

庞明珠,周黛怡,陈勇航,等.基于 CERES/Aqua 卫星资料的新疆地面向下短波辐射时空分布特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(5): 9-15.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2017.05.002

# 基于CERES/Aqua卫星资料的新疆地面向下短波辐射时空分布特征

庞明珠<sup>1</sup>,周黛怡<sup>1</sup>,陈勇航<sup>1,2\*</sup>,钟珂<sup>1\*</sup>,辛渝<sup>2</sup>,秦榕<sup>3</sup>,刘琼<sup>1</sup>,胡俊<sup>1</sup>

(1.东华大学环境科学与工程学院,上海 201620;

2.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;

3.新疆气象局信息中心,新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用CERES SSF Aqua MODIS Edition 3A数据对新疆地区2003—2015年的北京时间13—17时的地面向下短波辐射变化进行研究,得到了新疆地区近13 a的地面向下短波辐射时空分布特征。该地区向下短波辐射从东南向西北随着纬度的增加而逐渐减少,从春季到冬季,地面向下短波辐射逐渐地由经向型分布向纬向型分布转变,秋季变化幅度为全年最大,夏季最小。年变化呈现单峰趋势,接近正态分布,最大值出现在2004年5月13时。在日变化中,13时最大。整体来说,新疆地区近13 a地面向下短波辐射呈现下降趋势,以 $13.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ 的速率减小。春季变化呈现增大趋势,其余各季均为减小趋势。

**关键词:** 新疆地区;地面向下短波辐射;CERES/Aqua;时空分布

**中图分类号:** p422

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-0799(2017)05-0009-07

地面太阳辐射是自然界中各种物理过程的主要能量来源,是驱动天气、气候形成和演变的基本动力,是人类可开发、利用的重要自然资源<sup>[1-2]</sup>。20世纪50年代后期国际上开始对到达地面的太阳辐射进行了观测<sup>[3-4]</sup>,同期逐渐利用卫星遥感自上而下的对地球辐射平衡进行观测,得到了地面太阳辐射长期观测数据。近年来,国内外学者也对中国及其部分区域的地面辐射变化状况进行了分析讨论<sup>[5-8]</sup>。

新疆太阳能资源十分丰富,全年日照时数为2550~3500 h,年辐射照度总量比我国同纬度地区高10%~15%,比长江中下游地区高15%~25%。居全国第二位,仅次于西藏。刘羽、辛渝等<sup>[9-10]</sup>国内学者对新

疆地区的太阳辐射特征进行了研究,但大多采用的地面台站观测资料进行研究。依靠地面台站观测具有时间连续的优点,但台站空间分布离散,一般采用地理空间插值的方法弥补,带有较大的插值误差,尤其是站点稀疏地区<sup>[11-13]</sup>。新疆地区地广人稀,卫星遥感资料空间分布连续,能够提供在全疆范围内的空间分布信息。本文选择新疆地区作为研究区域,选择对2003—2015年共13 a的CERES SSF Aqua MODIS Edition 3A辐射数据产品进行分析,研究了新疆地区地表太阳辐射的时空分布规律,拓展和丰富了该地区太阳辐射研究的内容,为气候环境变化的研究提供了科学依据。

## 1 资料与方法

新疆位于我国西部,地理坐标为 $73^{\circ}20' \sim 96^{\circ}25' \text{ E}$ ,  $34^{\circ}15' \sim 49^{\circ}10' \text{ N}$ ,地处亚欧大陆中心。面积 $1.66 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,是我国面积最大的一个省区。新疆按地理区域可划分为南北两部分,以天山为界,天山以南为南疆,天山以北为北疆。它的地形特点是山脉与盆地相间排列,北为阿尔泰山,中部为天山山脉,

收稿日期:2017-03-07;修回日期:2017-05-22

基金项目:国家自然科学基金(41675026,91644211,41375021);中国沙漠气象科学基金(Sqj2012002)。

作者简介:庞明珠(1993-),男,硕士研究生,主要从事多源遥感卫星的太阳辐射研究。E-mail:535932290@qq.com

通讯作者:陈勇航,女,教授,主要从事云水资源和大气环境研究。E-mail:yonghangchen@126.com;钟珂,女,教授,主要从事建筑环境与节能方面研究。E-mail:zhongkeyx@dhu.edu.cn

