

# 西藏晴天太阳红斑紫外线观测研究

刘娟, 措加旺姆\*, 诺桑, 拉瓜登顿, 胡贵军, 王倩, 周毅, 泽西

西藏大学太阳紫外线实验室, 西藏 拉萨 850012

**摘要** 过量的太阳紫外线会造成人体皮肤红斑现象,甚至可引起皮肤癌症。利用国际通用的太阳紫外线观测仪和光谱仪,在 2014 年 1 月至 2018 年 12 月期间对西藏珠峰地区(定日)、拉萨和林芝的晴天太阳红斑紫外线和紫外线光谱进行了实地观测研究。观测了拉萨春分点附近、秋分点附近、冬至和夏至的正午太阳紫外线光谱特征,发现波长小于 300 nm 的太阳紫外线几乎全部被大气层吸收,不会到达西藏地面。通过分析西藏晴天太阳红斑紫外线的剂量,发现只有紫外线 B 能引起人体皮肤红斑现象。实地观测数据表明,西藏晴天太阳红斑紫外线的剂量率随当日时间的变化呈典型的抛物线状,并且由于太阳高度角的增加,晴天太阳红斑紫外线的最大剂量率平均出现时间为当地正午前后约 10 min。在理论上,从冬至起西藏晴天太阳红斑紫外线强度逐日升高,夏至或夏至附近达到最高值,但是由于西藏夏季晴天少,西藏晴天太阳红斑紫外线强度峰值实际上出现在 3 月底。研究发现,在冬至到夏至变化区间,珠峰地区(定日)、拉萨和林芝的晴天太阳红斑紫外线当日最大剂量率分别为  $113.40\sim 343.10\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $85.26\sim 344.2\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$  和  $62.78\sim 197.10\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ , 而最大日总剂量分别为  $7181.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $7623.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$  和  $3994.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ , 这说明拉萨和珠峰地区(定日)的太阳紫外线使人体极易出现皮肤红斑现象。

**关键词** 探测器; 紫外线; 太阳红斑紫外线; 西藏; 晴天; 观测

中图分类号 P182.3

文献标志码 A

doi: 10.3788/AOS202040.1904002

## Observation of Solar Erythematul Ultraviolet Radiation on Clear Days in Tibet

Liu Juan, Tsoja Wangmu\*, Norsang Gelsor, Lagua Dengdun, Hu Guijun,  
Wang Qian, Zhou Yi, Ze Xi

Laboratory of Solar Ultraviolet, Tibet University, Lhasa, Tibet 850012, China

**Abstract** Excessive solar UV radiation can cause erythema on human skin and even skin cancers in severe cases. In this paper, we study the solar erythematul UV radiation and UV spectra in the Mount Everest region (Tingri), Lhasa, and Nyingchi of Tibet by using a NILU-UV irradiance meter and a RAMSES-ACC-UV spectrometer during the period from January 2014 to December 2018. In addition, we observe the characteristics of solar UV spectra in Lhasa at local noon near the vernal equinox and autumnal equinox and at the winter solstice and summer solstice. We figure out that almost all the solar UV radiation with wavelength less than 300 nm is absorbed by the atmosphere and can not reach the surface of Tibet. Based on the analysis of solar erythematul UV radiation doses on clear days measured in Tibet, we find that only UVB causes the human skin erythema. Moreover, the field observation data show that the dose rate of solar erythematul UV radiation on clear days in Tibet changes in a typical parabola shape with the time of the day. Moreover, the average occurrence time of the maximum dose rate is about 10 min around the local noon as the solar altitude angle increases. In theory, the solar erythematul UV radiation intensity on clear days rises day by day from the winter solstice and reaches the highest value at or near the summer solstice in Tibet. However, in fact, the peak intensity on clear days during the observation period generally appears at the end of March due to few clear days in the summer of Tibet. The research results disclose that the maximum dose rates of solar erythematul UV radiation on clear days in the Mount Everest region (Tingri), Lhasa, and Nyingchi during the observation period from the winter solstice to the summer solstice are  $113.40\sim 343.10\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $85.26\sim 344.2\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ , and  $62.78\sim 197.10\text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectively, in contrast, the total maximum daily doses reach  $7181.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $7623.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ , and  $3994.00\text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectively. These indicate that skin erythema is easily induced in Lhasa and the Mount Everest region (Tingri).

