

胡波, 王跃思. 2014. 三江平原紫外辐射变化特征 [J]. 气候与环境研究, 19 (1): 1–10, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12090. Hu Bo, Wang Yuesi. 2014. Variation characteristics of ultraviolet radiation in the Sanjiang Plain [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (1): 1–10.

三江平原紫外辐射变化特征

胡波 王跃思

中国科学院大气物理研究所大气边界层物理与大气化学国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 利用 2005~2011 年共 7 年的太阳辐射观测资料对三江平原紫外辐射的时间变化规律及紫外辐射与总辐射比值的变化特征进行了分析, 结果表明紫外辐射与总辐射的变化规律一致, 日变化为正午大、早晚小; 季节变化规律是夏季高、冬季低。紫外辐射日累积值的 7 年年平均值为 $0.53 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。紫外辐射与总辐射比值存在着明显日、季节变化特征, 日变化特征为正午大、早晚小, 而季节变化与紫外辐射的季节变化一致也是夏季大、冬季小。紫外辐射与总辐射比值 7 年平均为 0.0433。利用 2011 年观测的总辐射、紫外辐射数据, 通过紫外辐射与总辐射比值和大气质量数与晴空指数的相互依赖关系, 建立了适合于三江地区紫外辐射估算的方程。利用建立的估算方程估算的紫外辐射瞬时值和日累积值与观测值之间的平均相对误差最大分别为 8.5% 和 6.1%。

关键词 紫外辐射 变化特征 经验估算方程

文章编号 1006-9585 (2014) 01-0001-10

中图分类号 P422

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12090

Variation Characteristics of Ultraviolet Radiation in the Sanjiang Plain

HU Bo and WANG Yuesi

State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The variation characteristics of ultraviolet radiation (UV) in the Sanjiang region of Northeast China were analyzed using radiation data from 2005 to 2011. The temporal variation of the ratio of UV to broadband solar radiation (SR) was also analyzed. The results indicated that the temporal variation characteristics of UV and SR were similar. At the diurnal scale, the highest daily UV value was measured at noon, whereas the lowest was recorded in the morning or night. The highest monthly UV value was recorded in the summer, whereas the lowest in winter. In the Sanjiang region, the annual average daily UV was $0.53 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. The variation characteristics of the UV and the ratio of UV to SR were the same. Daily, the highest value of the ratio of UV to SR was recorded at noon, whereas the lowest value was recorded in the morning or night. Yearly, the highest value was recorded in the summer, whereas the lowest in winter. The mean value of the UV to SR ratio was 0.0433 in this observation period of 2005–2011. Furthermore, an empirical equation for estimating the UV was established by using the in situ observations for 2011. The equation parameters include the relative optical air mass and clearness index. The equation can be widely used to obtain the UV from SR measurements. The largest relative error between observed and model UV data was 8.5% and 6.1% for instantaneous and daily values, respectively.

Keywords Ultraviolet radiation, Variation characteristics, Estimating model

收稿日期 2012-05-17 收到, 2012-07-02 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 41275165

作者简介 胡波, 男, 1974 年出生, 副研究员, 主要从事大气辐射研究。E-mail: hb@dq.cern.ac.cn

1 引言

太阳光谱中波长在 100~400 nm 内的短波辐射称为紫外辐射,虽然紫外辐射能量仅仅占太阳总辐射能的 7%左右,但由于紫外辐射不仅能对人类健康产生影响,还具有强烈的环境、生物和气候效应,使紫外辐射的观测研究成为当前辐射研究的前沿和人们关注焦点问题之一(江灏等,1998;祝青林等,2005;胡波等,2007)。平流层臭氧减少将直接导致到达地面的紫外辐射量上升,近年来发现北半球中纬度地区的臭氧总量也呈现持续减少的趋势,大气中臭氧总量的减少,直接导致到达地面的太阳紫外辐射不断加强(Farman et al., 1985;刘晶淼等,2003)。紫外辐射制约了大气中几乎所有的均相化学过程。紫外辐射的改变将直接改变大气光化学反应速率,从而引起一系列的环境问题。紫外辐射的增加可诱发一次污染物在大气中发生二次(或)多次光化学反应,生成新的、毒性更大的二次污染物,造成地面层空气质量恶化,进而影响人体健康。过量紫外辐射还将对人类健康和环境产生直接影响。

我国紫外辐射观测研究开展得较晚,观测方法主要有宽波带紫外辐射表观测和紫外辐射光谱计观测。在宽波带紫外辐射表观测中有直接采用国际上认可的紫外辐射表观测,还有采用间接的紫外辐射观测即采用分光辐射观测,观测仪器的感应波段分别为 270~3200 nm、400~3200 nm,通过计算得到紫外辐射(270~400 nm)、总辐射(270~3200 nm)数据。在紫外辐射的观测研究方面,我国科学家们也进行了大量研究工作,并对紫外辐射与总辐射的相互关系进行深入研究,但得到的结论差异较大,至今还没形成统一观点(陈万隆,1995;季国良等,1995;江灏和季国良,1996;胡波等,2007),因而需要不断深入开展大量紫外辐射的观测研究,以满足气候变化和环境研究的需要。

三江平原属温带湿润半湿润大陆性季风气候,具有冬季严寒干燥,夏季炎热湿润,春季短暂升温快、大风多,秋季降温急剧的气候特点。三江平原年平均气温在 1.4~4.3 °C,1 月平均气温在 -23~-18 °C,7 月平均气温平原地区在 22 °C 以上,其他地区在 21 °C 左右。三江平原年降水量约 550~650 mm,主要集中在 5~9 月的植物生长季内,约占全年降水总量的 80%,雨热同期,年水面