南为昆仑山,塔里木盆地和准噶尔盆地被高山环抱,呈现出“三山夹两盆”。新疆日照时间长,无霜期长,昼夜温差大,具有丰富的太阳能光热资源<sup>[14-16]</sup>。

本文研究的是CERES-SSF数据集提供的地面向下短波辐射通量,也就是基于卫星探测到的数据再经过反演,最终推算出的地面接收到的短波辐射通量。它主要来自太阳辐射,CERES/Aqua的短波波段(0.3~5.0 μm)对太阳辐射的光谱来说是足够的,因为99%的太阳辐射能量集中在0.276~4.96 μm。

本文所用数据是CERES SSF Aqua MODIS Edition 3A 卫星观测数据,SSF仅凭一个扫描装置获取1 h内“云与地球辐射能量系统”(CERES)的数据资料。每个SSF (Single Scanner Footprint TOA/Surface Fluxes and Clouds)都包含了轨迹(或CERES视场—FOV)的数据。SSF的主要的数据类别是:CERES视场的几何和观察角,对两个云层高度的晴空区域统计和云天区域统计的数据,云重叠情况(4种情况)以及对CERES FOV上成像仪辐射率的统计(5个通道)数据等等。SSF将搭载在Terra和Aqua两颗卫星上的中分辨率成像光谱仪(MODIS)的图像数据相结合。根据成像器所呈数据,航天器高度上的短波、长波、窗口通道辐射可以换算为大气层顶辐射通量,而大气层顶通量被用来估计地面通量。CERES SSF数据集是一个全球数据集,其空间覆盖率依赖于卫星的轨道。每一个SSF集包含了CERES成像仪一个小时的数据,大约是一条轨道的2/3。每个SSF FOV(Field-of-view)为一个瞬时扫描观测值,每0.01 s观测一次。由美国NASA Langely研究中心大气科学数据中心提供的CERES/SSF数据,该数据是由Aqua卫星上的CERES探测器观测的,是经过云检测和地面处理后的产品。Aqua为近极地轨道卫星,过境时间为北京时间13:00和17:00。地面太阳辐射的卫星遥感模式是:地面的太阳辐射与大气顶(TOA)处反射的太阳短波辐射之间存在一个线性关系,公式为:

$$SW_{sr}^{net} = E_0 d^{-2} \mu \left\{ 1 - \frac{C}{\mu} - \frac{v}{\sqrt{\mu}} + \frac{1 - \exp(-\mu)}{\mu} \right\} (0.0699 - 0.0683 \sqrt{p}) - [1 + A \ln(\mu) - 0.0273 + 0.0216 \sqrt{p}] \alpha_{y0} \quad (1)$$

其中: $E_0$ =太阳常数, $d$ =天文单位的地球-太阳距离, $p$ 为以cm为单位的大气可降水量, $\mu = \cos \theta_0$ , $\theta_0$ =太阳天顶角, $\alpha_{TOA}$ =TOA的反照率= $F_{TOA} / (E_0 d^{-2} \mu)$ , $F_{TOA}$ =TOA上的卫星反射短波通量, $W \cdot m^{-2}$ , $A=0.0815$ , $B=0.0139$ , $C=-0.01124$ , $D=0.1487$ 。

本文研究采用的是2003年1月1日—2015年12月

31日CERES SSF Aqua MODIS Edition 3A全天空状态下地面向下短波辐射通量,北京时间13时、14时、15时、16时、17时的数据。全天空状态即为考虑到天空中云的各种特征。CERES/Aqua地面向下短波辐射通量,该参数是基于Li—Leighton模式估计的地面向下短波辐射通量。Li—Leighton模式仅仅在晴空条件下是有效的,当FOV不是晴空时将之设为缺测值。

为了分析全天空下CERES-SSF卫星数据的精度,选取了与CERES/Aqua卫星数据相对应的地面站点的观测数据进行对比。首先以地面观测得到的11个站点数据为基准,其次筛选各个站点附近±0.5°的卫星数据与地面各站点进行地理位置和时间匹配,从而得到具有同一时刻的两种产品的时间匹配信息。阿克苏、乌鲁木齐、阿勒泰、哈密、和田、喀什、若羌、塔城、焉耆、吐鲁番和伊宁分别得到匹配样本数为172、260、325、377、136、90、269、249、273、317、191个。11个站点在新疆地区的分布如图1所示。结果表明,CERES-SSF卫星资料与地面观测资料的相对误差平均值为20.89%。虽然卫星数据存在误差,但这种误差是系统误差,对于分析观测值随时间的变化量是可靠的。