收稿日期: 2020-03-31; 修回日期: 2020-06-03; 录用日期: 2020-06-23

基金项目: 国家自然科学基金(41867041)、西藏自治区科技厅项目(ZDZX2019000025)、西藏大学一流学科建设

\* E-mail: 422575093@qq.com

**Key words** detectors; ultraviolet; solar erythmal ultraviolet; Tibet; clear day; observation

**OCIS codes** 040.7190; 150.1488; 300.6170

# 1 引 言

由于低纬度(平均北纬 30°)、低臭氧<sup>[1]</sup>、高海拔(平均海拔 4000 m 以上)以及高地表反射率等因素,西藏地面的太阳紫外线极强<sup>[2]</sup>。适量的太阳紫外线剂量能使人体产生维生素 D,对健康有诸多益处<sup>[3]</sup>;过量的太阳紫外线剂量则会使人体皮肤出现红斑现象<sup>[4]</sup>,或引起紫外线过敏现象,甚至导致皮肤癌症<sup>[5]</sup>。西藏大学的诺桑等<sup>[6-13]</sup>在西藏进行了长期的太阳紫外线观测,分析了西藏太阳紫外线的时空变化特征,建立了西藏太阳紫外线数据库,在国内外发表了诸多研究成果。前期研究表明,虽然关于西藏太阳紫外线的观测研究成果相对较多,但关于西藏太阳紫外线对人体皮肤作用的研究鲜有报道。2008 年,诺桑等<sup>[14]</sup>利用卫星数据研究了青藏高原夏季平均太阳红斑紫外线日总量的空间分布规律。2016 年,李永鑫等<sup>[15]</sup>通过对拉萨太阳红斑紫外线数据的分析,探讨了基于最大熵原理实现太阳红斑紫外线预测的可能性。本文通过实地观测西藏西部珠峰附近定日县、中部拉萨和东部林芝的地面太阳紫外线,研究了西藏各地太阳红斑紫外线的共性。不考虑云层的扰乱,本文重点分析了 2014 年 1 月至 2018 年 12 月期间在晴天条件下各地太阳红斑紫外线的特征和变化规律,研究结果填补了西藏晴天太阳红斑紫外线研究的空白。

## 2 太阳红斑紫外线的观测方法

### 2.1 观测理论

太阳光经过大气层时由于有些波长的光会被大气吸收和散射,到达地面的太阳光会出现不同程度的消光现象<sup>[16]</sup>。图 1 为太阳光在进入大气层之前(Air mass 0, AM0)和消光后到达地表时(Air mass 1, AM1)的全波段光谱特征图。

大气对不同波长的太阳光具有不同程度的消光作用,相关理论和实际观测表明,最具“烧伤”作用的太阳紫外线 C(200~280 nm)全部被大气层吸收,只有少量的紫外线 B(280~320 nm)和大部分的紫外线 A(320~400 nm)可以到达地面,而到达地面的紫外线对人体皮肤等组织同样具有“烧伤”作用。

为了表征太阳紫外线强度对人体皮肤的“烧伤”程度,定义了太阳红斑紫外线强度,用红斑紫外线剂

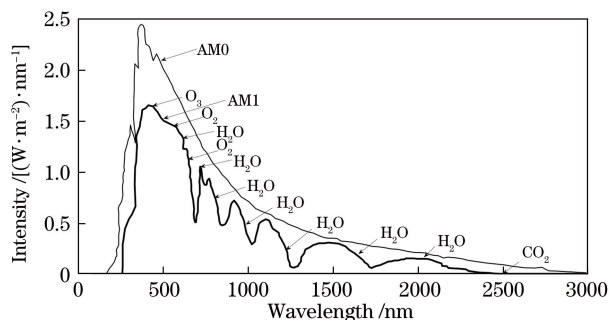


图 1 太阳光进入大气层后的消光特征

量率(Erythmal UV Dose Rate)表示,其理论计算公式<sup>[7]</sup>为

$$I = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} A(\lambda)F(\lambda)d\lambda, \quad (1)$$

式中: $\lambda$  为太阳紫外线的波长; $F(\lambda)$ 为仪器测量的波长为  $\lambda$  的太阳紫外线的强度,即紫外线光谱; $A(\lambda)$ 为红斑作用谱(CIE Weighted Action Spectrum)<sup>[4]</sup>,表示人体皮肤对不同波长的太阳紫外线的敏感程度,它是关于波长的函数,其具体函数形式为

$$A(\lambda) = \begin{cases} 1, & \lambda < 298 \text{ nm} \\ 10^{-0.094(\lambda-298)}, & 298 \text{ nm} \leq \lambda < 328 \text{ nm} \\ 10^{-0.015(\lambda-139)}, & \lambda \geq 328 \text{ nm} \end{cases} \quad (2)$$

红斑作用谱  $A(\lambda)$ 的函数图像如图 2 所示,其中 UVB 为紫外线 B,UVA 为紫外线 A。可以看出,波长小于 298 nm 的太阳紫外线的红斑作用谱值为 1,表示该段波长的太阳紫外线极易引起人体皮肤红斑现象;当波长为 298~328 nm 时,太阳紫外线的红斑作用谱值由 1 呈直线减小,表明该段波长的太阳

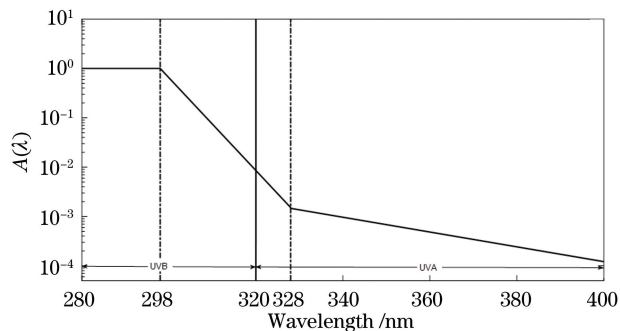


图 2 太阳紫外线红斑作用谱

Fig. 2 Action spectrum of solar erythmal UV radiation

紫外线对人体皮肤的“烧伤”作用随着波长的增加而急速减弱;当波长大于等于 328 nm 时,太阳紫外线的红斑作用谱值随着波长的增加而减小,但减小速度缓慢,表明该段波长的太阳紫外线对人体的“烧伤”作用较小。总体而言,波长越短的太阳紫外线越容易引起皮肤红斑现象。红斑紫外线剂量率是瞬时强度值,根据世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)和世界卫生组织(World Health Organization, WHO)的规定,太阳红斑紫外线强度也可以用紫外线指数(UVI)表示,1 UVI = 25 mW · m<sup>-2</sup>。11 以上的紫外线指数属于超强指数,西藏紫外线指数频频超过 11<sup>[11]</sup>。红斑紫外线剂量率对时间的积分是红斑紫外线剂量。根据人体皮肤种类,对于白皮肤、黄皮肤和黑皮肤的人体,引起红斑现象的最小红斑紫外线剂量(Minimal Erythral Dose, MED)分别是 200, 350, 450 J · m<sup>-2</sup><sup>[4]</sup>。

