

朱宾宾,孙双红,李艳红,等.呼伦贝尔沙地紫外辐射和太阳总辐射特征[J].中国沙漠,2021,41(1):111-118.

# 呼伦贝尔沙地紫外辐射和太阳总辐射特征

朱宾宾<sup>1,2</sup>, 孙双红<sup>1,2</sup>, 李艳红<sup>1,2</sup>, 张红蕾<sup>1,2</sup>, 景璐<sup>1,2</sup>,  
王立军<sup>1,2</sup>, 曹伟<sup>3</sup>

(1.呼伦贝尔市林业科学研究所, 内蒙古 海拉尔 021000; 2.内蒙古呼伦贝尔沙地生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古 鄂温克 021100; 3.呼伦贝尔市生产力促进中心, 内蒙古 海拉尔 021000)

**摘要:** 利用呼伦贝尔沙地鄂温克自治旗2019年观测的辐射资料,对该地区的紫外辐射和总辐射进行了初步分析。结果表明:紫外辐射、总辐射年变化位相基本相同,年曝辐量分别为240.33、5 142.41 MJ·m<sup>-2</sup>,年均日曝辐量分别为0.66、14.09 MJ·m<sup>-2</sup>,紫外辐射年均日曝辐量小于西藏拉萨地区;紫外辐射辐照度和总辐射辐照度最大值出现在6月,分别为50.09、1 075 W·m<sup>-2</sup>,最小值出现在12月;紫外辐射和总辐射皆表现为夏季>春季>秋季>冬季;沙尘暴对太阳辐射的减弱作用最明显,分别对紫外辐射和总辐射削减78.46%和76.19%,降雨减弱作用较小;紫外辐射日均曝辐量在总辐射中所占比例集中在3.42%—4.95%,年均值为4.64%,大于塔克拉玛干沙漠肖塘地区。

**关键词:** 紫外辐射; 总辐射; 呼伦贝尔沙地

**文章编号:** 1000-694X(2021)01-111-08

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00116

**中图分类号:** P422

**文献标志码:** A

## 0 引言

太阳辐射是地球生态系统的最主要能量来源<sup>[1-3]</sup>,更是气候形成和演变的基本动力,紫外辐射(solar ultraviolet radiation, UV-radiation)是太阳辐射中的特殊波段<sup>[4]</sup>,波长5—400 nm。研究显示,地球上的紫外辐射占太阳总辐射的比重为4.6%—5.9%(均值为5.4%)<sup>[5]</sup>。紫外辐射的光量子能量较高,产生的光化学作用和植物光合作用等生物化学效应显著,备受学术界关注<sup>[6]</sup>。云量和气溶胶对太阳辐射有一定削弱作用<sup>[7-10]</sup>。Wild等<sup>[11]</sup>的研究显示,从20世纪50年代以来,受大量燃烧化学能源的影响,全球许多地区的地面太阳总辐射呈下降趋势<sup>[10]</sup>;Streets等<sup>[12]</sup>指出,1960—1989年,中国太阳辐射减少2.7—5.7 W·m<sup>-2</sup>;Liang等<sup>[13]</sup>指出,1960—2000年,中国太阳辐射减少3%左右。针对紫外辐射和太阳总辐射,国内学者也开展了较多的研究。李晓文等<sup>[14]</sup>的研究结果显示,1961—1990年,中国太阳总辐射呈减少趋势。徐群<sup>[15]</sup>指出,1959—1987

年,中国冬季太阳辐射每10年减少3.9%。李江风<sup>[16]</sup>利用塔克拉玛干沙漠多年气象资料揭示了沙漠地区的太阳辐射分布规律。何清等<sup>[17]</sup>指出塔克拉玛干沙漠腹地太阳总辐射受云量和沙尘的影响最显著<sup>[17]</sup>。顾润源等<sup>[18]</sup>研究了内蒙古地区沙尘天气对半干旱草原紫外辐射和太阳总辐射的影响。胡波等<sup>[5]</sup>分析了北京城区紫外辐射的变化特征,并建立了估算方程。马金玉等<sup>[19]</sup>指出华北平原北部紫外辐射与总辐射的日变化在冬季和秋季呈浅“U”字型,晴天紫外辐射占太阳总辐射比例仅为0.15%—0.30%。祝青林等<sup>[20]</sup>发现,青藏高原是中国紫外辐射的高值区,四川盆地周围一带是低值区,西北地区紫外辐射明显大于东南地区。尽管以往的研究揭示了中国西部大部分地区的紫外辐射、总辐射的一些特征及其关系,然而,在高纬度寒冷、干旱的东北沙区相关研究亟待补充和加强。呼伦贝尔沙区位于中国东北大兴安岭森林与呼伦贝尔草原过渡带,独特的地理特性使呼伦贝尔沙地的能量流动对中国东北寒、旱区的气候变化和生态环境有

收稿日期:2020-08-31; 改回日期:2020-10-24

资助项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(2020MS03020);中央财政林业科技推广示范项目(内林科推[2016]01号)

作者简介:朱宾宾(1991—),男,吉林人,硕士,主要从事人工林抚育与荒漠化防治研究。E-mail: zhubinbinshong@163.com

通信作者:孙双红(E-mail: 760848356@qq.com)