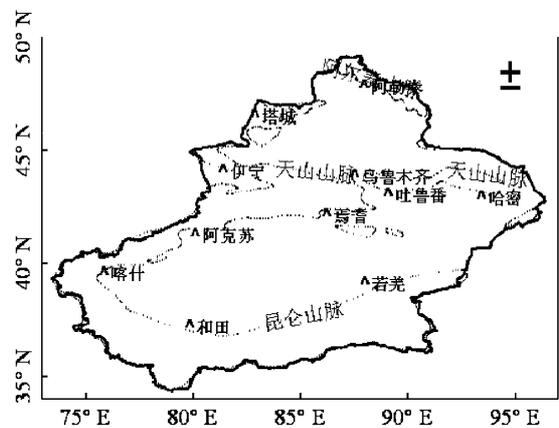


图1 11个站点在新疆地区的分布

## 2 结果与讨论

### 2.1 新疆地区向下短波辐射空间分布特征

新疆地区2003—2015年地面向下短波辐射平均空间分布等值线(图2),显示了新疆地区多年平均向下短波辐射空间分布特征。新疆向下短波辐射充沛,从东南向西北逐渐减少。

新疆南部地区向下短波辐射尤其丰富。全疆范围内辐射通量变化为532~735 W/m<sup>2</sup>,总的来说,新疆年总辐射通量从东南向西北随着纬度的增高而逐渐

减少。年平均总辐射通量最大的地方是昆仑山脉地区,为 $735 \text{ W/m}^2$ ,最小的地方是阿尔泰山北部,为 $532 \text{ W/m}^2$ 。塔里木盆地南缘出现了向下短波辐射高值中心,这是由于塔克拉玛干沙漠沙尘气溶胶具有较强的散射特性,因而增加了散射辐射,使得塔里木盆地辐射通量增加。在天山附近向下短波辐射变化幅度大,等值线密集,这是因为山地特别是迎风坡容易产生云,间接影响短波向下辐射到达地面的总量,并且也受天山南北坡坡向的影响。

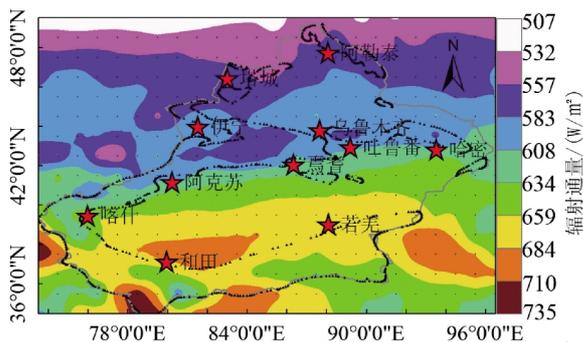


图2 新疆地区2003—2015年Aqua卫星过境时向下短波辐射平均空间分布

图3为新疆地区向下短波辐射多年平均季节空间分布。本文对四季的划分采用气象学上对四季的划分,即3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—2月为冬季。对2003—2015年每个季节的数据进行平均处理,得到新疆地区春、夏、秋、冬4个季节向下短波辐射的空间分布图(图3)。可以看出,

在四季任何一个季节中,向下短波辐射通量均呈现从北向南递增的分布趋势,这主要是因为纬度低的地方辐射通量大,纬度高的地方辐射通量小。各个季节的天气变化不同,向下短波辐射通量也呈现不同。

由春季多年平均向下短波辐射空间分布图(图3a)可发现,春季新疆地区的向下短波辐射通量主要集中在 $648\sim 856 \text{ W/m}^2$ 之间,呈现明显的西北向东南递增的趋势。向下短波辐射通量最小的地方是天山山脉近西北一带,在 $648\sim 678 \text{ W/m}^2$ 之间。最大的地方是昆仑山脉地区,在 $827\sim 856 \text{ W/m}^2$ 之间。新疆东南部地区辐射通量等值线稀疏,在 $767\sim 797 \text{ W/m}^2$ 之间。塔里木盆地向下短波辐射通量增加,在 $797\sim 827 \text{ W/m}^2$ 之间。向下短波辐射通量的最大值与最小值相差大约 $200 \text{ W/m}^2$ 。