在实际观测的紫外线强度的基础上,利用红斑作用谱和(1)式可加权计算得出太阳红斑紫外线强度。根据太阳紫外线红斑作用谱曲线(图 2)可知,

波长小于 298 nm 的太阳紫外线的红斑作用谱值的最高值均为 1,而西藏拉萨的该波段太阳紫外线被大气层吸收,地面紫外线四季强度均几乎为零,如图 3 所示。图 3 是实地观测的西藏拉萨春分点附近(2017 年 3 月 22 日),秋分点附近(2018 年 9 月 25 日),冬至(2017 年 6 月 21 日)和夏至(2018 年 12 月 22 日)的正午太阳紫外线光谱(均为晴天),并与大气层外的太阳紫外线光谱进行了对比。从图 3 中可以看出,太阳紫外线 B(280~320 nm)中波长小于 300 nm 的紫外线被大气中的氮气、氧气和臭氧吸收,只有波长大于 300 nm 的太阳紫外线穿过大气层到达拉萨地面,并且随着波长的增加,紫外线的强度逐渐增强。

虽然红斑作用谱  $A(\lambda)$  随着波长的增加而迅速减小(如图 2 所示),但是地面实际太阳紫外线强度  $F(\lambda)$  随着波长的增大而迅速增大(如图 3 所示),因此,单色(单一波长)太阳红斑紫外线强度

$$I(\lambda) = A(\lambda)F(\lambda), \quad (3)$$

其随波长的变化规律如图 4 所示。

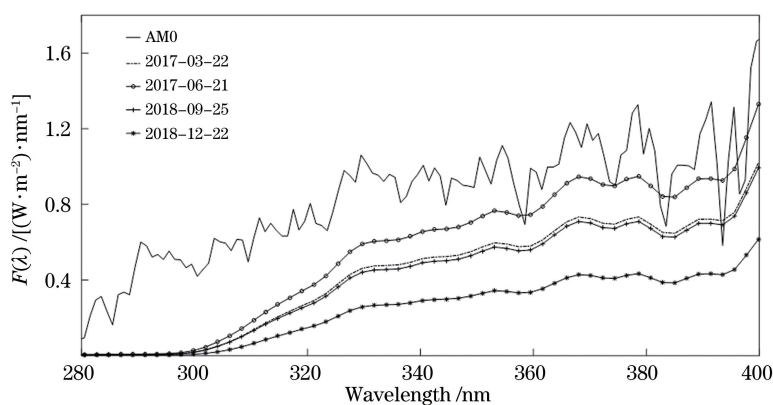


图 3 拉萨二分二至的正午太阳紫外线观测光谱

Fig. 3 Solar UV spectra observed in Lhasa at local noon for two equinoxes and two solstices

图 4 为西藏拉萨二分二至或其邻近日的正午晴天单色太阳红斑紫外线强度随波长的变化规律。因为波长超过 320 nm 的 UVA 的  $I(\lambda)$  值接近为零,所以单色太阳红斑紫外线强度主要由太阳 UVB 的强度决定,UVA 的强度贡献很小,说明引起人体皮肤红斑现象的紫外线主要是 UVB。从图 4 可以精准得出,拉萨 304 nm 的紫外线最易引起人体皮肤的红斑现象。

## 2.2 观测仪器

利用挪威生产的国际通用的多频道漏光式太阳紫外线探测器(NILU-UV Irradiance Meter)观测了西藏各地的太阳红斑紫外线特征。该探测器如图 5(a)所示,设有六个频道,其中五个频道位于紫外

区,各频道的中心波长分别为 305, 312, 320, 340, 380 nm,频道带宽约为 10 nm,第六个频道位于可见光区。在使用之前挪威国家辐射保护局(NRPA)对探测器进行了绝对校准,在实际观测期间,为了避免探头微小衰减的影响,每隔十天进行一次相对校准工作,校准结果由配套软件折算到观测值中。该探测器通过相关专用软件,可以测量获得太阳红斑紫外线强度,即红斑紫外线剂量率(Erythema UV dose rate)、红斑紫外线剂量(Erythral UV dose)以及紫外线指数(UV Index)等。本观测研究还利用德国 Trios 公司生产的 RAMSES-ACC-UV 紫外光谱仪[如图 5(b)所示]观测了西藏地面太阳紫外线的光谱特征。该光谱仪的有效观测波段为 280~

500 nm, 测量精度为 0.2 nm。该光谱仪在购置前由德国厂家进行了绝对校准, 属于世界气象组织认可

的通用太阳光谱仪, 图 5 显示了两种探测仪在西藏拉萨实地观测的情景。

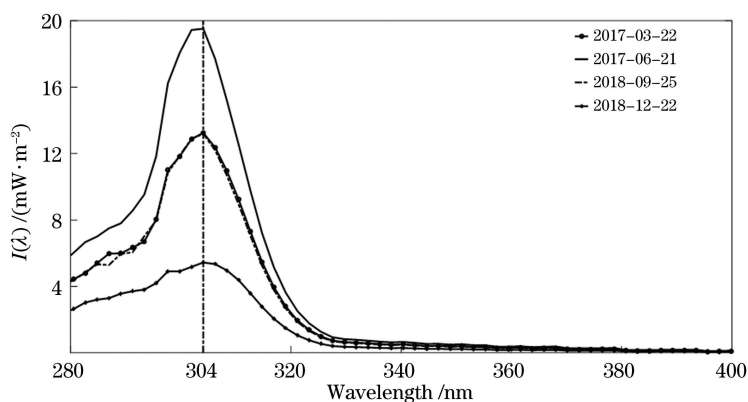


图 4 拉萨二分二至的正午单色太阳红斑紫外线强度随波长的变化规律

Fig. 4 Monochromatic solar erythemal ultraviolet intensity versus wavelength in Lhasa at local noon for two equinoxes and two solstices