着重要影响,因此在呼伦贝尔开展高寒沙地太阳辐射的研究意义重大。

本文利用内蒙古呼伦贝尔沙地生态系统国家定位观测研究站2019年的辐射观测资料,结合当地气象局所测得的气象资料,详细地分析了呼伦贝尔沙地紫外辐射和太阳总辐射年、季节变化和典型天气下日变化特征,为研究东北亚湿润半干旱区的辐射收支平衡和气候变化机制提供参数和依据。

## 1 研究区与方法

### 1.1 研究区概况

研究区设在内蒙古呼伦贝尔沙地生态系统国家定位观测研究站( $49^{\circ}03'21.59''\text{N}$ 、 $120^{\circ}27'24.82''\text{E}$ ,图1),该站地处鄂温克族自治旗莫和尔图林场内。呼伦贝尔沙地以条带状沿海拉尔河、辉河、伊敏河及呼伦湖东岸分布,以固定和半固定沙地为主,约占呼伦贝尔沙化土地总面积的64.40%,流动沙地面积较少,约占沙化土地面积的2.15%。气候类型属于温带半干旱、半湿润区,年均气温 $-5\sim-2^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温 $38^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $-40.2^{\circ}\text{C}$ ,无霜期90—100 d,年降水量280—400 mm,年潜在蒸发量1 400—1 900 mm。年平均风速 $3.2\sim4.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,年大风天数31.8—38 d,多在春季干旱时期。干燥度1.2—1.5。降水量从东向西递减,而且70%的降水量集中在7—8月。年日照时数为3 104.7 h,日照百分率70%左右,平均相对湿度61%。

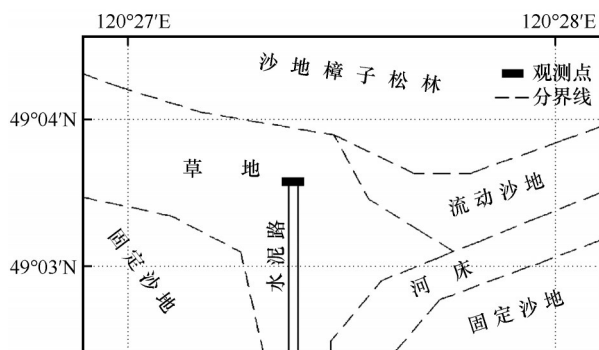


图1 观测点地理位置

Fig.1 The location of observation

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 数据采集

太阳辐射数据来自呼伦贝尔沙地站自动气象站。太阳辐射传感器均来自荷兰 KIPP & ZONEN

公司,其中,太阳总辐射传感器(CMP11)光谱波长为285—2 800 nm,紫外辐射传感器(CUV5)光谱波长为280—400 nm。采集器(CR1000)来自美国 Campbell公司。呼伦贝尔时区属东八区,采集器时钟采用北京时。数据采集间隔为1 s,并输出1 min、5 min和30 min均值,同时保存在专用数据库中。

#### 1.2.2 数据处理

晴天和降雨根据天空云量、大气降水来确定。晴天(云量<2成),降雨(云量>8成,伴有降水),沙尘暴以水平能见度确定(水平能见度<1 km)。以8月1、2日代表晴天(云量1成),6月26、27日代表降雨天气(云量9成,日降雨量分别为12、15 mm),5月15、16日代表沙尘暴天气(水平能见度分别为700、900 m),4月17日代表草原火灾(陈巴尔虎旗草原火灾)。根据气象划分法,选用一年中1、4、7、10月,分别代表冬、春、夏、秋季。结合呼伦贝尔当地历史气象资料,准确界定日出和日落时间,剔除日出前和日落后所采集的数据,在剔除不合理数据后,再对原始数据进行科学筛选,计算其平均值和方差,剔除原始数据中大于3倍标准差的数据<sup>[21]</sup>,最后采用SPSS统计软件进行数据分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫外辐射与总辐射的年变化

从图2可以看出,紫外辐射与总辐射年变化位相基本相同,均呈“双峰”倒“U”型分布。6月,紫外辐射月曝辐量最大,为 $35.31\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,高于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带<sup>[22]</sup>( $32.80\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),低于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[23]</sup>( $38.03\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,7月)和祁连山海拔高寒草甸区<sup>[24]</sup>( $41.62\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,5月)。12月,紫外辐射月曝辐量达到一年中的最小值( $5.77\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),低于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带<sup>[22]</sup>( $8.68\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。6月,总辐射的月曝辐量最大,为 $724.57\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,高于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[23]</sup>( $706.86\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )和北缘过渡带<sup>[22]</sup>( $671.66\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),低于张掖绿洲地区<sup>[25]</sup>( $737.28\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。12月,总辐射的月曝辐量达到一年中的最小值( $122.44\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。从年曝辐量来看,紫外辐射的年曝辐量达 $240.33\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,为总辐射年曝辐量( $5\,142.41\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )的4.67%,紫外辐射、总辐射年曝辐量略低于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带( $242.62$ 、 $5\,441.31\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),远低于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[23]</sup>( $305.6$ 、 $6\,059.1\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。呼伦贝尔沙地紫

外辐射最大值和最小值分别出现在6月和12月,与新疆肖塘地区相同<sup>[22]</sup>,有别于黑河流域绿洲(7月、12月)<sup>[26]</sup>。从图2可以看出,紫外辐射和总辐射在下降过程均出现了一次“次峰值”的现象,其中总辐射的“双峰”现象与新疆肖塘地区一致<sup>[27]</sup>。

