

中国紫外辐射的空间分布特征

祝青林¹, 于贵瑞², 蔡福¹, 刘新安^{1,2}, 李正泉², 苏文², 胡磊³

(1. 沈阳农业大学应用气象系, 沈阳 110161; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 江西省气象局, 南昌 330046)

摘要 利用中国科学院生态系统研究网络 29 个生态站的 2002 年紫外辐射、总辐射、日照时数、相对湿度、温度等气象因子资料, 采用多种方法分析紫外辐射与其他气象因子以及地理因子之间的关系, 选择出最优的因子和最佳方法建立紫外辐射的计算模型。结合本课题组开发的中国陆地生态系统气象/气候要素空间化数据库的 1km × 1km 气候要素栅格图, 利用 ArcMap/ArcInfo 软件实现了紫外辐射的空间化。通过比较, 选择出合适的紫外线指数分类方法完成了紫外线指数和紫外线辐射等级的栅格化。在空间化图像的基础上分析了年及各月中国紫外辐射的空间分布特征, 并对形成这种分布的原因进行了初步探讨。

关键词 紫外辐射; 空间化; 分布特征; 紫外线指数

1 引言

紫外辐射是指波段在 100nm ~ 400nm 之间的太阳辐射, 通常分为 UV-A (320nm ~ 400 nm), UV-B (280nm ~ 320 nm) 和 UV-C (100nm ~ 280 nm) 三部分。UV-C 基本被完全吸收; UV-A 的相当一部分直接到达地面, 它能晒黑皮肤, 产生维生素 D, 对植物光合作用也有影响; UV-B 大部分被吸收, 但此段辐射即使到达地面数量少, 也可以导致明显的环境生态效应并影响人体健康^[1]。

由于地球大气平流层 O₃ 空洞及局部地区 O₃ 保护层的变化, 使到达地表的紫外辐射有局部增加的趋势^[2]。联合国环境计划署指出, 臭氧损耗现象不仅出现在极地上空, 而且在向中纬度地区上空扩展, 人口稠密的北半球中纬度地区上空尤为明显; 过去认为, 臭氧损耗现象只在秋冬季节发生, 而新的探测资料表明, 春季和夏季也时有发生。随着大气臭氧层日趋变薄, 到达地面的紫外辐射量也逐渐增加, 对全球生态环境和人类健康带来了不容忽视的影响, 这已引起了世界的广泛关注。

为减少紫外辐射对人体、生物和环境的影响, 各国都积极开展了紫外辐射方面的研究。其中很多研究都是建立在大尺度的上的, 例如紫外辐射对生态系统的影响。由于这些研究涉及面广, 有的遍布全

国, 需要在全国各地采样, 这是一件相当庞大的工作。因此, 如果拥有不同经、纬度和高程的全国紫外辐射分布图将会给研究带来极大的便利。对于紫外辐射空间化的研究, 日本千叶大学今久等人利用四个观测站的总辐射和紫外辐射资料, 分别对月均 USR (紫外辐射占总辐射的比例系数) 进行了谐波分析, 模拟出谐波方程的三项系数 (均值、振幅和位相角) 与纬度和高程的关系, 利用纬度和高程专题地图生成全国 USR 栅格图, 再与总辐射的 1km × 1km 栅格图进行运算, 从而生成了日本全国的 UV 空间分布图。国内有利用当地台站资料研究一些特定区域紫外辐射时空分布的, 如青藏高原地区。但由于资料匮乏, 在全国尺度上的空间分布研究还没有开展。

目前对太阳紫外辐射的估算采用较多的是模式计算, 即由辐射传输方程求解, 这种方法适合于实时的预报, 但因条件所限, 不可能比较全面地考虑到影响太阳紫外总辐射的所有因子^[3]。另一种方法是统计分析实测资料, 分别用不同模型建立紫外辐射与其他地面常规气象观测要素之间的关系, 选用最佳模型进行模拟。本文采用统计分析, 通过建立模型首先研究了紫外总辐射的年、日变化特点分析影响紫外辐射的因子, 然后用紫外辐射与地面常规气象观测要素以及经、纬度和高程建立模型, 并结合