图 5 观测仪器。(a) NILU-UV 太阳紫外线探测仪; (b) RAMSES-ACC-UV 紫外光谱仪

Fig. 5 Observation devices. (a) NILU-UV solar UV detector; (b) RAMSES-ACC-UV UV spectrometer

### 2.3 观测地点

本次观测研究选择了西藏具有代表性的三个观测点: 西藏西部珠峰地区(定日)、中部拉萨和东部林芝。西藏户外作业条件恶劣, 在满足必要条件的前提下, 在这三个地方建立了长期的观测站, 而在其他更高海拔地区只进行了短暂观测。由于所获数据有限, 故短暂观测数据没有录入本文。观测地点的地理位置和观测时间等信息如表 1 所示, 其中 GMT 为格林尼治标准时间。

表 1 列出了各观测地点的地理和时间等主要相关信息, 其中珠峰地区(定日)观测点位于离珠峰直线距离为 60 km 的定日县气象局内一楼顶, 这里满足气象观测条件。拉萨观测点位于西藏大学纳金校区第四教学楼顶层, 距北侧山体约 4.1 km, 距南侧山体约 2.5 km, 周围建筑对仪器基本无遮挡。林芝观测点位于林芝市巴宜区某高层建筑楼顶, 距离东面山体约 2.1 km, 距离西面山体约 8.31 km, 周围

物体为建筑和树木, 对仪器无遮挡, 基本满足观测要求。虽然各观测站点的仪器处于不间断的正常工作状态中(定日 2017—2018 年, 拉萨 2014—2018 年, 林芝 2014—2018 年), 但本文仅选择晴天的观测数据, 晴天所在的月份信息如表 1 所示。

## 3 观测结果

### 3.1 西藏晴天特征

本文通过分析太阳紫外线探测仪测量得到的云层穿透系数(大于 100%), 筛选出研究所需的绝对晴天。珠峰地区(定日)2017—2018 年共有 85 个晴天, 拉萨 2014—2018 年共有 209 个晴天, 林芝 2014—2018 年共有 81 个晴天, 观测期间西藏珠峰地区(定日)、拉萨和林芝每年的月平均晴天数如图 6 所示。值得注意的是, 拉萨和林芝的观测年份完全相同, 因此在 2014—2018 年这五年内, 两地的月均晴天数具有可比性。观测数据显示, 拉萨的月晴

表 1 太阳红斑紫外线观测信息

Table 1 Observation site information of solar erythemal UV radiation

Location	Altitude / m	Latitude	Longitude	Moment of local noon (GMT)	Observation time	Number of clear days /d
Tingri	4335	28°39'21"N	87°7'43"E	6:11	In 2017: January, February, March, October, November and December In 2018: January, February, March, April, September, October, November and December	85
Lhasa	3685	29°38'48"N	91°10'40"E	5:55	In 2014: January, February, June, October, November and December In 2015: January, February, March, September, October, November and December In 2016: January, February, March, October, November and December In 2017: January, February, September, October, November and December In 2018: January, February, March, April, October, November and December	209
Nyingchi	2995	29°38'37"N	94°19'56"E	5:42	In 2014: January, February and October In 2015: January, February, October, November and December In 2016: January, February, March, May, August, October, November and December In 2017: February, March, October and November In 2018: January, February, March, April, October, November and December	81

天数均多于林芝,甚至在 12 月份拉萨的月晴天数是林芝的 3 倍多;而珠峰地区(定日)的观测站建立较晚,所以在 2017—2018 年这两年内,定日的月均晴天数最多的月份为 1 月份(11 天),最少的月份为 6、7、8 月份,未出现本文严格定义的绝对晴天。

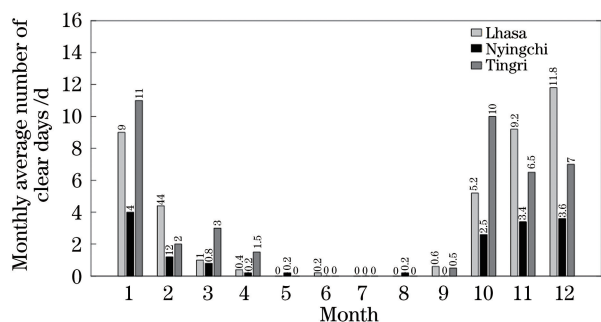


图 6 西藏三个地区的月均晴天数

Fig. 6 Number of clear days per month at three regions of Tibet

受限于版面,本文将三个站点的月均晴天数绘制于一幅图上,虽然不能完全两两对比,就各个站点

而言,依然可以看出,相比于 5—9 月,每年的 1—4 月和 10—12 月期间晴天数较多,符合西藏春夏多雨多云、秋冬多晴的气候特征<sup>[13]</sup>。