2.2 紫外辐射与总辐射的季节特征

从图3可以看到,一年四季,紫外辐射和总辐射平均日变化规律趋于一致,12:00左右达到最大值,最大值前、后呈近似对称状态。从图3曲线的斜率变化可见,紫外辐射和总辐射在日出后、日落前的一段时间里变化剧烈,中午变化相对平缓,此现象可能与日内太阳高度角、大气质量变化过程有关<sup>[28]</sup>。7月,紫外辐射、总辐射日均辐照度均于12:00达到峰值,分别为30.01、657.45 W·m<sup>-2</sup>;1月,紫外辐射、总辐射分别于13:00和12:00达到峰值,平均辐照度分

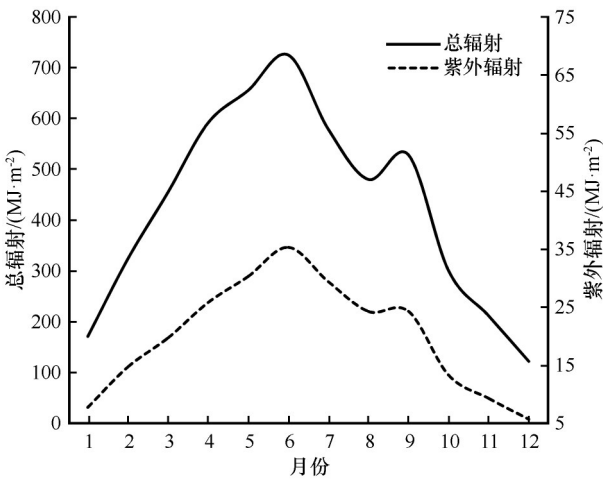


图2 呼伦贝尔沙地紫外辐射和总辐射年内变化  
Fig.2 Annual variation of ultraviolet radiation and total radiation in the Hulun Buir Sandy Land