从夏季多年平均向下短波辐射空间分布图(图3b)中可发现,夏季新疆地区的向下短波辐射通量主要集中在 $673\sim 823 \text{ W/m}^2$ 之间。夏季向下短波辐射变化很明显,天山以南地区辐射通量等值线密集。向下短波辐射通量最小的地方是阿勒泰地区,在 $673\sim 698 \text{ W/m}^2$ 之间。最大的地方是塔里木盆地,在 $798\sim 823 \text{ W/m}^2$ 之间。昆仑山脉的向下短波辐射通量集中在 $748\sim 798 \text{ W/m}^2$ 之间。天山地区的向下短波辐射通量集中在 $698\sim 723 \text{ W/m}^2$ 之间。向下短波辐射通量的最大值与最小值相差大约 $150 \text{ W/m}^2$ 。

由秋季多年平均向下短波辐射空间分布图(图3c)可发现,秋季新疆地区的向下短波辐射通量主要集中在 $434\sim 668 \text{ W/m}^2$ 之间,由南至北逐渐递减,呈现

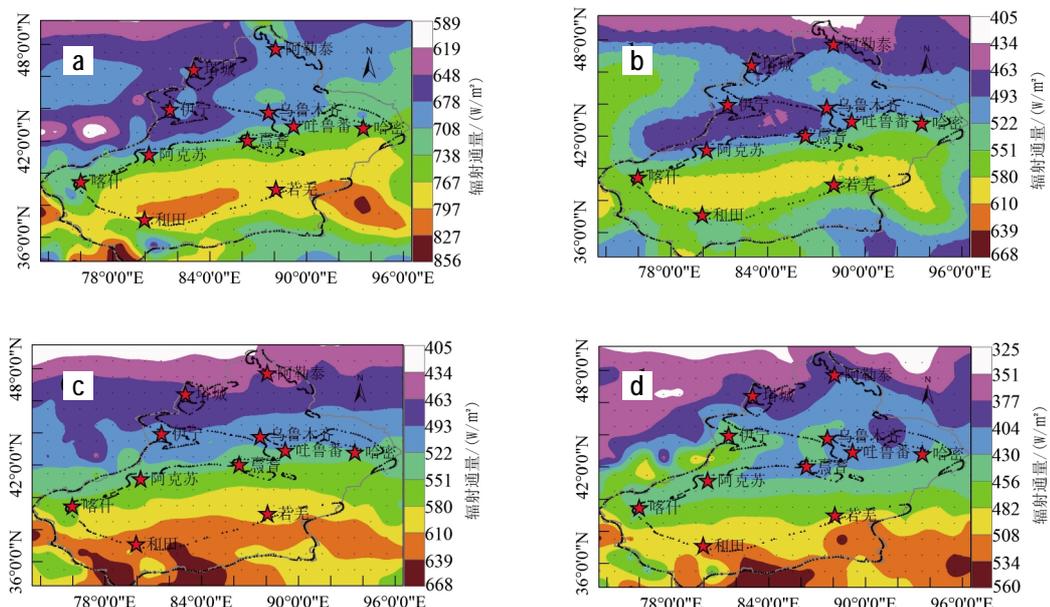


图3 新疆地区2003—2015年Aqua卫星过境时向下短波辐射平均季节空间分布

明显的纬向分布,减少幅度比较均匀。向下短波辐射通量最小的地方是阿勒泰地区,在434~463 W/m<sup>2</sup>之间。最大的地方是昆仑山脉地区,在639~668 W/m<sup>2</sup>之间。秋季辐射通量最大值与最小值相差近230.0 W/m<sup>2</sup>,变化幅度为全年最大。向下短波辐射通量的最大值与最小值相差大约230 W/m<sup>2</sup>。

从冬季多年平均向下短波辐射空间分布图(图3d)中可发现,冬季新疆地区的向下短波辐射通量主要集中在351~560 W/m<sup>2</sup>之间,由南至北逐渐递减,呈现纬向分布趋势。在准噶尔盆地地区,向下短波辐射通量集中在404~434 W/m<sup>2</sup>之间。在天山山脉西部,向下短波辐射通量集中在434~464 W/m<sup>2</sup>之间。冬季整体辐射通量较小,北部出现多个低值中心。向下短波辐射通量的最大值与最小值相差大约210 W/m<sup>2</sup>。