### 3.2 西藏晴天太阳红斑紫外线的日变化特征

为了得出西藏太阳红斑紫外线的日变化特征,本文在三个地点均选取了具有代表性的整年晴天太阳红斑紫外线数据,得出各个地区晴天太阳红斑紫外线的日变化特征。

图 7(a)是 2017 年上半年珠峰地区(定日)晴天太阳红斑紫外线强度的日变化特征。一条抛物线对应一个晴天,共计 16 条曲线,最低曲线对应 2017 年 1 月 2 日的,最高曲线(虚曲线)对应 2017 年 3 月 23 日。2017 年 4 月、5 月和 6 月没有晴天,2017 年 3 月 23 日是该年太阳红斑紫外线强度最大的一天,当日 06:21 太阳红斑紫外线强度达到峰值  $334.3 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ 。针对 2017 年上半年珠峰地区(定日)16 个晴天,通过分析计算每日最大剂量率出现的时间,发现每日最大剂量率的平均出现时间为 GMT06:20(实竖

线)。图 7(b)是 2017 年下半年珠峰地区(定日)晴天太阳红斑紫外线强度的日变化特征,共计 15 条曲线。可以看出,下半年的晴天太阳红斑紫外线强度明显低于上半年。2017 年 12 月 26 日为全年红斑紫外线强度最弱的一天(虚曲线),当日 06:13 红斑紫外线强度达到峰值  $130.7 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ,与 3 月 23 日的红斑紫外线强度峰值相差约 61%;且红斑紫外线强度最大值的平均出现时间也出现在了当地正午之前,即 GMT06:00(实竖线)。

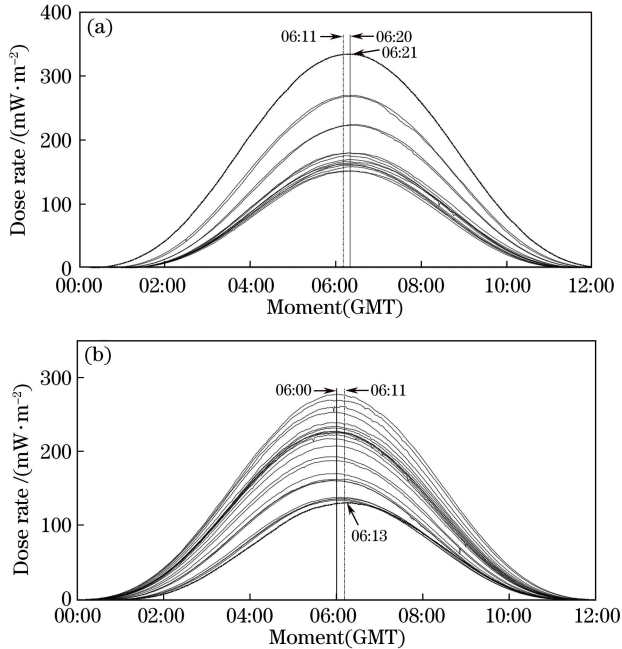


图 7 定日 2017 年晴天太阳红斑紫外线的日变化特征。

(a) 1 月—6 月;(b) 7 月—12 月

Fig. 7 Diurnal variation characteristics of solar erythemal UV radiation on clear days in 2017 at Tingri. (a) January—June; (b) July—December

图 8(a)是 2014 年上半年拉萨晴天太阳红斑紫外线强度的日变化特征,共计 10 条曲线。可以看出,拉萨 2014 年 6 月 17 日(夏至附近)太阳红斑紫外线强度(虚曲线)明显高于其他日期,2014 年 6 月 17 日成为当年太阳红斑紫外线强度最大的一天,当日 06:02 太阳红斑紫外线强度达到峰值  $344.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ;通过分析计算 2014 年上半年拉萨每日最大剂量率出现的时间,得出每日最大剂量率的平均出现时间为 GMT06:02(实竖线)。图 8(b)是 2014 年下半年拉萨晴天太阳红斑紫外线强度的日变化特征,共计 23 条曲线。与珠峰地区(定日)相似,拉萨下半年的太阳红斑紫外线强度整体同样低于上半年,并且太阳红斑紫外线强度最大值的平均出现时间也移至当地正午(GMT05:55 虚竖

线)之前,为 GMT05:45(实竖线)。图 8 还显示,2014 年 12 月 18 日为全年红斑紫外线辐射强度最弱的一天,当日 05:51 达到峰值  $102.1 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ,与 6 月 17 日的峰值相差约 70%。

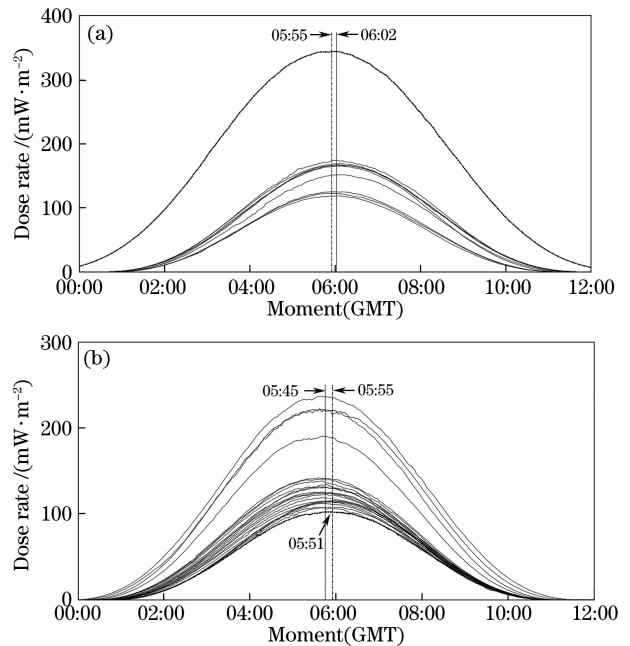


图 8 拉萨 2014 年晴天太阳红斑紫外线的日变化特征。

(a) 1 月—6 月;(b) 7 月—12 月

Fig. 8 Diurnal variation characteristics of solar erythemal UV radiation on clear days in 2014 in Lhasa. (a) January—June; (b) July—December