别为15.64、342.05 W·m<sup>-2</sup>,比7月分别少了53.61%、46.26%;4月,紫外辐射、总辐射均于13:00达到峰

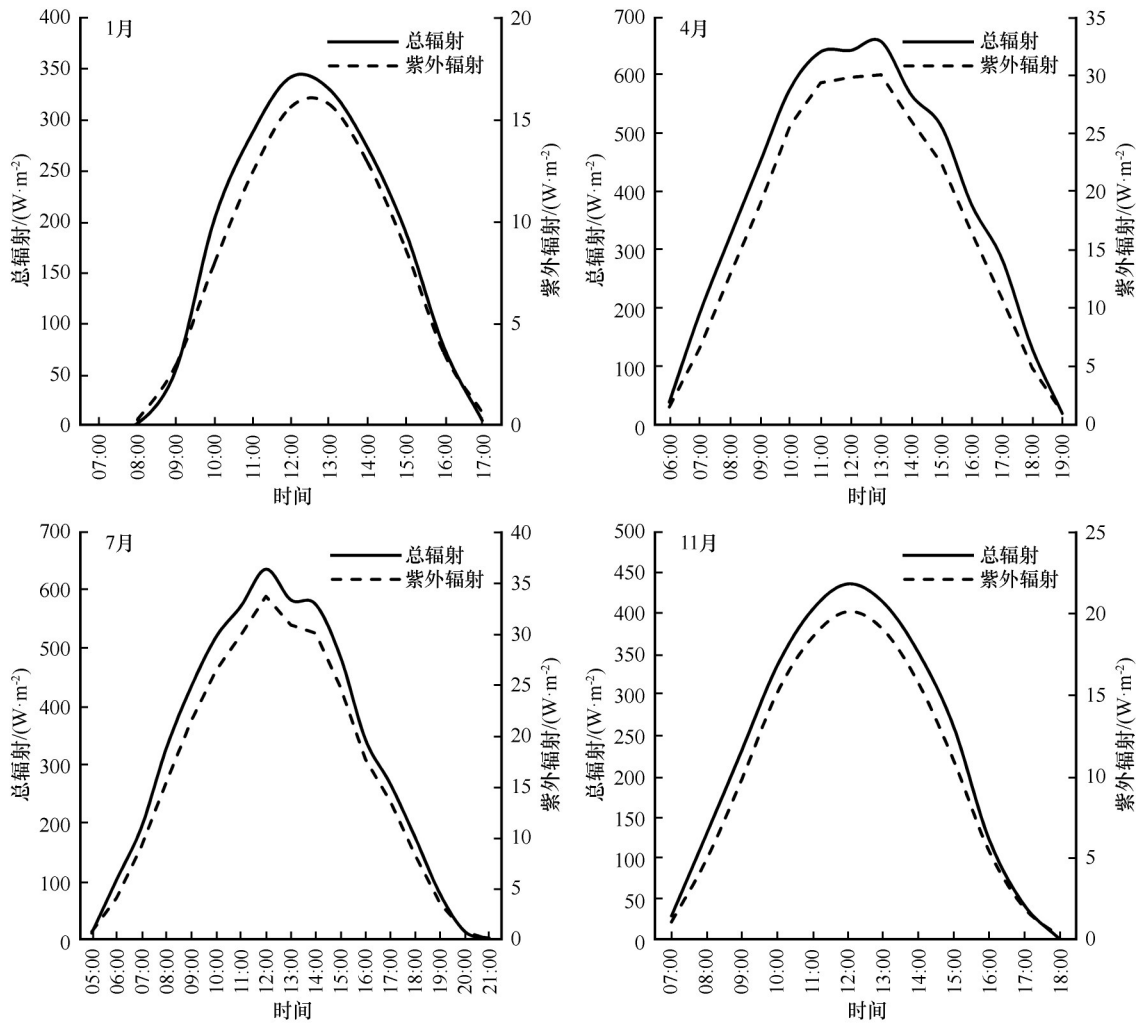


图3 呼伦贝尔沙地紫外辐射和总辐射季节特征  
Fig.3 Seasonal variation of ultraviolet radiation and total radiation in the Hulun Buir Sandy Land

值,平均辐照度分别为  $33.72$ 、 $636.54 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ;10月,紫外辐射、总辐射平均辐照度均于12:00到达最大值( $20.11$ 、 $436.11 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ),紫外辐射最大值为总辐射最大值的4.47%。紫外辐射、总辐射季节辐照度从大到小依次为夏季( $89.03$ 、 $1\,783.01 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>春季( $75.87$ 、 $1\,700.65 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>秋季( $47.06$ 、 $1\,040.66 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>冬季( $28.37$ 、 $618.27 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),夏季的紫外辐射辐照度和总辐射辐照度分别为冬季的3.14倍和2.88倍。

### 2.3 典型天气条件下紫外辐射与总辐射的日变化

从图4可以看出,在典型天气条件下,紫外辐射与总辐射的变化规律基本一致。晴天时,紫外辐射和总辐射通量均高于降雨、草原火灾和沙尘暴天气。晴天时,紫外辐射、总辐射通量的日变化皆呈倒“U”型,即早晚辐射通量较小,随着太阳高度角

的增大,辐射通量随着增大,到正午12:00时达到最大值(图4A),分别为  $37.94$ 、 $789.77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ,晴天紫外辐射、总辐射日曝辐量分别为  $1.12$ 、 $24.15 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ,紫外辐射日曝辐量约为总辐射的4.64%。降雨条件下(图4B),到达地表的辐射虽然仍表现出明显的日循环规律,由于云对太阳辐射的反射和吸收,紫外辐射和总辐射的日曝辐量分别比晴天减少了13.48%和22.94%,紫外辐射日曝辐量约为总辐射的1/19。草原火灾天气时(图4C),受浮尘对太阳辐射的反射和吸收的影响,到达地面的辐射表现出略微的不规则性,紫外辐射和总辐射的日曝辐量分别比晴天减少了35.78%和38.06%,紫外辐射日曝辐量约为总辐射的1/21;沙尘暴天气(图4D),总辐射和紫外辐射的波动最大,到达地面的辐射表现出不规则的多峰规律,受扬沙的影响,紫外辐射和总辐射的日曝辐量分别比晴天减少了78.46%和76.19%,紫外