蒸发量 750~850 mm,陆面蒸发量 550~650 mm,大于等于 10 °C 积温为 2300~2500 °C,无霜期在 120~140 d 之间,热量状况相对优越,但因积温和生长期的年际变化较大,部分年分还有低温冷害(刘兴土和马学慧,2002)。该区是我国最大的沼泽湿地集中分布区,沼泽湿地是其最主要的自然景观。三江平原具有稳定环境、物种基因保护及资源利用功能,被誉为自然之肾、生物基因库和人类摇篮。由于人类活动及气化变化导致湿地的生态环境不断恶化,为湿地生态环境的可持续发展及气候对其的影响评估提供科学支撑,有必要对该区域紫外辐射的变化特征进行深入的研究,特别是紫外辐射与总辐射的比值变化特征。

本文的目的是通过分析三江平原三江生态实验站 2005~2011 年共 7 年的辐射观测数据,获得该地区的紫外辐射变化特征,并利用大气质量数和平均晴空指数的关系建立适合三江平原区域的紫外辐射估算方法,从而为该区域的历史紫外辐射重构、紫外辐射气候学特征的研究提供依据。

2 站点和数据介绍

2.1 站点介绍

三江站位于三江平原腹地、别拉洪河与浓江河的河间地带,黑龙江省建三江农垦管局洪河农场场部附近。观测站四周为平坦、开阔的平原,观测仪器四周为低矮植被。站点地理位置为(47°35'N, 133°31'E),海拔高度为 55 m。观测站区为季节性冻土区,11 月初地面开始封冻,冻深 1.6~1.8 m,最深冻层 1.9 m。试验区土壤、水分、植被随地形地势分布,具有典型的湿地代表性。三江观测站土壤、植被分布规律及其特点是三江平原地区的缩影。

2.2 仪器介绍

使用芬兰 Milos520 自动气象站进行气象、辐射观测,其中辐射观测仪器使用荷兰 Kipp & zionne 公司生产的辐射表,辐射表的具体参数见表 1。气象要素和辐射观测数据利用 M520 数据采集器进行采集,其采集频率是每分钟一次。地基辐射观测采用地方时,而常规气象要素则采用北京时间进行观测。三江站的地方时间比北京时间早 54 分钟左右,为了便于比较在文中使用的常规气象数据是比辐射观测时晚 1 个小时的数据。

表 1 辐射表参数

Table 1 Parameters for pyranometers

辐射类型	表型	准确度
总辐射 ($0.3\sim3\ \mu\text{m}$)	CM11	$\pm 3\%$
紫外辐射 ($0.29\sim0.4\ \mu\text{m}$)	CUV3	$\pm 5\%$

气象和辐射要素传感器均在北京进行统一标定,其中总辐射传感器利用“交替法”进行标定,其标定后灵敏度的不确定度为 $\pm 3\%$ 。紫外辐射传感器则利用辐射标准灯和紫外光谱仪进行标定,其标定后灵敏度的不确定度为 $\pm 5\%$ 。

2.3 数据质量控制

为了保证分析结果的可靠性就必须对观测数据进行严格的数据质量控制,在分析中利用极值控制方案进行太阳总辐射和紫外辐射的观测数据进行质量控制,具体的观测数据质量控制方案如下。

首先,观测的日(小时)紫外辐射累积值应小于在同一地理位置大气层顶的紫外辐射量,如果观测数据大于大气层顶的紫外辐射量那么该数据就是不合格数据,直接删除。大气层顶紫外辐射量利用 Foyo-Moreno et al. (1999) 提出的计算方案计算。其次,地基观测的日(小时)紫外辐射累积值可以稍微大于在同一地理位置在大气具有很大透过率和非常晴朗天空状态下的日(小时)紫外辐射累积值。非常晴朗天空状态下的日(小时)紫外辐射累

积值参照 Rigollier et al. (2000) 提出的总辐射计算方案进行计算。此外,紫外辐射的极小值应该大于连续阴天时紫外辐射的观测结果,即平均紫外晴空指数应该大于 0.03,平均紫外辐射晴空指数是指地基紫外辐射与大气层顶紫外辐射的比值 (Elhadidy et al., 1990)。总辐射观测数据的数据质量控制方案与紫外辐射类似。最后为了避免由于仪器余弦效应导致在太阳高度角较小时观测误差较大对分析结果的影响,在实际分析中只针对太阳高度角大于 10° 的观测数据进行统计分析 (Geger et al., 2002)。

利用上述观测数据质量控制方案对 2005~2011 年的瞬时辐射观测数据进行了质量控制,对其中不合格数据直接删除,删除数据占总数据的 3.5% 左右。

3 三江地区紫外辐射变化规律

3.1 紫外辐射时间变化特征

利用 2005~2011 年共 7 年的地基辐射观测数据分析了三江地区到达地面的紫外辐射的变化规律及其与太阳总辐射和其他影响因子的相互关系。

三江地区近 7 年的太阳总辐射和紫外辐射日累积值的逐日变化如图 1 所示。从图中可以看出,总辐射和紫外辐射的季节变化规律和变化幅度都具有相同的特征,但是由于影响太阳总辐射和紫外辐