收稿日期 2004 - 06 - 16; 修订日期 2004 - 08 - 24

基金项目 国家杰出青年基金“陆地生态系统水碳耦合的生理生态学机制与模型研究”(编号 30225012)。

作者简介 祝青林 (1981 -) 男, 安徽安庆人, 硕士生, 主要从事气象要素的空间化、遥感信息处理研究。

E-mail: zql_apple@eyou.com

中国陆地生态系统气候要素空间化平台,对紫外辐射进行空间化,在此基础上分析紫外辐射的空间分布特征。

2 资料来源

本文 2002 年总辐射、紫外辐射、日照时数、相对湿度、温度等气象资料来自中国科学院生态系统研究网络 29 个生态站。这些生态站分布在全国各地,包括农田、森林、草地等多种生态类型,空间代表性强,仪器设备条件好。

总辐射的空间化数据来自本课题组研制的中国陆地生态系统气象/气候要素空间化数据库。中国陆地生态系统气象/气候要素空间化数据库是基于 GIS 技术、计算机模拟技术和数据库技术生成的国家尺度 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 网格的各种气象要素/气候要素的数值图像,包括辐射、温度、降水、湿度等要素的空间信息。总辐射是在考虑地形和大气衰减因子,通过组件技术和 GIS 等方法建立模型计算出来的^[4]。

前人的研究显示,紫外辐射与总辐射的比值 USR 相对较稳定,不会相差太大,但我们在处理数据时发现有一些站点的数据偏差较大,属于测量误差,数据应该剔除。因此,在挑选数据方面我们采用经验结果与实测值相结合的办法,分月进行挑选,具体方法是:总结以前的研究成果得到紫外辐射占总辐射的比值 USR 在 $4.6 \sim 7.8$ 之间^[5],考虑到各月波动,我们把选取范围设为 $[4.6 - 1.96\sigma, 7.8 + 1.96\sigma]$,逐月挑选,月均值超出这个范围的台站视作不符合我们要求的数据。以此为据我们选择了 22 个台站的数据。

3 结果与分析

3.1 模型的建立

力求从资料中获取最佳信息,采用了多种分析方法,分别建立模型并检验,对比检验效果,从中挑选模拟效果最好的方法建模。

(1)利用日本千叶大学今久提出的谐波分析法,分别求出 22 个站的紫外辐射和总辐射的月平均值,然后建立各站点紫外辐射和总辐射比值 USR 的二阶谐波方程,模拟方程系数与经度、纬度和高程的关系。但检验发现,其相关性不显著,没有通过检验。主要原因是日本经度跨度很小,USR 主要随纬度有所变化,并且选择的 4 个站点相距不是很远,影响它们的天气过程也相似,数据的观测时间比较长。而中国的生态站点比较分散,地形复杂,影响紫外辐射

的因子较多,很大程度上掩盖了经度、纬度和高程的影响。因此,接下来我们考虑用紫外辐射与其它气象因子以及经度、纬度和高程建立关系。

(2)利用 SPSS 软件进行逐步回归分析,模拟紫外辐射与总辐射、日照时数、相对湿度、温度等气象要素以及经、纬度和高程等的相关关系,发现紫外辐射与总辐射以外的气象要素相关性不明显,与总辐射相关性很好。

为了分析紫外辐射与总辐射之间的相关性,我们在各站的紫外辐射和总辐射数据月平均值的基础上,绘制了月平均紫外辐射和总辐射的年变化图(图 1)。由图 1 可以看出,紫外辐射变化趋势与总辐射基本一致:从 1 月到 7 月逐渐增大,7 月月达到最大值,以后逐渐减小,到 12 月达最小值。图 2 显示的是紫外辐射占总辐射的百分率(USR)的年变化,平均 USR(%)最小值为 5.85,最大值 8.51,年均 7.28,从 1 月到 8 月 USR 依次增大,8 月达最大值以后逐渐减小,12 月达到最小值。但各月变化幅度不大,说明紫外辐射的变化与总辐射有良好的对应关系。

