover; atmospheric water vapour content; the Yangtze River basin