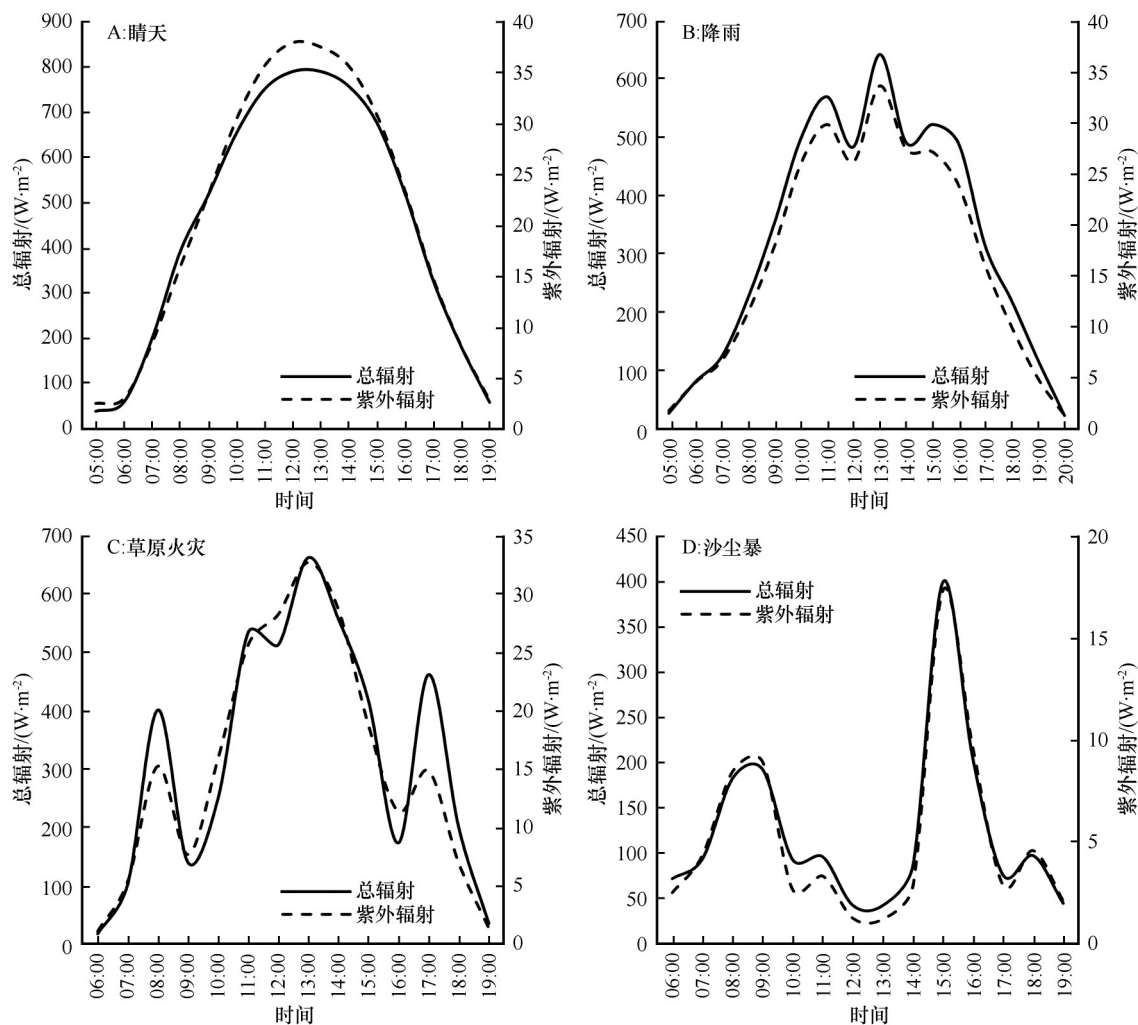


图4 典型天气条件下呼伦贝尔沙地紫外辐射和总辐射日内变化

Fig.4 Diurnal variation of ultraviolet radiation and total radiation in the Hulun Buir Sandy Land in typical weather



辐射日曝辐量约为总辐射日曝辐量的 1/24。由此可见,受云量、浮尘和扬沙的影响,紫外辐射和太阳总辐射均表现出了不同程度的减小现象,尤其在沙尘暴天气,辐射降幅最大,说明沙尘对到达地表辐射的影响很大。

2.4 紫外辐射和总辐射的关系及其比值

2.4.1 紫外辐射和总辐射的关系

从表 1 可以看出,紫外辐射、总辐射的日曝辐量年均值分别为 0.67、14.29 MJ·m<sup>-2</sup>,其中,紫外辐射日曝辐量年均值小于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[23]</sup>(0.84 MJ·m<sup>-2</sup>)、太湖<sup>[29]</sup>(0.73 MJ·m<sup>-2</sup>)和五道梁地区<sup>[30]</sup>(0.73 MJ·m<sup>-2</sup>),大于黑河流域绿洲<sup>[26]</sup>(0.48 MJ·m<sup>-2</sup>),

而与塔克拉玛干沙漠北缘过渡带相差不大<sup>[22]</sup>(0.68 MJ·m<sup>-2</sup>)。紫外辐射和总辐射辐照度最大值均出现在 6 月,最小值均出现在 12 月,其中紫外辐射辐照度最大值(50.09 W·m<sup>-2</sup>)是最小值(14.91 W·m<sup>-2</sup>)的 3.36 倍,分别低于塔克拉玛干沙漠腹地的紫外辐射辐照度最大值(66.9 W·m<sup>-2</sup>)和辐照度最小值(27.9 W·m<sup>-2</sup>);总辐射辐照度最大值为 1 075 W·m<sup>-2</sup>,小于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[16]</sup>(1 182.6 W·m<sup>-2</sup>)和塔克拉玛干沙漠北缘过渡带<sup>[22]</sup>(1 329.6 W·m<sup>-2</sup>)。紫外辐射作为总辐射的一个光谱段,二者存在显著的正相关性<sup>[22]</sup>,然而不同的影响因子对紫外辐射和总辐射的作用不同,这些差异主要表现在紫外辐射在总辐射中所占比例<sup>[31]</sup>。

表 1 紫外辐射和总辐射曝辐量月均值及其辐照度最大值  
Table 1 The monthly mean value of exposure and maximum value of irradiance about ultraviolet radiation and total radiation

参数	月份												均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
紫外辐射辐照度最大值/(W·m <sup>-2</sup> )	20.89	27.05	37.32	42.29	49.48	50.09	47.83	44.18	37.69	30.07	19.41	14.91	35.10
总辐射辐照度最大值/(W·m <sup>-2</sup> )	453.0	575.5	897.0	973.0	1074.0	1075.0	980.0	903.0	786.0	763.2	460.5	380.20	776.70
紫外辐射日曝辐量均值/(MJ·m <sup>-2</sup> )	0.26	0.49	0.66	0.86	1.01	1.18	0.98	0.81	0.81	0.45	0.31	0.19	0.67
总辐射日曝辐量均值/(MJ·m <sup>-2</sup> )	5.72	10.81	15.16	19.70	21.83	24.15	19.28	16.00	17.60	10.02	7.07	4.08	14.29
紫外辐射占总辐射比例/%	4.57	4.55	4.34	4.37	4.63	4.87	5.08	5.07	4.61	4.45	4.41	4.71	4.64