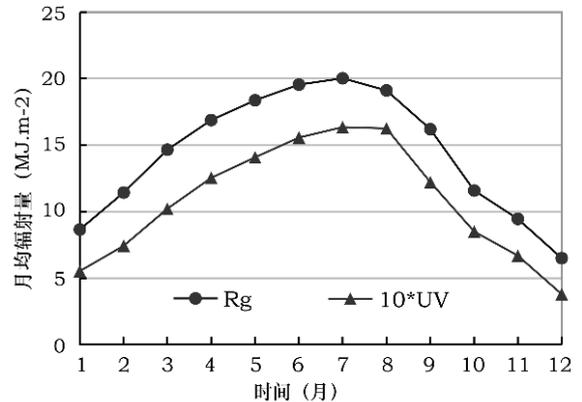


图 1 平均紫外辐射、总辐射的年变化

Fig.1 Annual variation of UV and global solar radiation

鉴于此,我们采用下面的方法直接建立紫外辐射与总辐射的关系。

(3)曲线回归分析法。用各月紫外辐射和总辐射的日值为样本,建立紫外辐射与总辐射间的模拟方程,用几种曲线进行拟合,结果发现幂函数拟合效果最好,因此直接建立紫外辐射与总辐射的幂函数方程。以 6 月为例,6 月的模型如下:建立模型用的样本 325 个,预留 30 个检验样本,模型如下:

$$R_{uv} = 0.0923R^{0.9439}$$

式中: R 为总辐射, R_{uv} 为紫外总辐射。紫外辐射与总辐射相关分析如图 3 所示。其中相关系数 $R^2 = 0.87$,用 30 个样本检验平均相对误差 0.17。各月模

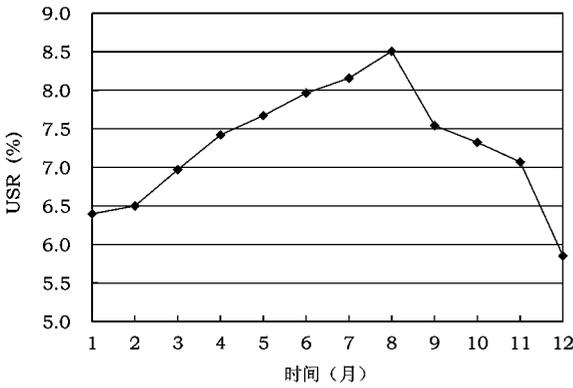


图2 USR的年变化

Fig.2 Annual variation of USR

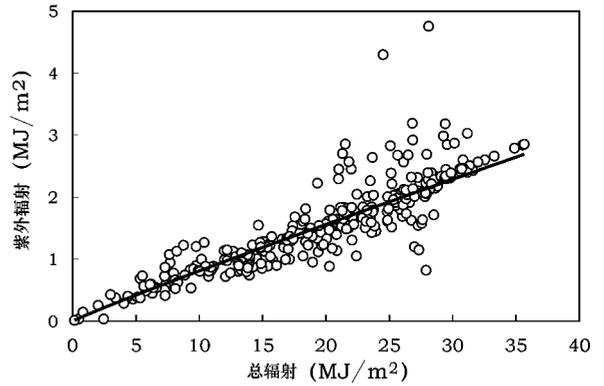


图3 6月紫外辐射与总辐射的相关变化

Fig.3 Correlation between UV and global solar radiation in June

型及检验结果见表1。

3.2 紫外辐射的空间分布

3.2.1 紫外辐射的空间化 本课题组已经完成了中国陆地生态系统气象/气候要素的空间化,并整理成数据库,资料提取比较方便。其中总辐射是12个月的1km×1km网格的数值图像,结合以上模型,利用ArcInfo编程运算,生成紫外辐射1km×1km栅格图。再利用ArcMap对图形进行加工处理,完成各月紫外辐射数值图像的输出。图4分别是1月和7月紫外辐射的空间分布图。