图 9 是林芝 2018 年晴天太阳红斑紫外线的日变化特征图,晴天太阳红斑紫外线强度最大值的平均出现时间表现为上半年的 GMT05:53 和下半年的 GMT05:35。如图 9(a)所示,林芝 2018 年 3 月 28 日的太阳红斑紫外线强度为全年最大,当日 05:57 达到峰值  $166.2 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ;如图 9(b)所示,林芝 2018 年 12 月 30 日为全年太阳红斑紫外线强度最弱的一天,当日 05:48 达到峰值  $62.78 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ ,3 月 28 日和 12 月 30 日的太阳红斑紫外线强度峰值相差约 62%。

根据图 7~9 发现,太阳红斑紫外线强度最大值出现的时间存在以下特征:在西藏三个观测点,晴天太阳红斑紫外线强度最大值并不出现在当地正午,而是出现在当地正午前后约 10 min 范围之内。如图 7 所示,珠峰地区(定日)当地正午为 GMT 06:11,上半年最大值的平均出现时间为 GMT 06:20,下半年最大值的平均出现时间为 GMT 06:00,平均摆动区间约为 20 min;如图 8 所示,拉萨当地正午为 GMT05:55,上半年最大值的平均出

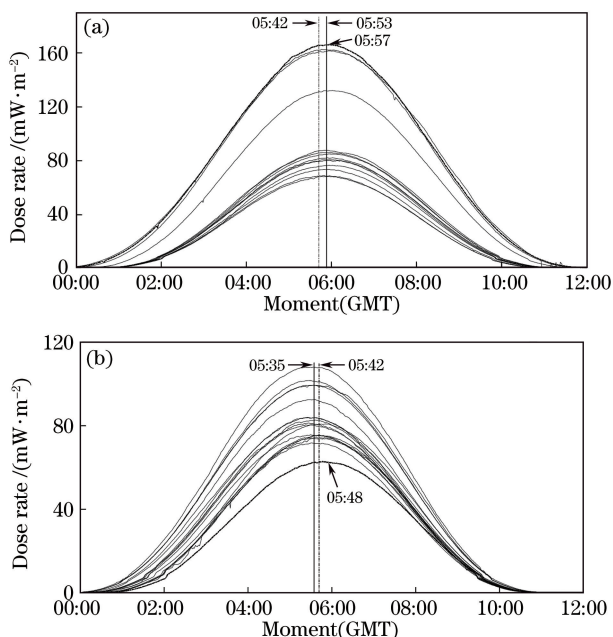


图 9 林芝 2018 年晴天太阳红斑紫外线的日变化特征。  
(a) 1 月—6 月; (b) 7 月—12 月

Fig. 9 Diurnal variation characteristics of solar erythemal UV radiation on clear days in 2018 at Nyingchi.  
(a) January—June; (b) July—December

现时间为 GMT06:02, 下半年最大值的平均出现时间为 GMT05:45, 平均摆动区间约为 12 min; 如图 9 所示, 林芝当地正午为 GMT05:42, 上半年最大值的平均出现时间为 GMT05:53, 下半年最大值的平均出现时间为 GMT05:35, 平均摆动区间约为 18 min。

晴天太阳红斑紫外线强度峰值不出现在当地正午, 这是由于地球自转轴与黄道面法线不重合, 太阳每天经过当地子午面的时间与平太阳时不重合, 因此每天时角都不一样。另外, 根据太阳和地球的运动规律可知, 若无周围环境的干扰, 上午(当地正午之前)与下午(当地正午之后)的太阳红斑紫外线曲线应高度重合, 但是大多数的晴天太阳红斑紫外线曲线并不重合。以拉萨 2014 年 2 月 8 日为例, 如图 10(a) 所示, 当天红斑紫外线强度最大值出现的时间刚好为当年 1—6 月份红斑紫外线强度最大值的平均出现时间 06:02(虚竖线)。以当地正午为中心(GMT05:55 实竖线), 将图 10(a) 曲线进行对折得到图 10(b), 可以看出, 上午与下午曲线完全不重合, 这主要是由于上午和下午的大气光学厚度不一致, 而影响晴天地面紫外线强度的大气因子主要有大气臭氧总量和大气气溶胶含量等<sup>[17]</sup>。

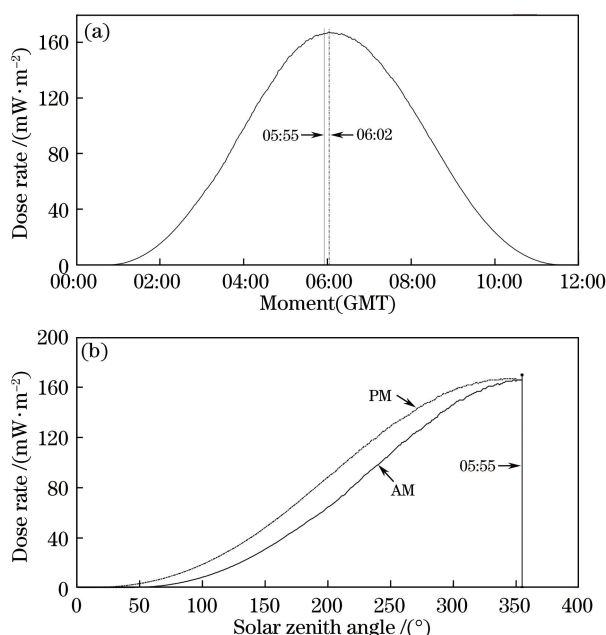


图 10 太阳红斑紫外线强度峰值的偏离。(a) 拉萨 2014 年 2 月 8 日的太阳红斑紫外线剂量率; (b) 拉萨 2014 年 2 月 8 日的太阳红斑紫外线剂量随太阳天顶角的变化