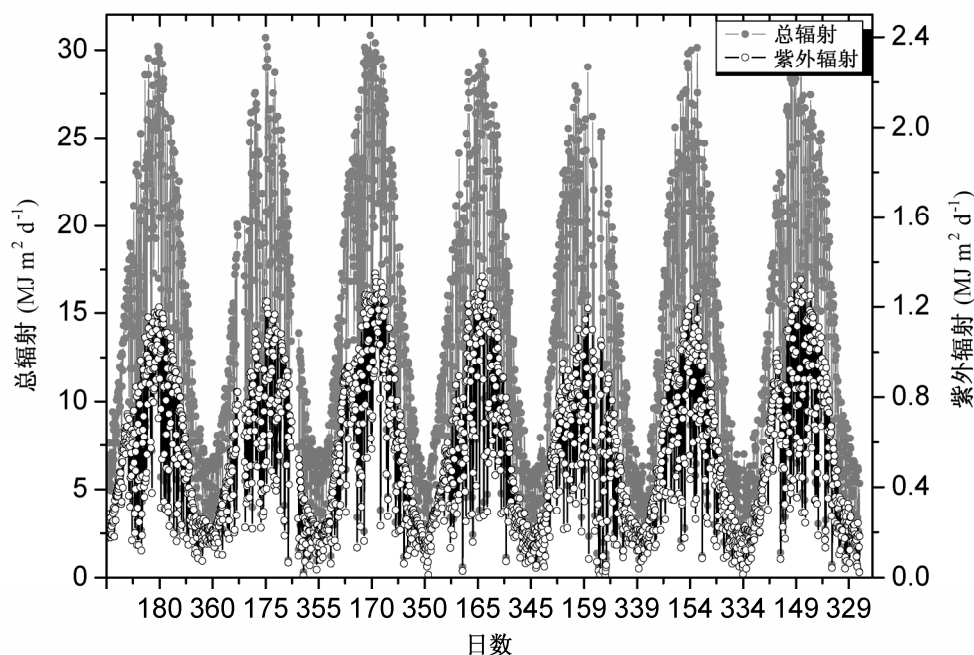


图 1 2005~2011 年三江地区紫外辐射和总辐射日累积值的逐日变化

Fig. 1 Variation characteristics of daily ultraviolet radiation (U_v) and broadband solar radiation (R_s) at Sanjiang region during 2005~2011

射的因素较多,例如气溶胶、云、水汽等,从而导致每天观测结果会出现一些明显的差异。三江地区太阳总辐射日累积值的变化范围在 $5 \sim 30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 之间,平均值为 $20.06 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; 紫外辐射日累积值的变化范围在 $0.2 \sim 1.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。三江地区的辐射值较青藏高原区域的明显偏低,但是与我国北部地区的观测结果基本一致,主要是由于三江区域位于我国北部高纬度地区其太阳高度角较小从而导致到达地面的辐射量较小。

太阳总辐射和紫外辐射都明显存在着一致的季节变化特征,一年中的变化曲线大致呈现为单峰型,即夏季大、冬季小,夏季总辐射和紫外辐射日累积值最大可分别达 $34.98 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $1.32 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 冬季最小分别为 $0.34 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $0.02 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。地基太阳辐射的季节变化规律的原因是地球公转导致一年中太阳位置的季节变化所决定的,夏季太阳直射点靠近北回归线,到达地面的辐射就较强,而到了冬季太阳直射点南移到靠近南回归线,地面接受到的辐射量变小。

从总辐射和紫外辐射月平均日累积值的变化规律图(图 2)中,也可以看出总辐射和紫外辐射变化一致和“夏大冬小”的特征。总辐射和紫外辐射月平均日累积值夏季的变化幅度大于冬季,可能

是由于夏季云量差别较大所致。总辐射和紫外辐射月平均日累积值最大分别为 2010 年 6 月的 $21.95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 2011 年 6 月的 $0.96 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 最小值分别为 2009 年 12 月的 $4.92 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 2011 年 1 月的 $0.14 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。

从 2011 年总辐射和紫外辐射年平均小时累积值的日变化图(图 3)中可以看出,总辐射和紫外辐射具有一致的日变化规律,即早晨 06:00(当地时间,下同)总辐射和紫外辐射量较小,分别为 0.227 MJ m^{-2} 和 0.009 MJ m^{-2} , 随着太阳高度角的增大,辐射量逐渐增强,到一天正午 12:00 达到最大值,分别为 2.970 MJ m^{-2} 和 0.126 MJ m^{-2} , 随后太阳高度角开始减小,辐射量也逐渐减小,到 18:00 已分别减小到 0.548 MJ m^{-2} 和 0.018 MJ m^{-2} 。这主要是与地球自转导致太阳高度角的日变化规律有关,有关研究表明到达地面的太阳总辐射和紫外辐射与太阳高度角的正弦成正比。

3.2 紫外辐射与总辐射比值的变化特征

3.2.1 紫外辐射与总辐射比值的时间变化特征

由于在地基辐射观测系统中较早的开展了总辐射观测研究,因而许多学者想通过紫外辐射与总辐射观测值建立紫外辐射的经验估算模型,利用观测的总辐射量进行紫外辐射的长期变化特征分析研究,因此研究二者比值的变化规律有助于我们更