在春季,地面向下短波辐射呈现明显的经向分布。夏季,全疆地区的太阳辐射等值线都很密集,等值线分布开始逐步由经向分布向纬向分布转变。秋季,太阳辐射呈现明显的纬向分布,从南至北呈条带状逐渐减小。冬季太阳辐射空间分布趋势仍为南高北低,呈现明显的纬向分布。

## 2.2 新疆地区向下短波辐射时间分布特征

### 2.2.1 地面向下短波辐射的日、月、季变化

本研究主要分析了新疆地区的13时、14时、15时、16时和17时5个时段的向下短波辐射通量。新疆地区2003—2015年13年平均向下短波辐射分时年变化(图4a)。从横向逐月变化来看,新疆地区多年平均各月向下短波辐射通量整体呈现单峰变化趋势,接近正态分布<sup>[7]</sup>。其中,13时、14时最高点出现在5月,15时、16时和17时最高点出现在6月,往两侧逐月递减,17时最低点出现在1月,其余各时刻最低值均出现在12月。这样的分布具有明显的规律性。在北半球,太阳高度角自3月开始逐渐增大,地面接受的

向下短波辐射开始增加,到9月之后,太阳高度角逐渐减小,地面获得的向下短波辐射也逐渐减少。图4a所示的辐射通量逐月变化现象主要是由太阳高度角的变化造成的。

新疆地区2003—2015年13 a平均太阳辐射通量日变化(图4b),并挑选出具有代表性的1月、4月、7月、10月进行对比分析。由图中可发现,无论在哪个月份,13时的向下短波辐射通量均为最大,17时最小,二者之间最大差值可达到180.0 W/m<sup>2</sup>。13时到17时向下短波辐射通量逐渐减小,这主要和太阳高度角有关。

从图5可以得到,13时、14时的向下短波辐射季节变化趋势基本相同。1—4月平均每月增加125 W/m<sup>2</sup>;5—7月变化平缓,变化量为20 W/m<sup>2</sup>,其中5月向下短波辐射通量最大。8—12月逐月下降,下降幅度为每月大约90 W/m<sup>2</sup>。12月向下短波辐射通量最小。15时、16时的向下短波辐射月季变化趋势基本相同。1—5月平均每月增加100 W/m<sup>2</sup>,6—7月变化平缓,变化量为20 W/m<sup>2</sup>,其中6月向下短波辐射通量最大。8—12月逐月下降,下降幅度为每月大约85 W/m<sup>2</sup>。12月向下短波辐射通量最小。17时的整体向下短波辐射通量偏小,1—4月平均每月增加112 W/m<sup>2</sup>,5—7月变化平缓,变化量为32 W/m<sup>2</sup>,其中6月向下短波辐射通量最大。8—12月逐月下降,下降幅度为每月大约83 W/m<sup>2</sup>。1月向下短波辐射通量最小,为282.0 W/m<sup>2</sup>。

新疆地区2003—2015年平均向下短波辐射在13时、14时、15时、16时、17时5个时刻的季节变化(图5)。由图中可发现,向下短波辐射变化受到季节变化的影响较大,在13—17时,都有向下短波辐射通量夏季>春季>秋季>冬季。其中,夏季13时最大,为902.7 W/m<sup>2</sup>,冬季17时最小,为333.7 W/m<sup>2</sup>,两者相差569