3.2.2 紫外线指数的空间化 由紫外辐射图可以推导出紫外线指数的空间分布。紫外线指数是衡量正午前后到达地面的太阳紫外辐射对人体皮肤或眼睛的损害程度的指标。关于紫外线指数的等级划分,目前国际上通行两种方法:一是世界气象组织1994年规定的UVI,一般在0~11之间,划分5个等级;二是加拿大天气局的UVI,在0~10之间划分4个等级。但其实际应用困难,我国很多地方利用总

辐射总量或紫外辐射总量来估算和预报紫外辐射指数。例如湖北省气象局以年当地紫外辐射最大值的1/10为UV指数的一个标准单位,最大值为 $10^{[6]}$;上海市气象科学研究所总结出了利用太阳总辐射量和云量的历史气候资料进行紫外线指数预报的方法^[7]。结合以上方法,我们利用紫外辐射月均值的空间化结果推导各地紫外辐射指数的空间分布,以求更加直观地得到各地紫外辐射的空间分布特征。具体方法如下:以各站月平均紫外辐射最大值的1/10作为紫外线指数的一个标准单位,紫外辐射指数范围在0~10之间。在此基础上结合国家气象局对紫外辐射指数等级的分类标准(表2),再划分为5个辐射等级。

借助于地理信息系统软件ArcMap/ArcInfo,实现了各月紫外辐射指数的1km×1km专题数字地图以及辐射等级的1km×1km空间分布,图5、图6所示为6月份的紫外辐射指数及其空间分布情况。

表1 各月模拟模型及检验结果

Table 1 Models and verification results of each month

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
模型	0.0903 $R^{0.8242}$	0.0855 $R^{0.9449}$	0.0848 $R^{0.922}$	0.0923 $R^{0.9439}$	0.1072 $R^{0.8778}$	0.0923 $R^{0.9439}$
r^2	0.697	0.749	0.854	0.898	0.874	0.870
平均相对误差	0.250	0.200	0.170	0.170	0.200	0.170
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
模型	0.0903 $R^{0.8242}$	0.1062 $R^{0.9217}$	0.0858 $R^{0.9398}$	0.0836 $R^{0.9324}$	0.0842 $R^{0.9643}$	0.0816 $R^{0.7995}$
r^2	0.874	0.849	0.805	0.805	0.726	0.707
平均相对误差	0.130	0.120	0.280	0.200	0.200	0.250

表中: R 为总辐射, r^2 为相关系数的平方,各月平均相关系数0.81,平均相对误差0.19。3、4、6、7、8月效果较好,平均在0.2以下;1、12月平均相对误差达到0.25,9月效果差一些,达到0.28。