2.4.2 紫外辐射与总辐射比值的月变化

从表 1 可以看出,紫外辐射年均日曝辐量在总辐射中所占的比例为 4.64%,大于黑河流域绿洲<sup>[26]</sup>(2.9%)、五道梁<sup>[30]</sup>(4.3%)和塔克拉玛干沙漠北缘过渡带<sup>[22]</sup>(4.45%),小于塔克拉玛干沙漠腹地<sup>[16]</sup>(4.99%)和北京地区<sup>[32]</sup>。紫外辐射在总辐射中所占比例有明显的年变化,即夏季大、春季小,最高值出现在 7 月,为 5.08%,比最低值 4.34% 高了 16.36%,而塔克拉玛干沙漠腹地和青藏高原地区年变化则表现为夏季大、冬季小<sup>[33]</sup>。

2.4.3 紫外辐射与总辐射比值的日变化

从表 2 可以看出:12 月,紫外辐射占总辐射比值最高,4 月,比值最低,1—12 月日最高比值为最低比值的 1—1.4 倍。紫外辐射日均曝辐量在总辐射中所占比例的变化范围为 3.10%—6.84%,平均值为 4.64%,其中 65.12% 的比值集中分布在 3.42%—4.95%,小于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带分布范围<sup>[22]</sup>(3.36%—5.04%),而世界各地的紫外辐射占总辐射比值的变化范围为 4.6%—5.9%,均值为 5.4%<sup>[5]</sup>。

年内除夏季 6、7 月和 8 月外,其余月份均表现为:日间早、晚波动性较强,日出后 1—2 h 内,比值骤减,日落前 1—2 h 内,比值骤增。这与新疆塔克拉玛干沙漠北缘过渡带日出、日落时较大,正午前后 1—4 h 内相对较低的结果类似<sup>[22]</sup>,江灏等<sup>[26]</sup>在黑河流域绿洲的研究结果也显示冬季早晚有突变的情况<sup>[26]</sup>,突变的现象可能与早晚空气湿度大、水汽含量高以及饱和度小等因素有关。

3 结论与讨论

呼伦贝尔沙地 2019 年紫外辐射和总辐射年变化位相基本相同。紫外辐射年曝辐量达 240.33 MJ·m<sup>-2</sup>,为总辐射年曝辐量(5 142.41 MJ·m<sup>-2</sup>)的 4.67%,紫外辐射和总辐射的年均日曝辐量分别为 0.67 MJ·m<sup>-2</sup>和 14.29 MJ·m<sup>-2</sup>,紫外辐射年曝辐量高于黑河流域绿洲,低于西藏拉萨地区<sup>[26]</sup>,比塔克拉玛干沙漠腹地减少近 21.35%;紫外辐射月曝辐量最大值出现在 6 月,为 35.31 MJ·m<sup>-2</sup>,高于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带(32.80 MJ·m<sup>-2</sup>),低于塔克拉玛干沙漠腹地

表 2 紫外辐射占总辐射比例(%)的日变化

Table 2 Diurnal variation of the ratio of ultraviolet radiation to total radiation (%)

时间	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
05:00					6.61	4.98	6.82					
06:00				3.90	3.81	3.95	3.98	4.93	7.75			
07:00			4.54	3.42	4.04	4.24	4.75	4.48	3.75	4.71		
08:00		3.10	3.46	3.97	4.41	4.50	4.71	4.95	4.31	3.80	4.23	5.34
09:00	5.44	3.86	3.96	4.19	4.52	4.76	4.94	4.95	4.46	4.24	3.80	4.59
10:00	3.94	4.30	4.27	4.45	4.60	4.95	5.08	5.01	4.61	4.51	4.13	4.54
11:00	4.32	4.61	4.47	4.59	4.71	5.04	5.22	5.19	4.73	4.58	4.44	4.69
12:00	4.57	4.82	4.53	4.64	4.79	5.06	5.30	5.25	4.78	4.61	4.56	4.78
13:00	4.77	4.85	4.54	4.56	4.83	5.04	5.29	5.29	4.77	4.60	4.66	4.62
14:00	4.74	4.76	4.42	4.61	4.94	5.15	5.22	5.22	4.71	4.47	4.55	4.68
15:00	4.56	4.55	4.42	4.39	4.77	5.04	5.10	5.12	4.60	4.21	4.37	4.55
16:00	4.63	4.23	4.29	4.36	4.57	4.95	5.14	4.87	4.37	4.41	4.47	5.17
17:00		4.22	4.09	3.81	4.41	4.63	5.08	4.70	4.03	4.57	7.31	
18:00			4.88	3.71	4.21	4.50	4.73	4.65	5.03			
19:00				5.43	3.94	4.14	4.55	4.86				
20:00					6.84	6.17	5.47					
均值	4.62	4.33	4.32	4.29	4.75	4.76	4.88	5.26	4.76	4.34	4.65	5.00

( $38.03 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )<sup>[22]</sup>;总辐射的月曝辐量最高值为  $724.57 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (6月),高于塔克拉玛干沙漠北缘肖塘地区和陇中黄土高原<sup>[34]</sup>,低于巴丹吉林沙漠拐子湖地区( $792.74 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )和塔克拉玛干沙漠塔中地区( $768.7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )<sup>[35-36]</sup>,最大值出现时间有别于新疆肖塘地区和哈德地区(7月)<sup>[37]</sup>,与国外埃及、叙利亚和沙特阿拉伯地区基本一致<sup>[38-40]</sup>;紫外辐射和总辐射年变化过程于秋季9月出现次峰值,导致呼伦贝尔沙地秋天气温升高,此现象与塔克拉玛干沙漠肖塘地区的双峰型相似<sup>[27]</sup>。