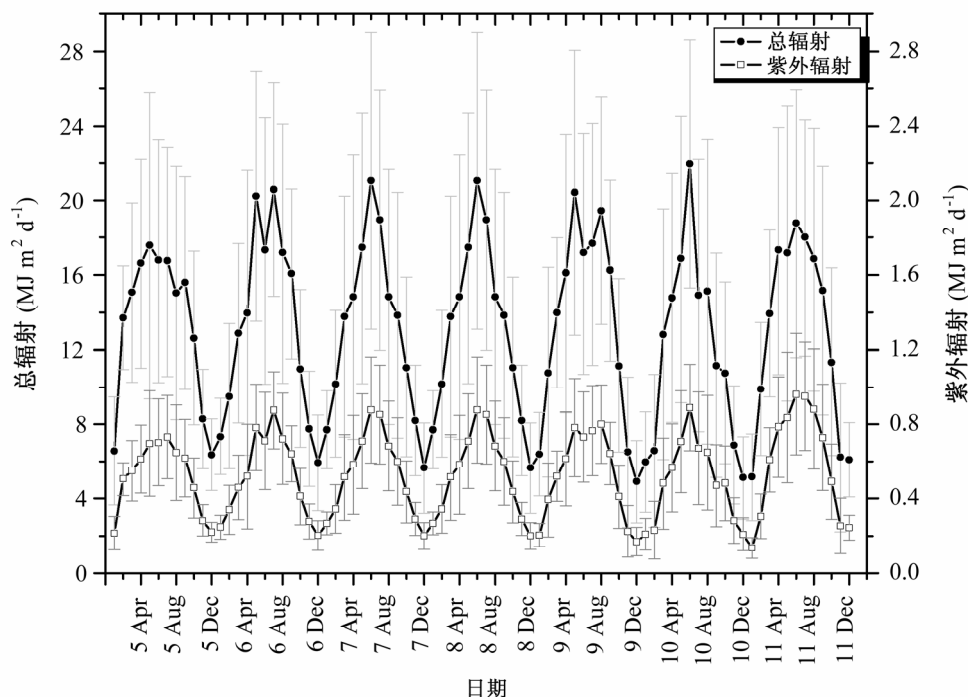


图 2 2005~2011 年三江站总辐射和紫外辐射月平均日累积值的变化

Fig. 2 Temporal variation of the monthly average values of R_s and U_v at Sanjiang site during 2005–2011

好地了解和评估紫外辐射的长期变化趋势。

图 4 给出了 2005~2011 年紫外辐射和总辐射比值的月平均变化, 紫外辐射和总辐射比值的多年平均值为 0.043, 月均值的变化范围是 0.034~0.053, 并且也存在着明显的季节变化特征, 即夏季最大、春秋次之、冬季最小, 这与江灏等 (1998) 的研究结果类似。紫外辐射与总辐射比值近 7 年呈

现逐年增加的趋势, 这可能与三江地区近年来水汽含量的变化有关, 表 2 给出了三江站 2005~2011 年年平均水汽密度的统计结果。大气中的水汽对近红外辐射的吸收较强, 而对短波辐射的吸收相对较少, 水汽含量的减少将会导致更多的近红外辐射到达地面, 从而导致紫外辐射与总辐射的比值变小。

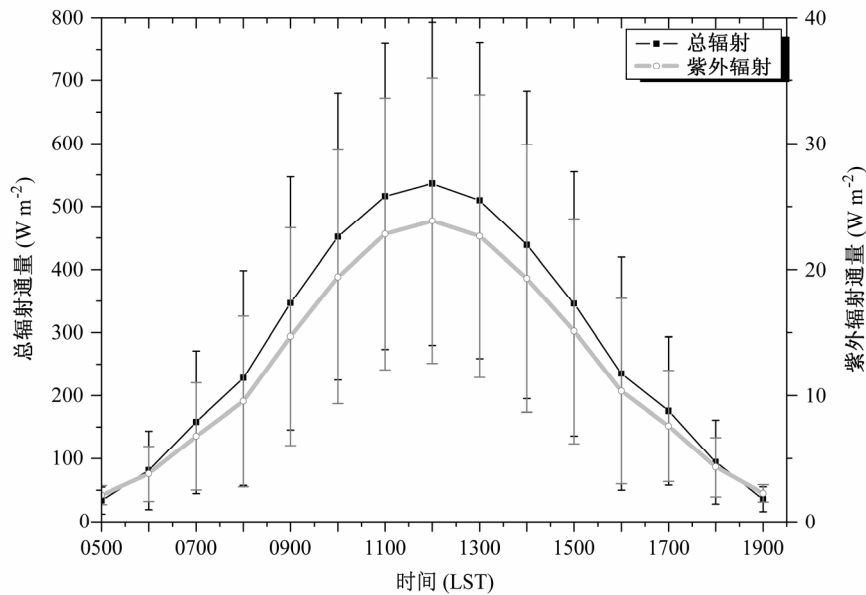


图 3 2011 年三江站总辐射和紫外辐射通量年平均小时累积值的日变化

Fig. 3 Diurnal variation of hourly values of R_s and U_V flux at Sanjiang site in 2011