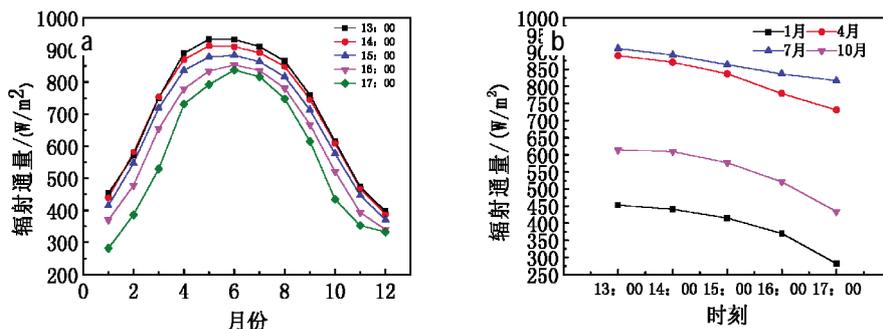


图4 新疆地区2003—2015年多年平均向下短波辐射分时刻逐月变化

$W/m^2$ 。可以看到,冬夏两季差距明显,在13:00,向下短波辐射最大,夏季向下短波辐射通量为 $902.7 W/m^2$ ,冬季向下短波辐射通量为 $473.9 W/m^2$ ,夏季值约为冬季的1.9倍。在17:00,向下短波辐射最小,夏季向下短波辐射通量为 $800.5 W/m^2$ ,冬季向下短波辐射通量为 $333.7 W/m^2$ ,夏季值约为冬季的2.4倍。春秋两季有一定差距,春季向下短波辐射通量大于秋季,差值平均为 $231.6 W/m^2$ ,并且差值逐时降低,13时的差值最大,为 $243 W/m^2$ ,17时的差值最小,为 $217 W/m^2$ 。在相同季节内,向下短波辐射通量逐时降低,13时最大,17时最小。在春季,差值为 $174.0 W/m^2$ ,在夏季,差值为 $102.2 W/m^2$ ,在秋季,差值为 $148.0 W/m^2$ ,在冬季,差值为 $140.2 W/m^2$ 。

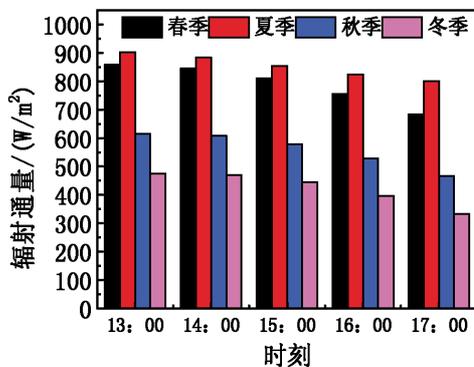


图5 新疆地区2003—2015年13 a平均向下短波辐射分时季节变化

### 2.2.2 地面向下短波辐射的年变化及多年变化趋势

通过对新疆地区2003—2015年向下短波辐射通量年变化进行分析,得出新疆地区13 a向下短波辐射通量平均值为 $612.0 W/m^2$ ,可以发现,整体呈现下降趋势,趋势方程为 $y = -1.327 2x + 621.25$ ,向下短波辐射通量以 $13.272 W \cdot m^{-2}/10 a$ 的速率减少,13 a

内平均每平方米下降了 $17.3 W$  (图6a)。这表明2003—2015年新疆地区13—17时的辐射通量减小了。新疆地区辐射通量最大值出现在2004年,向下短波辐射通量值为 $639.9 W/m^2$ ;最小值出现在2003年,向下短波辐射通量值为 $586.1 W/m^2$ ,二者差值为 $53.8 W/m^2$ 。13 a内的向下短波辐射通量波动较大,在2003年,2007年,2011年有上升,而其他年份均呈现下降趋势。图6b为新疆地区2003—2015年向下短波辐射距平变化,2003年、2004年、2007年、2015年波动幅度较大,其余年份波动幅度较小。高于多年平均值的年份与低于多年平均值的年份大约各占一半。

2003—2015年新疆地区13a四季向下短波辐射分布(图7),观察图7可以发现,向下短波辐射通量最大的是夏季,最小的是冬季,有夏季>春季>秋季>冬季的规律。春季和夏季的向下短波辐射通量差距不大,其中2005年,2013年春季,夏季的向下短波辐射通量最接近,相差约 $7 W/m^2$ 。在多年季节变化中,各季节的变化波动程度各不相同,除了春季向下短波辐射通量呈现增大趋势外,其余各季均呈现减小趋势。夏季向下短波辐射通量值最高,在13 a的变化中,向下短波辐射通量最小值为 $729.9 W/m^2$ ,出现在2003年;向下短波辐射通量最大值为 $776.1 W/m^2$ ,出现在2004年。新疆春季与夏季辐射通量值较为接近,主要在 $700.0 \sim 750.0 W/m^2$ ,最大辐射通量值和最小辐射通量值相距 $80 W/m^2$ 。秋季的辐射通量主要为 $500 \sim 540 W/m^2$ ,变化幅度较大,秋季的向下短波辐射通量最大值为 $573.0 W/m^2$ ,出现在2004年,最小值为 $503.1 W/m^2$ ,出现在2015年。冬季的辐射通量值相比秋季平均降低 $100 W/m^2$ ,主要为 $420 \sim 460 W/m^2$ ,夏季辐射通量为冬季的1.6倍,冬季的向下短波辐射通量最大值出现在2004年,辐射通量值为 $485.1 W/m^2$ ;最小值出现在2006年,辐射通量值为 $420.9 W/m^2$ 。各个