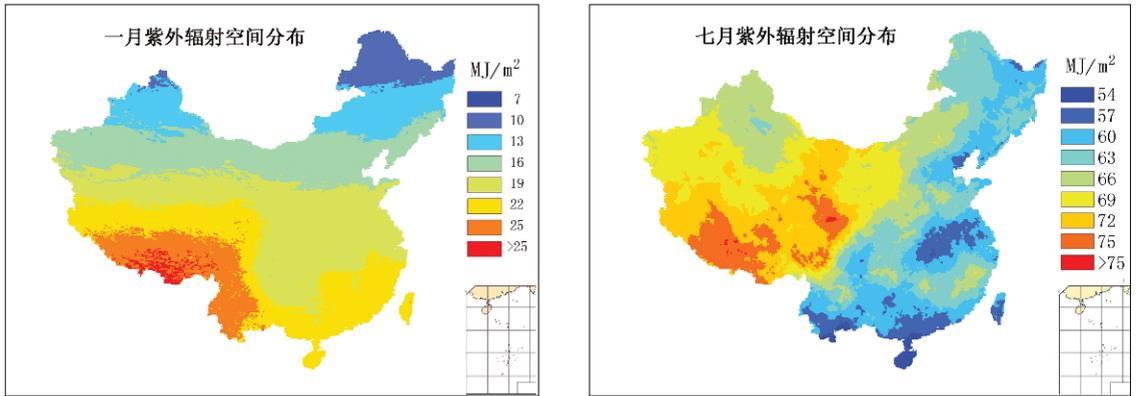


图4 1月、7月的紫外辐射空间分布

Fig.4 Spatial distribution of UV in January and July

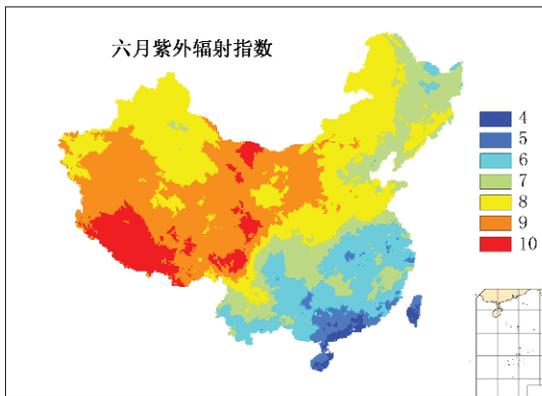


图5 6月紫外辐射指数的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of UVI in June

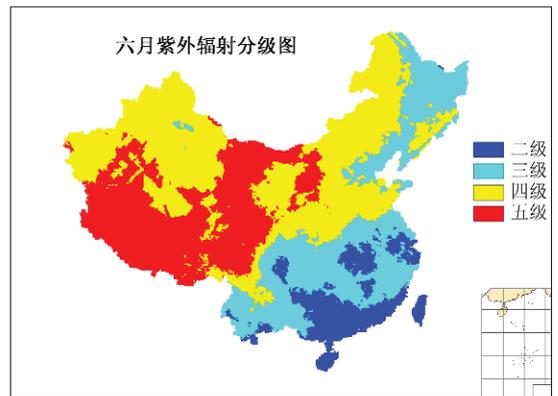


图6 6月紫外辐射等级的空间分布

Fig.6 Spatial distribution of UVI grade in June

3.3 紫外辐射的空间分布特征

分析紫外辐射的空间分布图(1月、7月,图4),可以发现:11月、12月、1月,青藏高原、云南地区紫外辐射最强,华南和其它省份次之,并向北递减。东北和新疆北部最低,但紫外辐射都不太强,7月紫外总辐射平均值都在 $20\text{MJ}/\text{m}^2$ 以下,2月、3月、4月、9月、10月青藏高原最高,其余地区由南向北减小,但四川盆地和长江中下游地区比周边地区低,2月、3月、9月还出现由东向西增大的趋势,海南和两广相对小一些。7月、8月高值区在青藏高原一带,西北

明显高于东南,东北的东部、环渤海地区,长江下游一带及华南地区较小。5月、6月淮河以南地区辐射相对较小,青藏高原最高,趋势也是西北大于东南。

我们把结果与中国气象科学研究院沈元芳利用模式预报方法预报的结果做了比较^[7],从给出的1月、7月的紫外辐射图来看,两者的紫外辐射空间分布趋势一致。对于7月的紫外线指数,除云南地区差异较大之外,其它地区结果很吻合。