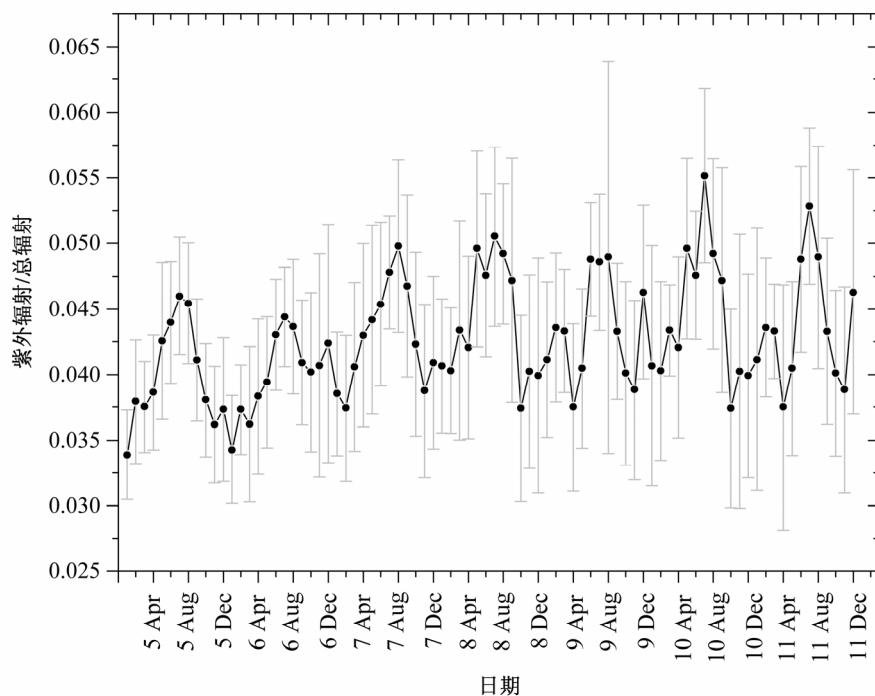


图 4 2005~2011 年三江紫外辐射与总辐射比值的月平均变化

Fig. 4 Temporal variation of the monthly average ratio of U_V to R_s at Sanjiang during 2005-2011

表 2 2005~2011 年三江站年平均水汽密度

Table 2 Annual average of water vapor density at Sanjiang site during 2005–2011

	水汽密度/ g m^{-3}
2005 年	6.44
2006 年	6.18
2007 年	6.42
2008 年	9.49
2009 年	6.38
2010 年	6.91
2011 年	6.61

注：水汽密度 $\rho_v = \epsilon e / (R_d T)$ ，其中， $\epsilon = 0.622$ ， $R_d = 287.05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 是干空气的比气体常数， e 为水汽压（单位：hPa）， T 为温度（单位：K）。

3.2.2 紫外辐射与总辐射比值与平均晴空指数 K_s 的关系

水汽、云和气溶胶是影响紫外辐射的主要因子，由于对云和气溶胶的直接观测数据较少，量化研究云和气溶胶对紫外辐射的影响比较困难，从而通常采用平均晴空指数 K_s 作为云和气溶胶共同作用因子进行相关研究。 K_s 是指地面观测到的实际总辐射与大气层顶的辐射总量的比值，大气层顶的辐射总量是按照 Thekaekara (1973) 和 Gueymard (2004) 提出的参数化方案计算，具体的计算公式如下：

$$H_0 = I_0 E_0 [\sin \phi \sin \delta + (24/\pi) \sin(24/\pi) \cos \phi \cos \delta \cos \omega_1], \quad (1)$$

其中， I_0 是常数 $4917.96 \text{ KJ m}^{-2}$ ， E_0 是日地距离订正因子， ω_1 为时角， ϕ 为纬度， δ 为太阳赤纬。

图 5 为 2005~2011 共 7 年紫外辐射与总辐射比值 (U_V/R_s) 与 K_s 瞬时值的变化关系图，当平均

晴空指数大于 0.6 时，紫外辐射与总辐射比值的变化范围为 0.03~0.05，随着 K_s 的进一步增大，比值更趋向于固定值 0.04；而在平均晴空指数小于 0.6 时，紫外辐射与总辐射的比值变化范围比较大，特别是 K_s 小于 0.4 时，比值的变化范围可达 0.02~0.08。造成这种现象原因可能是 K_s 小于 0.4 时对应的天空状态是太阳高度角较小或者是在多云与阴天。在太阳高度角较小时，由于大气光学路径较长，大气分子的瑞利散射对波长较短的紫外辐射有较强的削弱作用，致使其比值较小；在多云与阴雨时可能由于水汽作用大量吸收波长较大的红外辐射致使，紫外辐射与总辐射的比值较大，也可能由于云中大量的细微粒子对紫外辐射有较强的削弱作用致使比值相对较小。在月平均尺度上紫外辐射与总辐射比值与晴空指数呈现为负相关变化关系。

3.3 紫外辐射估算方程的建立

3.3.1 紫外辐射与大气质量数的关系

已有研究表明太阳高度角是影响紫外辐射的主要因子之一，为了定量分析太阳高度角对紫外辐射的影响，我们采取大气质量数作为指示因子。大气质量数的准确定义是太阳自 θ 角倾斜入射时与自天顶角入射时的光学厚度之比，大气质量数随着太阳天顶角的增加而增大，Kasten and Young (1989) 给出了简便的大气质量数 m 经验计算公式，具体如下：

$$m = 1 / [\cos \theta + 0.1500(93.885 - \theta)^{-1.253}]. \quad (2)$$

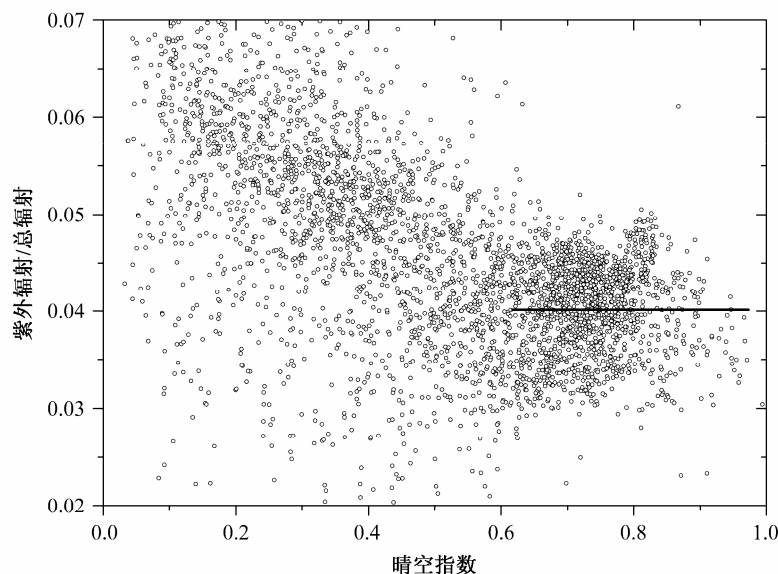


图 5 2005~2011 年紫外辐射与总辐射比值与平均晴空指数的关系

Fig. 5 Dependence of the ratio of U_V to R_s on the clearness index (K_s) during 2005–2011