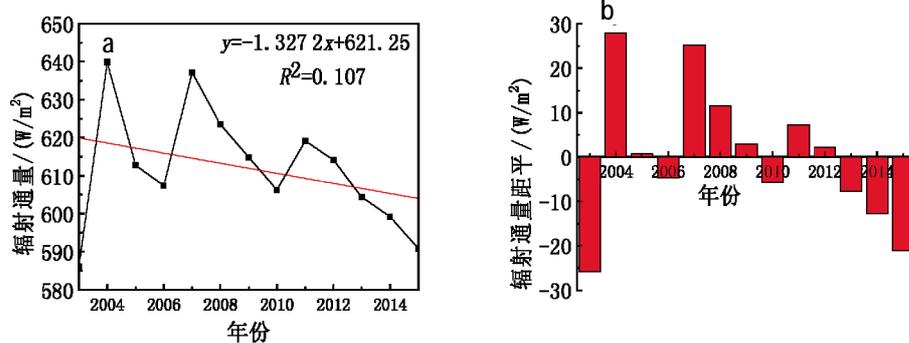


图6 新疆地区2003—2015年平均向下短波辐射年变化

季节的向下短波辐射多年变化趋势方程见表1。春季向下短波辐射多年变化倾斜率为 $1.677 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ ，夏季向下短波辐射多年变化倾斜率为 $-14.525 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ ，秋季向下短波辐射多年变化倾斜率为 $-19.605 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ ，冬季向下短波辐射多年变化倾斜率为 $-20.634 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ 。

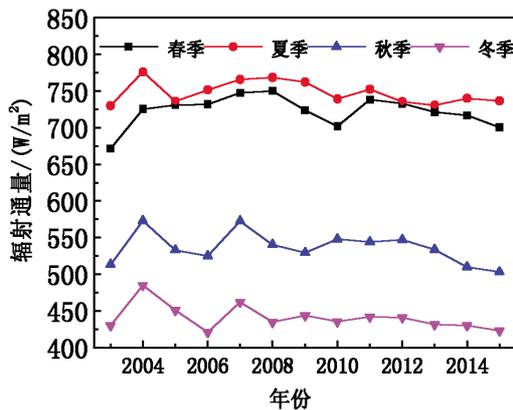


图7 2003—2015年新疆地区向下短波辐射各季节变化趋势

表1 2003—2015年新疆地区四季向下短波辐射多年变化趋势方程

	趋势线方程	倾斜率/( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ )
春季	$y = 0.1677x + 721.42$	1.677
夏季	$y = -1.4525x + 758.28$	-14.525
秋季	$y = -1.9605x + 550.01$	-19.605
冬季	$y = -2.0634x + 455.29$	-20.634

### 3 结论

利用NASA CERES SSF发布的一个数据产品中的向下短波辐射通量，对新疆地区2013—2015年地面向下短波辐射时空分布进行分析。首先，对全天空状态下全疆多年平均向下短波辐射空间分布特征以及季节分布特征进行对比分析。其次，对全天空状态下全疆向下短波辐射的年变化以及年际变化进行详细讨论，主要结论如下：

(1)在13—17时，新疆地区2003—2015年13 a平均向下短波辐射通量为 $532\sim 735 \text{ W}/\text{m}^2$ 之间，在空间上，整体而言，向下短波辐射从东南向西北随着纬度的增加而逐渐减少。在局部地区，出现向下短波辐射高值中心。在不同季节，向下短波辐射也有不同的分布特征。从春季到冬季，向下短波辐射逐渐地由经向型分布向纬向型分布转变，秋季变化幅度为全年

最大，夏季最小。

(2)在13—17时，新疆地区多年平均向下短波辐射分时逐月变化，整体呈现单峰变化趋势，接近正态分布，最大值出现在5月13时，为 $933.6 \text{ W}/\text{m}^2$ ，在这5个时刻中，向下短波辐射呈现13时最大，17时最小的依次减小的规律。向下短波辐射变化受到季节变化的影响较大，在13—17时，都呈现向下短波辐射通量夏季>春季>秋季>冬季。