青藏高原紫外辐射最高主要是受海拔影响,海拔越高,紫外辐射越强,原因是海拔较高的高原地

表2 紫外辐射指数与紫外辐射分级

Table 2 The UVI and grade of UVI

等级	一级	二级	三级	四级	五级
UV 指数	0、1、2	3、4	5、6	7、8、9	10
外出时间(min)	100 ~ 180	60 ~ 100	30 ~ 60	20 ~ 40	< 20
防护措施	不需要采取防护措施	可以适当采取一些防护措施,如涂擦防护霜等	外出时戴好遮阳帽、太阳镜和太阳伞等,涂擦 SPF 指数大于 15 的防晒霜	除上述防护措施外,上午 10 点至下午 4 点时段避免外出,或尽可能在遮荫处	尽可能不在室外活动,必须外出时要采取各种有效的防护措施

区,大气质量较小,空气稀薄,透明度高,对紫外辐射的散射和吸收相对较少,因而紫外辐射强度较平原地区大。南方低值区的形成主要是受天气的影响,当南方雨季来临,云雾天气较多,这在很大程度上削弱了紫外辐射。4 月份的四川盆地和 6 月的江淮地区就属于这种情况。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 紫外辐射与总辐射年变化规律一致,两者的相关性很好,紫外辐射占总辐射的比值相对稳定,紫外辐射平均占总辐射的 7.28%。紫外辐射与总辐射的拟合曲线以幂函数精度最高,平均相关系数 0.81,各月平均相对误差 0.19。

(2) 紫外辐射与总辐射建立模型效果比较好,其结果与模式预报方法的结论基本一致。优点在于有更加详细的数据,全国各月 1km × 1km 栅格数据图可以作为相关大尺度研究的基础数据图。

(3) 青藏高原始终是中国紫外辐射的高值区,四川盆地周围一带往往是紫外辐射的一个低值区。夏季全国有一天明显的分界线,即黑龙江纬度偏中地区到云南省一线,把中国分为西北和东南两部分,紫外辐射西北部分明显大于东南部分。

4.2 讨论

紫外辐射与总辐射建立关系比较简单,用它进行空间化时可以减少过多的中间误差,而且总辐射已经在很大程度上考虑了经度、纬度和高程以及大气透明度和天空遮蔽状况对辐射的影响^[8],因此可以不考虑与其他因子建立关系。

但是本文也存在很多不足之处,例如各因子对紫外和总辐射的作用有所不同,仅与总辐射建立关系将给模拟结果带来了一些误差。另一方面本文用的是一年资料,资料受当年的气象条件影响很大,在体现气候特征上有明显的缺陷,今后,紫外辐射有较长时间的观测数据时就可以解决这个问题。

研究过程中也发现一些问题,目前我国台站相继开展对紫外辐射的研究,进展很快,取得了一定的成绩。但由于不同研究者在观测和计算中使用的波段不同、使用的仪器和研究地区不同,致使结果相差较大。所以统一各观测点的紫外辐射波段和计算方

法对进一步研究很关键。

对紫外辐射进行空间化还是探索阶段,数据相对比较少,以后的研究应该整合近年各气象台站纷纷开展的紫外辐射观测资料,这对于紫外辐射的空间化研究上一个新的台阶很重要。

参考文献 (References):