受太阳高度角、大气质量影响,夏季7月的紫外辐射和总辐射季节辐照度变化幅度大于冬季1月,季节紫外辐射、总辐射季节曝辐量从大到小依次为夏季( $89.03$ 、 $1\ 783.01 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>春季( $75.87$ 、 $1\ 700.65 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>秋季( $47.06$ 、 $1\ 040.66 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>冬季( $28.37$ 、 $618.27 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ),夏季曝辐量分别为冬季的3.14倍和2.88倍。

受空气质量的影响,降雨、草原火灾和沙尘暴天气的紫外辐射和总辐射通量日变化规律性不及晴天。降雨天气紫外辐射和总辐射的日曝辐量分

别比晴天少了13.48%和22.94%,沙尘暴天气紫外辐射和总辐射的日曝辐量分别比晴天减少了78.46%和76.19%,高于塔克拉玛干沙漠北缘过渡带的69%<sup>[24]</sup>。紫外辐射、总辐射典型天气日曝辐量从大到小依次均为:晴天( $1.12$ 、 $24.15 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>降雨( $0.96$ 、 $18.61 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>草原火灾( $0.72$ 、 $14.96 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )>沙尘暴( $0.24$ 、 $5.7 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。

呼伦贝尔沙地紫外辐射年均日曝辐量在总辐射中所占的比例主要在3.42%—4.95%,比例达65.12%,年均值为4.64%,大于黑河流域绿洲(2.9%)<sup>[26]</sup>和塔克拉玛干沙漠北缘过渡带(4.45%)<sup>[22]</sup>,小于塔克拉玛干沙漠腹地(4.99%)<sup>[16]</sup>,然而影响因子对紫外辐射和总辐射的作用不同,紫外辐射在总辐射中所占比例有明显的年变化,即夏季大,春季小,与塔克拉玛干沙漠腹地、青藏高原地区的变化相似<sup>[33]</sup>,与北京地区的变化相反<sup>[32]</sup>;日变化表现为日出、日落时比值较大,正午前后1—4 h内较低,与黑河流域绿洲的情况相类似<sup>[26]</sup>,此结果可能与早晚空气湿度大、水汽含量高以及饱和度小等因素有关<sup>[22]</sup>。