(3)在13—17时，新疆地区13 a向下短波辐射通量平均值为 $612.0 \text{ W}/\text{m}^2$ ，整体呈现下降趋势，以 $13.272 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ 的速率减小。在季节变化中，除了春季向下短波辐射通量呈现增大趋势外，其余各季均呈现减小趋势。春季向下短波辐射多年变化倾斜率增加，为 $1.677 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ ，冬季向下短波辐射多年变化倾斜率减少最多，为 $-20.634 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ 。

### 参考文献：

- [1] 尹青, 张华, 何金海. 近48年华东地区地面太阳总辐射变化特征和影响因子分析[J]. 大气与环境光学学报, 2011, 6(1): 37-46.
- [2] 彭艳, 王钊, 李星敏, 等. 近50a西安太阳辐射变化特征及相关影响因子分析[J]. 干旱区地理, 2012(5): 738-745.
- [3] Stanhill G, Moreshet S. Global radiation climate changes: The world radiation network[J]. Climate Change, 1992, 21: 57-75.
- [4] 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.
- [5] Russak V. Trends of solar radiation, cloudiness and atmospheric transparency during recent decades in Estonia [J]. Tellus, 1990, 42B: 206-210.
- [6] Ohmura A, Gilgen H. The GEBA database: Interactive applications, retrieving data [J]. Global Energy Balance Archive (GEBA), 1993: 44-60.
- [7] Stanhill G, Cohen S. Recent changes in solar irradiance in Antarctica [J]. Climate, 1997, 10: 2078-2086.
- [8] Stanhill G. Estimation of direct solar beam irradiance from measurements of the duration of bright sunshine [J]. J Climatol, 1998, 18: 347-354.
- [9] 刘羽, 张显峰, Jonathan Li, 等. 基于多传感器数据的新疆太阳辐射估算及其时空分布特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(3): 161-165.
- [10] 辛渝, 赵逸舟, 毛炜峰, 等. 新疆太阳总辐射资料的均一性检验与气候学估算式的再探讨 [J]. 高原气象, 2011(4): 878-889.
- [11] 马金玉, 罗勇, 梁宏, 等. 中国近半个世纪地面太阳总辐射时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2012(2): 268-280.
- [12] 杨溯, 石广玉, 王标, 等. 1961—2009年我国地面太阳辐

- 射变化特征及云对其影响的研究 [J]. 大气科学, 2013 (5):963-970.
- [13] 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 (5):1119-1124.
- [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(3):343-351.
- [15] Suarez MJ, Pasilva A, Dee P, et al. Documentation and Validation of the Goddard Earth Observing System (GEOS) Data Assimilation, version 4 [R].NASA Technical Memorandum, 2005:26.
- [16] Tang B, Li Z, Zhang R A. Direct method for estimating net surface shortwave radiation from MODIS data [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 103(1):115-126.
- [17] 黄家敏. 基于卫星遥感的新疆地面太阳辐射的时空变化分析 [D]. 上海:东华大学, 2015:37-41.

## Spatial and Temporal Distribution of Downward Surface Shortwave in Xinjiang Based on CERES/Aqua Data

PANG Mingzhu<sup>1</sup>, ZHOU Daiyi<sup>1</sup>, CHEN Yonghang<sup>1,2\*</sup>, ZHONG Ke<sup>1\*</sup>, XIN Yu<sup>2</sup>,  
QIN Rong<sup>3</sup>, LIU Qiong<sup>1</sup>, HU Jun<sup>1</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Institute of Desert Meteorology, China Meteorology Administration, Urumqi 830002, China;

3. Xinjiang Meteorological Bureau Information Center,Urumqi 830002,China)

**Abstract** The spatial and temporal distributions of surface shortwave solar radiation over Xinjiang were analyzed based on CERES/Aqua data during 13th-17th, 2003-2015. The results showed that the solar radiation reduces from southeast to northwest gradually as latitude increases. From spring to winter, the spatial distribution of solar radiation in Xinjiang changes from meridional distribution to zonal distribution. The change rate in autumn is maximum and minimum in summer. Annually variation showed a single peak trend, close to the normal distribution with the maximum value appearing at 13rd May 2004. the maximum of diurnal variation happened at 13:00, and the minimum at 17:00, showing the law of decreasing from 13:00 to 17:00. In recent 13 years, it showed a downward trend in Xinjiang, with the rate of  $13.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}/10 \text{ a}$ . The change trend decreases in spring and increase in the others seasons.

**Keywords** Xinjiang; downward shortwave surface flux; CERES/Aqua; spatial and temporal distribution