利用 2011 年观测的瞬时紫外辐射与之相对应的大气质量数瞬时值分析紫外辐射与大气质量数的依赖关系,从图 6 中可以看出到达地面的紫外辐射量随着大气质量数的增加而减小的,而且离散度很大,这也说明大气质量数是影响到达地面紫外辐射的主要因子,但并不是影响到达地面紫外辐射量的所有因子。

通过分析发现与大气质量数与与之对应的最大紫外辐射($U_{\max 0}$)之间存在着明显的幂指数关系,通过拟合可以得到 $U_{\max 0}$ 的估算方程。

$$U_{\max 0}=64.37m^{-1.36}, R^2=0.98, \quad (3)$$

其中, $U_{\max 0}$ 是最大紫外辐射, R 是相关系数。

3.3.2 紫外辐射估算方程的建立

Foyo-Moreno et al. (1998) 于 1998 年提出了基于太阳高度角的紫外辐射 (U_V) 估算方案,在该方案中利用晴空指数 K_s 代替云和气溶胶对紫外辐射的衰减,其估算方程为:

$$U_V = a + b \times (K_s \times U_{\max 0}). \quad (4)$$

由于云、气溶胶的观测较少,因此利用 K_s 代替云、气溶胶的作用,参照 Foyo-Moreno et al. (1998) 提出的方法,利用三江站 2011 年的紫外辐射的瞬时观测进行了紫外辐射估算方程的拟合(图 7),紫

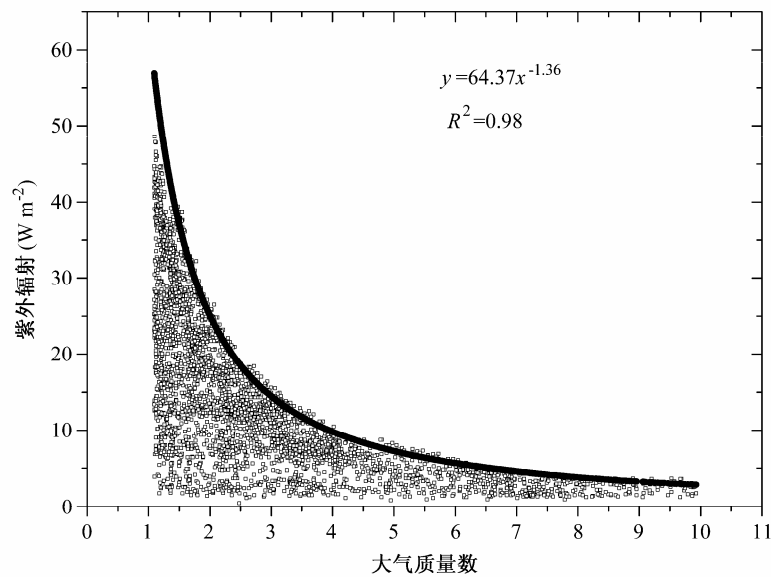


图 6 紫外辐射瞬时值和大气质量数的关系

Fig. 6 The dependence of hourly ultraviolet radiation on optical air mass

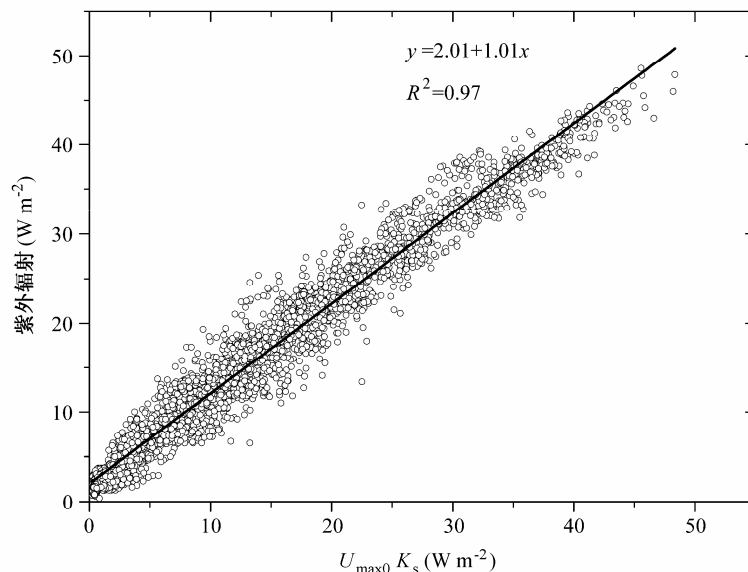


图 7 紫外辐射估算方程

Fig. 7 The equation for estimating U_V

外辐射估算方程如下:

$$U_v = 2.01 + 1.01 \times (K_s \times U_{\max 0}) = 2.01 + 1.01 \times (K_s \times 64.37 \times m^{-1.36}), R^2 = 0.97. \quad (5)$$

为了评估构建的紫外估算方程的精度,我们利用与建立估算方程完全独立的紫外辐射观测数据进行到达地面紫外辐射量的估算。利用建立的估算方程对 2005~2010 年的紫外辐射瞬时进行了估算,并与观测的瞬时值进行了比对,结果表明建立的估算方程能较好地进行紫外辐射的估算。观测值与估算值的比对结果如图 8 所示(文中仅给出了 2007 年的结果,其余 5 年的结果与 2007 年的结果类似),从图中可以看出紫外辐射瞬时估算值与观测值变化基本一致,线性拟合结果表明该紫外辐射估算方程具有很高的精度,能够很好地应用于该地区的紫外辐射估算。表 3 给出了 2005~2010 年观测值与估算值的统计特征,拟合的斜率均在 1 左右,截距接近零,瞬时估算值与观测值的平均相对误差最大仅为 8.5%。