## 参考文献：

- [1] 熊燕琳. 四川风能太阳能资源分布及气象影响因素研究[D]. 成都: 成都信息工程大学, 2019.
- [2] 胡亚男, 李兴华, 郝玉珠. 内蒙古太阳能资源时空分布特征与评估研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(12): 132-138.
- [3] 胡景波, 邱杰, 王磊, 等. 湖州地区辐射影响因子分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(2): 161-166.
- [4] 何清, 金莉莉, 杨兴华. 沙漠腹地紫外辐射特征及影响因子分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(5): 7-14.
- [5] 胡波, 王跃思, 刘广仁. 北京城市紫外辐射变化特征及经验估算方程[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 511-518.
- [6] 何清, 金莉莉, 李帅, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地太阳紫外辐射特征[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1462-1470.
- [7] 王宏, 郑秋萍, 蒋东升, 等. 福州市太阳总辐射变化特征及与PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>关系分析[J]. 生态环境学报, 2020, 29(4): 771-777.
- [8] 申彦波, 张顺谦, 郭鹏, 等. 四川省太阳能资源气候学计算[J]. 应用气象学报, 2014, 25(4): 493-498.
- [9] 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.
- [10] 殷代英, 屈建军, 余晔, 等. 敦煌湖泊湿地生态系统地表辐射平衡特征[J]. 中国沙漠, 2018, 38(1): 172-181.
- [11] 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.
- [12] Streets D G, Yu C, Wu Y, et al. Aerosol trends over China, 1980-2000[J]. Atmospheric Research, 2008, 88(2): 174-182.
- [13] Liang F, Xia X A. Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961-2000[J]. Annales Geophysicae, 2005, 23(7): 2425-2432.
- [14] 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): 3-5.
- [15] 徐群. 近29年冬季我国太阳辐射的显著变化[J]. 中国科学(B辑), 1990(10): 1112-1120.
- [16] 李江风. 塔克拉玛干沙漠气候和利用[J]. 干旱区研究, 1989(1): 1-8.
- [17] 何清, 金莉莉, 李帅, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地太阳紫外辐射特征[J]. 资源科学, 2010, 32(8): 1462-1470.
- [18] 顾润源, 武荣盛, 吴菊秀, 等. 内蒙古半干旱草原下垫面地表辐射特征[J]. 干旱区地理, 2013, 36(5): 854-864.
- [19] 马金玉, 刘晶淼, 李世奎, 等. 华北平原北部紫外UV-B辐射特征及生态效应: 以固城站观测资料为例[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 32-39.
- [20] 祝青林, 于贵瑞, 蔡福, 等. 中国紫外辐射的空间分布特征[J]. 资源科学, 2005, 27(1): 108-113.
- [21] 巴特, 张健, 田原, 等. 兴安落叶松生态系统近地表CH<sub>4</sub>浓度及其影响因子[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(2): 57-60.
- [22] 买买提艾力·买买提依明, 缪启龙, 王延慧, 等. 塔克拉玛干沙漠北缘过渡带紫外辐射和总辐射特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1816-1823.
- [23] 何清, 金莉莉, 艾力·买买提明, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地太阳紫外UV-B辐射的观测与分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 640-647.
- [24] 李英年, 杜明远, 唐艳鸿, 等. 祁连山南北高寒草甸地区UV-B的气候变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 21(3): 79-84.
- [25] 季国良, 邹基玲. 干旱地区绿洲和沙漠辐射收支的季节变化[J]. 高原气象, 1994, 13(3): 100-106.
- [26] 江灏, 季国良, 吕兰芝. HEIFE绿洲区的太阳紫外辐射[J]. 高原气象, 1994, 13(3): 123-129.
- [27] 周洒洒, 何清, 金莉莉, 等. 塔克拉玛干沙漠北缘绿洲-荒漠过渡带辐射特征: 以肖塘为例[J]. 中国沙漠, 2020, 40(4): 1-9.
- [28] 吴林荣, 杜莉丽, 王娟敏, 等. 陕北榆林地区太阳能资源空间分布特征及资源潜力评估[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 238-242.
- [29] 张运林, 秦伯强. 太湖地区太阳紫外辐射的初步研究[J]. 气象科学, 2002, 22(1): 93-99.
- [30] 江灏, 季国良. 五道梁地区的太阳紫外辐射[J]. 高原气象, 1996, 7(2): 12-17.
- [31] 刘晶淼, 丁裕国, 黄永德, 等. 太阳紫外辐射强度与气象要素的相关分析[J]. 高原气象, 2003, 22(1): 45-50.
- [32] 白建辉, 王庚辰. 北京地区太阳紫外辐射的基本特征[J]. 太阳能学报, 1993, 14(3): 245-250.
- [33] 季国良, 陈有虞. 青藏高原的紫外辐射[J]. 高原气象, 1985, 4(增刊2): 112-121.
- [34] 杨兴国, 马鹏里, 王润元, 等. 陇中黄土高原夏季地表辐射特征分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 57-64.
- [35] 杨阳, 杨帆, 买买提艾力·买买提依明, 等. 塔克拉玛干沙漠塔中与巴丹吉林沙漠拐子湖地表辐射特征对比[J]. 中国沙漠, 2018, 38(5): 1068-1077.
- [36] 买买提艾力·买买提依明, 缪启龙, 金莉莉, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地散射辐射特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1492-1500.
- [37] 金莉莉, 何清, 李振杰, 等. 塔克拉玛干沙漠不同下垫面太阳总辐射比较[J]. 中国沙漠, 2014, 34(2): 498-506.
- [38] Ei-Sebaai A A, Trabea A A. Estimation of goble solar radiation on horizontal surface over Egypt[J]. Egypt Journal of Solids, 2005, 28(1): 163-175.
- [39] Al-Mohamad A. Global, direct and diffuse solar-radiation in Syri[J]. Applied Energy, 2004, 79(2): 191-200.
- [40] Ei-Sebaai A A, Al-Hazmi F S, Al-Ghamdi A A, et al. Global, direct and diffuse solar-radiation on horizontal and tited surfaces in Jeddah, Saudi Arabia[J]. Applied Energy, 2010, 87(2): 568-576.

## Characteristics of ultraviolet radiation and global radiation in alpine desert: a case of Hulun Buir Sandy Land

Zhu Binbin<sup>1,2</sup>, Sun Shuanghong<sup>1,2</sup>, Li Yanhong<sup>1,2</sup>, Zhang Honglei<sup>1,2</sup>, Jing Lu<sup>1,2</sup>,  
Wang Lijun<sup>1,2</sup>, Cao Wei<sup>3</sup>

(1. Institute of Forestry Science in Hulun Buir, Hailar 021000, Inner Mongolia, China; 2. Station of Observation and Study on the Ecosystem of Hulun Buir Sandy Land in Inner Mongolia, Ewenke 021100, Inner Mongolia, China; 3. Center of Productivity Promotion in Hulun Buir, Hailar 021000, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Based on the data of solar radiation from Ewenke autonomous area of Hulun Buir Sandy Land in 2019, the characteristics of ultraviolet (UV) radiation and global radiation were analyzed. The results showed that the annual variation phases of UV radiation and global radiation were same, basically. The annual total values of UV radiation and global radiation were  $240.33 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  and  $5\,142.41 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , and daily total values of UV radiation and global radiation were  $0.66 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  and  $14.09 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ , respectively. The total value of UV radiation was less than that in Lhasa. The maximum instantaneous UV radiation ( $50.09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) and global radiation ( $1\,075 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) emerged in June, and the minimum instantaneous of that emerged in December. The order of UV radiation and global radiation was summer>spring>autumn>winter. The results showed that sandstorm had the most obvious weakening effect on solar radiation, which reduced UV radiation and global radiation by 78.46% and 76.19%, respectively, and rainfall had little weakening effect. The proportion of daily average UV radiation exposure in global radiation was mainly concentrated in 3.42%–4.95%, with an average annual value of 4.64%, which was larger than that in Xiaotang area of Taklimakan Desert.

**Key words:** UV radiation; global radiation; Hulun Buir Sandy Land