Fig. 10 Deviation of solar erythemal UV peak intensity.  
(a) Dose rate of solar erythemal UV radiation on February 8, 2014 in Lhasa; (b) dose rate of solar erythemal UV radiation versus solar zenith angle on February 8, 2014 in Lhasa

### 3.3 西藏晴天太阳红斑紫外线的日最大剂量率与日总剂量特征

珠峰地区(定日)、拉萨、林芝晴天太阳红斑紫外线的日最大剂量率与日总剂量特征分别如图 11、12 所示。可以看出, 在 2017—2018 年, 珠峰地区(定日)的晴天太阳红斑紫外线强度高于拉萨, 拉萨的晴天太阳红斑紫外线强度高于林芝; 在观测时间内, 珠峰地区(定日) 2018 年 4 月 21 日为当地两年中晴天日总剂量和日最大剂量率均最大的一天; 拉萨 2014 年 6 月 17 日为当地五年中晴天日总剂量和日最大剂量率均最大的一天; 林芝 2017 年 3 月 22 日为当地五年中晴天日剂量率最大的一天, 2016 年 8 月 18 日为当地五年中晴天日总剂量最大的一天。此外, 在日总剂量方面, 珠峰地区(定日)的日总剂量最高达  $7181.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ , 拉萨最高达  $7623.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ , 林芝最高则仅有  $3994.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  (仅相当于拉萨的 52%, 定日的 56%); 在日最大剂量率方面, 珠峰地区(定日)、拉萨、林芝的日最大剂量率分别为  $343.10, 344.20, 197.10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$ , 由此也证明了林芝地区作为西藏太阳辐射最弱的地区<sup>[14]</sup>, 晴天太阳红斑紫外线强度明显低于拉萨和珠峰地区(定日)。

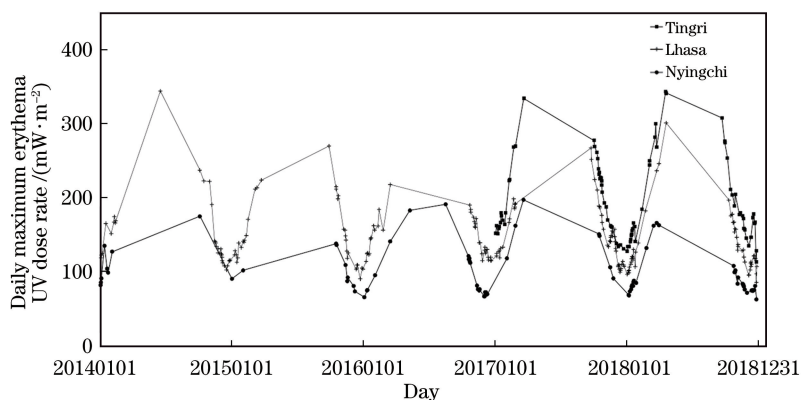


图 11 西藏三个地区晴天太阳红斑紫外线的每日最大剂量率

Fig. 11 Daily maximum dose rates of solar erythema UV radiation on clear days at three regions of Tibet

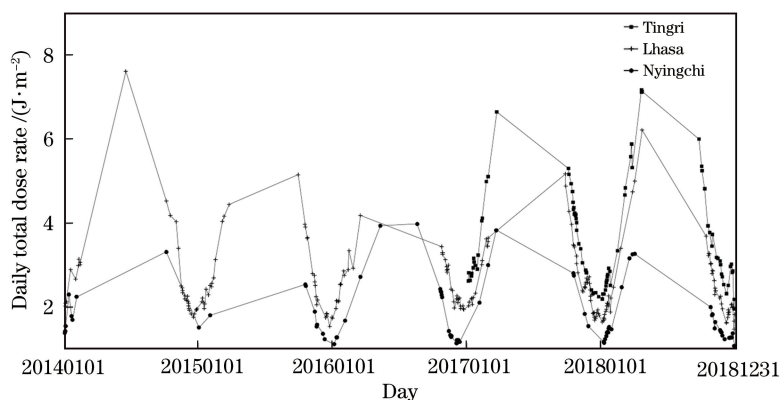


图 12 西藏三个地区晴天太阳红斑紫外线的每日总剂量

Fig. 12 Daily total dose rates of solar erythema UV radiation on clear days at three regions of Tibet

## 4 结 论

观测研究了西藏晴天太阳红斑紫外线,结果显示,西藏晴天主要分布在每年1—4月和10—12月,符合西藏秋冬多晴的气候特征,晴天太阳红斑紫外线强度具有明显的季节差异,夏季高,冬季低。西藏当日晴天太阳红斑紫外线强度曲线跟紫外线强度曲线一样呈光滑的抛物线状,抛物线的起止点(日出和日落时间)呈季节性变化,晴天太阳红斑紫外线最大强度出现的时间很少固定在当地正午,而是1—6月份峰值时间晚于当地正午,7—12月份峰值时间早于当地正午,这主要是由地球自转轴与黄道面法线不重合引起的。此外,观测结果显示,西藏晴天红斑紫外线的瞬时剂量率和日总剂量都很高,西藏定日的晴天太阳红斑紫外线的日总量达  $7181.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,拉萨达  $7623.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,林芝达  $3994.00 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ,极易引起人体皮肤红斑现象。同时,数据显示,西藏定日和拉萨的晴天太阳红斑紫外线日最大剂量率分别为  $343.10 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  (UVI 为 13.8) 和