表 3 2005~2010 年紫外辐射瞬时估算值与观测值比对结果
Table 3 Statistical results of linear regression between modeled and observed U_v during 2005–2010

	斜率	截距	相关系数	相对误差
2005 年	1.06	0.47	0.96	6.6%
2006 年	1.05	0.41	0.96	7.8%
2007 年	0.99	0.67	0.97	8.1%
2008 年	0.99	0.59	0.96	8.5%
2009 年	1.09	-0.51	0.97	5.7%
2010 年	1.05	0.02	0.97	7.5%

3.4 紫外辐射数据重构

利用建立的估算方程对三江地区 2005~2010 年 6 年的历史紫外辐射数据进行了重构,重构与观测紫外辐射的逐日变化如图 9 所示。从图中可以看出建立的估算方程可很好的用于三江地区地面紫外辐射的估量,年平均相对误差仅为 6.1%。

4 结论

利用三江站 2005~2011 年 7 年的地基辐射观测数据进行了该地区紫外辐射变化特征的分析研究,通过分析获得了对三江地区紫外辐射的一些新认识,具体结论如下:

(1) 紫外辐射与总辐射的年、月、日变化规律一致,紫外辐射和总辐射出现“夏季大、冬季小”的季节变化规律,这是由地球公转导致造成的;在日变化中紫外辐射和总辐射都呈现为“正午大、早晚小”的日变化特征,而日变化则是由于地球自转形成的。三江地区紫外日累积值的年平均值为 $0.53 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,夏季为 $0.78 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$,冬季为 $0.22 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。日变化规律表现为正午大,早晚小。紫外辐射与总辐射比值也存在着明显的季节变化,其变化规律与紫外辐射一致即夏季最大、春秋次之、冬季最小,年平均值为 0.0433。紫外辐射与总辐射比值的日变化也呈现为正午大、早晚小的规律。

(2) 当平均晴空指数大于 0.6 时,紫外辐射和总辐射的比值与平均晴空指数存在着较好的相关

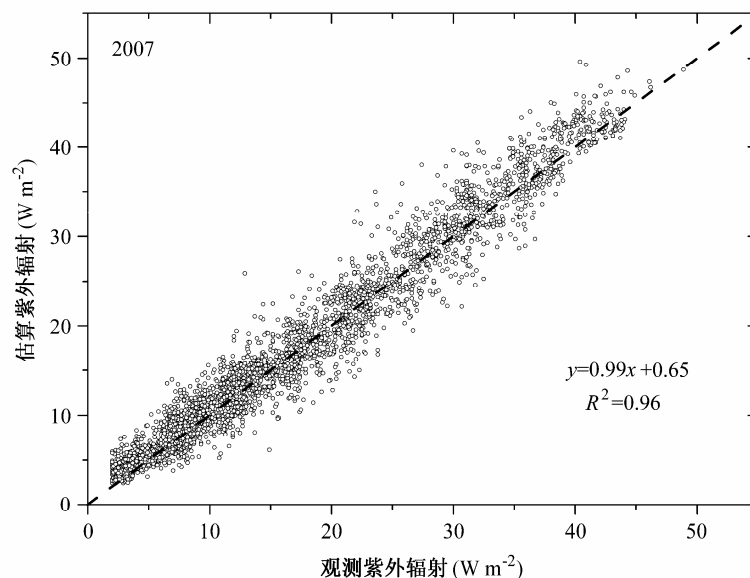


图 8 估算与观测紫外辐射的比对 (2007 年)

Fig. 8 Linear regression between modeled and observed U_v values in 2007

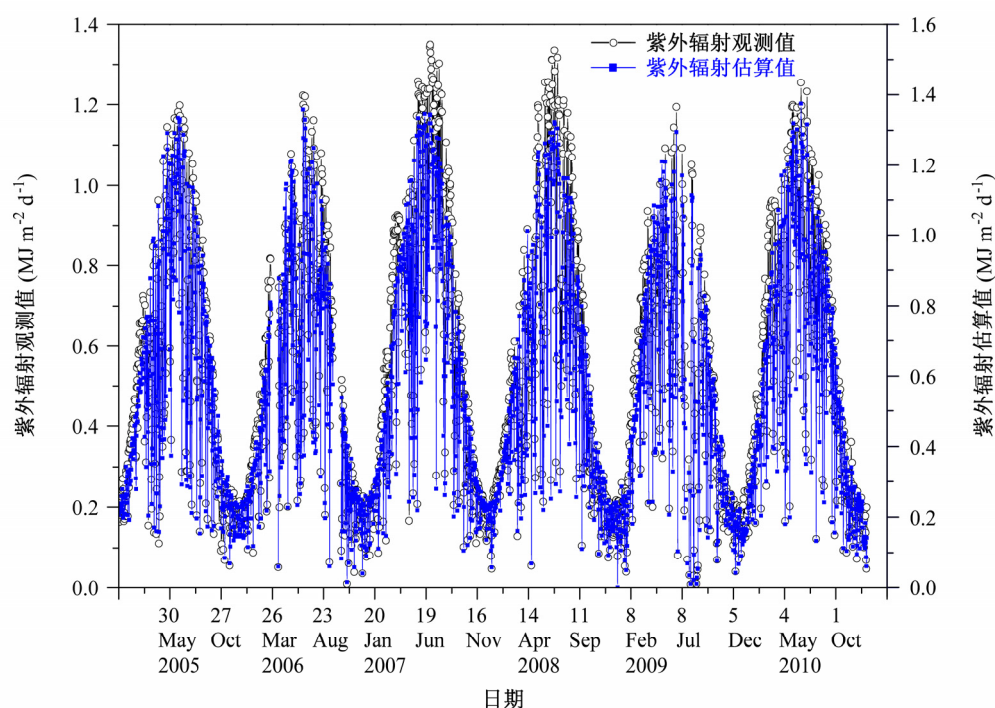


图9 重构紫外辐射日累积值与观测值的逐日变化

Fig. 9 Variation of the daily total values of modeled and observed U_V at Sanjiang station