- [1] 刁丽军,顾松山,王普才,等.北京地面紫外辐射(光谱)的观测与分析[J].气象科学,2003,23(1):22~30. [DIAO Li-jun, GU Song-shan, WANG Pu-cai, et al. Measurements and analyses on Beijing ground surface ultraviolet radiation (spectrum) [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2003, 23(1): 22 ~ 30.]
- [2] 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,2003,23(1):45~50. [LIU Jing-miao, DING Yu-guo, HUANG Yong-de, et al. Correlation analyses between intensity of solar ultraviolet radiation and meteorological elements [J]. *Plateau Meteorology*, 2003, 23(1): 45 ~ 50.]
- [3] 白建辉,王庚辰.广州地区太阳紫外总辐射的统计计算方法[J].太阳能学报,1998,19(1):54~59. [BAI Jian-hui, WANG Gen-chen. A statistic method for calculating the solar ultraviolet radiation in Guangzhou area [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 1998, 19(1): 54 ~ 59.]
- [4] 何洪林,于贵瑞,牛栋.复杂地形条件下的太阳资源辐射计算方法研究[J].资源科学,2003,25(1):80~85. [HE Hong-lin, YU Gui-rui, NIU Dong. Method of global solar radiation calculation of complex territories [J]. *Resources Science*, 2003, 25(1): 80 ~ 85.]
- [5] 白建辉,王庚辰.北京地区太阳紫外辐射的长期变化趋势及分析[J].太阳能学报,2000,21(2):192~197. BAI Jian-hui, WANG Gen-chen. A long-term variation trends and analysis of solar UV radiation in Beijing area [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2000, 21(2): 192 ~ 197.]
- [6] 陈正洪.臭氧、紫外辐射、紫外线指数[J].湖北气象,1999,(4):30. [CHEN Zheng-hong. Ozone, ultraviolet radiation and Ultraviolet index [J]. *Hubei Meteorology*, 1999 (4): 30.]
- [7] 沈元芳,况石.紫外线模式预报方法的研究和试验[J].应用气象学报,2002(13):223~231. [SHEN Yuan-fang, KUANG Shi. Research and experiment on ultraviolet forecasting using atmospheric radiation transfer model [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2002 (13): 223 ~ 231.]
- [8] 刘新安,范辽生,王艳华,等.辽宁省太阳辐射的计算方法及其分布特征空分布特征[J].资源科学,2002,24(1):82~87. [LIU Xin-an, FAN Liao-sheng, WANG Yan-hua, et al. The calculation methods and distributive character of solar radiation in Liaoning province [J]. *Resources Science*, 2002, 24(1): 82 ~ 87.]

Spatialization Research on Ultraviolet Radiation In China

ZHU Qing-lin¹, YU Gui-rui², CAI Fu¹, LIU Xin-an^{1,2}, LI Zheng-quan², SU Wen², HU Lei³

(1. Department of Applied Meteorology, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. Meteorological Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330046, China)

Abstract :Ozone depletion and increase of ultraviolet radiation have been observed in the last few decades ;the change of Ultraviolet radiation has great effects on entire ecosystem ,including health of the human population. So it is very important to understand the UV spatial and temporal distribution pattern through the development of appropriate simulation models. Based on the observation data of CERN (Chinese Ecosystem Research Network) from 29 ecological stations of CAS in 2002 , including UV radiation , global solar radiation , sunshine duration , relative humidity , temperature , etc. , the relationship between UV radiation and other meteorological and geographical factors with different methods is analyzed , then the optimization factors and calculation model is selected to simulate UV of different months. The results show that the best simulation model is the exponential curved correlation with global solar radiation. The modeling study carried out with a sample size of 325 that provided an average square of correlation coefficient of 0.81. The model is further tested with 30 check samples that showed an annual mean absolute error of 0.19. Then on the basis of the 1km × 1km grid Atlas of the Chinese Meteorological Factors , we use ArcGIS to accomplish the spatialization of monthly UV radiation in China. The appropriate method of UVI (ultraviolet index) classification is chosen to establish the GRID maps of UVI and grades of UVI. On the basis of the results derived , it concludes that UV increases with the elevation and declines by a slight amount in the raining seasons. In the winter the UV maximum appears in the Northeast of China and Qinghai-Tibet Plateau and increases from the north to the south of China ;in summer the UV has the highest value in Qinghai-Tibet Plateau and declines from northwest to southeast , the mean value of monthly UV always has a low value in the Sichuan Basin. The UVI maps show that in the peak summer Qinghai-Tibet is characterized by the highest level of UVI with a UV index of 5 , followed in decreasing order in the other northwestern localities showing a UVI of 4 , the west of northeastern China and north of China with a UVI of 3 and in the other places , the UVI is found to decline from the center towards the northern and southern latitudes.

Key words :Ultraviolet radiation ; Spatialization ; Distributive character ; UVI