$344.20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  (UVI 为 13.76), UVI 属于超强范围,而西藏林芝太阳红斑紫外线的日最大剂量率为  $166.20 \text{ mW} \cdot \text{m}^{-2}$  (UVI 为 6.64), UVI 属于中等范围。由于站点维护艰难及仪器故障等原因,加之西藏夏季很少出现晴天,故未从多个角度进行太阳红斑紫外线特征的综合对比研究。

## 参 考 文 献

- [1] Chu D. Variation characteristics of total atmospheric ozone in Tibet plateau in recent years [J]. *Tibet's Science & Technology*, 2003(4): 28-31.  
除多. 近几年青藏高原大气臭氧总量变化特征 [J]. *西藏科技*, 2003(4): 28-31.
- [2] Norsang G, Kocbach L, Tsoja W, et al. Ground-based measurements and modeling of solar UV-B radiation in Lhasa, Tibet [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, 43(8): 1498-1502.
- [3] Tosja W M, Duan J, Norsang G, et al. Human vitamin D measurement in Tibet [J]. *Pharmaceutical Biotechnology*, 2017, 24(5): 414-417.  
措加旺姆, 段杰, 诺桑, 等. 西藏人体维生素 D 测量



- [J]. 药物生物技术, 2017, 24(5): 414-417.
- [4] McKinlay A F, Diffey B L. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin [EB/OL]. (1987-01-15) [2020-01-21]. [https://www.researchgate.net/publication/285328504\\_A\\_reference\\_spectrum\\_for\\_ultraviolet\\_induced\\_erythema\\_in\\_human\\_skin](https://www.researchgate.net/publication/285328504_A_reference_spectrum_for_ultraviolet_induced_erythema_in_human_skin).
- [5] Narayanan D L, Saladi R N, Fox J L. Ultraviolet radiation and skin cancer[J]. International Journal of Dermatology, 2010, 49(9): 978-986.
- [6] Norsang G, Jin Y M, Tsoja W M, et al. Ground-based measurements of global solar radiation and UV radiation in Tibet [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(6): 1683-1688.  
诺桑, 晋亚铭, 措加旺姆, 等. 西藏地面太阳总辐射与紫外线的观测[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(6): 1683-1688.
- [7] Norsang G, Cuoja, Zhaduo, et al. Discusses Lhasa urban district rat damage and the measure of science preventing and controlling shallowly [J]. Journal of Tibet University(Natural Science Edition), 2009, 24(1): 5-9.  
诺桑, 措加, 扎多, 等. 云层对西藏两点太阳紫外线的影响[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2009, 24(6): 5-9.
- [8] Norsang G, Kocbach L, Stamnes J J, et al. Spatial distribution and temporal variation of solar UV radiation over the Tibetan Plateau [J]. Applied Physics Research, 2011, 3(1): 37.
- [9] Gelsor N, Pingcuo N M, Wangmu T, et al. Solar UV irradiance measurements at four sites in Tibet [J]. Journal of the Institute of Engineering, 2012, 8(3): 75-86.
- [10] Norsang G, Chen Y C, Pingcuo N M, et al. Comparison of ground-based measurements of solar UV radiation at four sites on the Tibetan Plateau[J]. Applied Optics, 2014, 53(4): 736-747.
- [11] Zhao D, Norsang G, Tsoja W M, et al. Measurements of solar UV radiation in Lhasa, Tibet [J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2018, 13(2): 81-87.  
赵地, 诺桑, 措加旺姆, 等. 西藏拉萨地区太阳紫外辐射观测[J]. 大气与环境光学学报, 2018, 13(2): 81-87.
- [12] Zhou Y, Norsang G, Tsoja W M, et al. Ground-based measurements of solar spectrum in Tibet [J]. Journal of Earth Environment, 2018, 9(2): 193-199.  
周毅, 诺桑, 措加旺姆, 等. 西藏地面太阳光谱观测[J]. 地球环境学报, 2018, 9(2): 193-199.
- [13] Jin Y M, Norsang G, Tsoja W M, et al. Observation of solar radiation in Ali, Tibet [J]. Heilongjiang Science, 2019, 10(2): 28-34.  
晋亚铭, 诺桑, 措加旺姆, 等. 西藏阿里太阳辐射观测[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(2): 28-34.
- [14] Norsang, Pu Dawa, Dawa Cangjiu, et al. The measurements of solar erythemal UV radiation in Qinghai-Tibet plateau [J]. Journal of Tibet University(Natural Science Edition), 2008(2): 1-5.  
诺桑, 普达瓦, 达娃仓决, 等. 西藏高原太阳红斑紫外线的测量[J]. 西藏大学学报(自然科学版), 2008(2): 1-5.
- [15] Li Y X, Norsang G, Tsoja W M. Application of maximum entropy principle in the observation of ultraviolet radiation from the sun erythema [J]. Chinese High-tech Enterprises, 2016(9): 45-46.  
李永鑫, 诺桑, 措加旺姆. 最大熵原理在太阳红斑紫外线观测中的应用[J]. 中国高新技术企业, 2016(9): 45-46.
- [16] Hu X K, Gao H L, Cheng T H. Atmospheric correction method based on spectral matching [J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(8): 0801003.  
胡新凯, 高海亮, 程天海. 基于光谱匹配的大气校正方法[J]. 光学学报, 2019, 39(8): 0801003.
- [17] Zhao Z J, Xu F Y, Xu S C, et al. Measurement of atmospheric infrared radiance and extinction characteristics [J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(4): 0401004.  
赵志军, 许方宇, 徐世春, 等. 大气红外辐射及消光特性实测研究 [J]. 光学学报, 2018, 38(4): 0401004.