性, 紫外辐射与总辐射的比值随着 K_s 的进一步增大, 趋向于固定值 0.04; 而在平均晴空指数小于 0.6 时, 紫外辐射与总辐射的比值变化范围比较大, 特别是平均晴空指数小于 0.4 时, 比值的变化范围为 0.02~0.08。

(3) 利用大气质量数和平均晴空指数与紫外辐射线性关系, 利用 2011 年的观测数据建立了适合于三江地区紫外辐射的估算方程, 通过检验发现估算方程具有很高的精度, 相关系数都达到了 96% 以上, 估算方程对瞬时紫外辐射的估计仅有略微的偏小, 估算瞬时值与观测瞬时值的平均相对误差最大仅为 8.5%。

由于影响到达地面紫外辐射量的其它因子还有很多, 利用大气质量数和平均晴空指数建立的三江地面紫外辐射估算方程具有一定的地域局限, 今后还将进行紫外辐射传输模式方面的分析研究, 以期能更深入的了解紫外辐射的变化规律和机理。

参考文献 (References)

陈万隆. 1995. 几种下垫面对紫外辐射的反射率 [J]. 高原气象, 14 (1): 102–106. Chen Wanlong. 1995. Albedo of ultraviolet radiation on several underlying surface [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 14 (1): 102–106.

Elhadidy M A, Abdel-Nabi D Y, Kruss P D. 1990. Ultraviolet solar radiation at Dhahran, Saudi Arabia [J]. Solar Energy, 44 (6): 315–319.
Farman J D, Gardiner B G, Shanklin J D. 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction [J]. Nature, 315 (6016): 207–210.
Foyo-Moreno I, Vida J, Alados-Arboledas L. 1999. A simple all weather model to estimate ultraviolet solar radiation (290–385 nm) [J]. J. Appl. Meteor., 38 (7): 1020–1026.
Geger M, Diabaté L, Ménard L, et al. 2002. A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation [J]. Solar Energy, 73 (6): 475–480.
Gueymard C A. 2004. The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models [J]. Solar Energy, 76 (4): 423–453.
胡波, 王跃思, 刘广仁. 2007. 北京城市紫外辐射变化特征及经验估算方程 [J]. 高原气象, 26 (3): 511–518. Hu Bo, Wang Yuesi, Liu Guangren. 2007. The variation characteristics and estimating model for ultraviolet radiation in Beijing [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 26 (3): 511–518.
季国良, 吕兰芝, 邹基玲. 1995. 藏北高原太阳辐射能收支的季节变化 [J]. 太阳能学报, 16 (4): 340–346. Ji Guoliang, Lu Lanzhi, Zou Jiling. 1995. The seasonal variation of surface radiation energy budget over the northern Tibetan Plateau [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica (in Chinese), 16(4): 340–346.
江灏, 季国良. 1996. 五道梁地区的太阳紫外辐射 [J]. 高原气象, 15 (2): 141–146. Ji Hao, Ji Guoliang. 1996. The solar ultraviolet radiation over the Wudaoliang region [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 15 (2): 141–146.

- 江灏, 季国良, 师生波, 等. 1998. 藏北高原紫外辐射的变化特征 [J]. 太阳能学报, 19 (1): 7-12. Jiang Hao, Ji Guoliang, Shi Shengbo, et al. 1998. The characteristics of ultraviolet radiation variation over the northern Tibetan [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica (in Chinese), 19 (1): 7-12.
- 刘晶淼, 丁裕国, 黄永德, 等. 2003. 太阳紫外辐射强度与气象要素的相关分析 [J]. 高原气象, 22 (1): 45-50. Liu Jingmiao, Ding Yuguo, Huang Yongde, et al. 2003. Correlation analyses between intensity of solar ultraviolet radiation and meteorological elements [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 22 (1): 45-50.
- 刘兴土, 马学慧. 2002. 三江平原自然环境变化与生态保育[M]. 北京: 北京大学出版社, 1-36. Liu Xingtu, Ma Xuehui. 2002. Sanjiang Plain Natural Environmental Changes and Ecological Conservation(in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 1-36.
- Kasten F, Young A T. 1989. Revised optical air mass tables and approximation formula [J]. Appl. Opt., 28 (22): 4735-4738.
- Rigollier C, Bauer O, Wald L. 2000. On the clear sky model of the ESRA—European Solar Atlas—with respect to the Heliosat method [J]. Solar Energy, 68 (1): 33-48.
- Thekaekara M P. 1973. Solar energy outside the earth's atmosphere[J]. Solar Energy, 14 (2): 109-127.
- 祝青林, 于贵瑞, 蔡福等. 2005. 中国紫外辐射的空间分布特征 [J]. 资源科学, 27 (1): 108-133. Zhu Qinglin, Yu Guirui, Cai Fu, et al. 2005. Spatialization research on ultraviolet radiation in China [J]. Resources Science (in Chinese), 27 (1): 108-133.