

北京市紫外线指数的观测研究

饶晓琴, 马建中, 刘晶淼, 逯昌贵

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

摘要: 1999年5月—2001年10月在北京气象台对紫外线指数(UVI)进行了长期观测,结果表明:UVI季节差异明显,春、夏、秋、冬季的最大值分别为7.85, 9.87, 4.92, 2.99;正午时的平均值分别为3.52, 5.31, 2.17, 1.24。在UVI高峰时段(10:00—15:00),秋、冬季的UVI基本在0~2范围,对人体危害不大;而0~2, 3~4, 5~6, 大于7的各级UVI的平均累积日照时间春季分别为159, 87, 47, 2 min,夏季分别为75, 99, 93, 29 min,春、夏季紫外线辐射对人体危害较大。另外,UVI的累积分布显示,春、秋、冬季的UVI多数集中在各季节平均值以下,而夏季正午前后的UVI多分布在其季节平均值以上。

关键词: 紫外线指数(UVI); 累积日照时间; 累积频率

中图分类号: X515 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6929(2003)03-0006-04

Experimental Study on the Ultraviolet Index in Beijing

RAO Xiao qin, MA Jian-zhong, LIU Jing-miao, LU Chang-gui

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Ultraviolet Index (UVI) was measured at Beijing Observatory between May 1999 and October 2001. The results show that the UVI varies significantly in different seasons. The maximum of UVI is 7.85, 9.87, 4.92 and 2.99 in spring, summer, autumn and winter, and the seasonal averaged UVI at noon is 3.52, 5.31, 2.17 and 1.24 respectively. The UVI reaches its peak between 10:00 and 15:00 in every day. And during the period of time, the UVI is generally in the range of 0~2 in autumn and winter, which has less harm to human health. But in spring, the mean accumulative irradiation time is 159, 87, 47 and 2 minutes, and 75, 99, 93 and 29 minutes in summer for the UVI of 0~2, 3~4, 5~6 and above 7, respectively. So the ultraviolet radiation in spring and summer is very detrimental to human health. In addition, the accumulative distribution of UVI shows that the majority of UVI is below its mean value in spring, autumn and winter, but in summer, around noon most UVI is above its mean value.

Key words: Ultraviolet Index(UVI); accumulative irradiation time; accumulative frequency

人类活动加剧造成全球中高纬地区平流层臭氧减少,由此引发的一系列气候环境问题一直受到各国政府和科学家的高度重视。研究表明,平流层臭氧亏损最直接的环境效应是到达地面的UV-B(280~320 nm)辐射增多^[1-4]。过量UV-B辐射对人体健康极为有害:短期内会降低维生素D的合成以及晒伤皮肤;长期效应则导致皮肤癌、白内障和免疫系统机能减退。因此开展地面UV-B辐射的监测、研究和预报意义重大。国外对紫外线辐射的研究起步较早,澳大利亚在20世纪80年代中期就向公众发布“紫外线剂量”日报;新西兰于1987年开始发布“晒伤时间”;1992年加拿大、美国相继开展了紫外线指数(Ultraviolet Index, UVI)预报^[5]。UVI是量度到达地面的太阳紫外线辐射对人体皮肤(或眼睛)可能损害程度的一个指标。1994年世界气象组织(WMO)统一了UVI标准^[6],此后国际上普遍采用UVI的形式向公众发布紫外线辐射资讯。国内近年来对紫外线辐射及其危害也逐渐重视,各地气象台纷纷开展了UVI预报,以提醒公众采

取必要防护措施减轻紫外线辐射的危害。

笔者于1999年5月—2001年10月在北京气象台对UVI进行了观测,得出一些定量结果,旨在为研究紫外线辐射对人体健康的危害提供科学依据,并可作为北京地区UVI预报的检验依据,以促进预报水平的提高。

1 观测

观测仪器为美国YES公司生产的UVB-1型紫外线日射强度计,其安装和使用说明详见文献[7]。仪器表面为半球形石英罩,有利于接收天空各个方向的太阳直射和散射光线。入射太阳光先通过仪器内部的滤光片滤除所有可见光,然后利用磷完全吸收UV-B辐射并释放绿色荧光,光信号经由光电二极管最后转为电信号输出。仪器的灵敏度为单位电压相当于 1.97 W m^{-2} 的UV-B辐射,光谱响应波段为280~320 nm,响应时间为0.1 s。

仪器安装在北京气象台试验科楼顶(高3 m),其地理位置为39.9°N, 116.3°E,周围无高层建筑阻挡日射,空气污染程度相对市区较轻,观测的辐射资料有较好的代表性。仪器采样频率设为每6 s记录一次,1 min输出一个观测平均值。1999年5月中旬仪

收稿日期: 2002-09-19

基金项目: 科技部973项目(GI999045700)

作者简介: 饶晓琴(1973-),女,湖北麻城人,硕士研究生。

器开始全天候自动连续观测,中途因数据记录器故障导致某些时段资料丢失,截止2001年10月。各季节(春季为3,4,5月,夏季为6,7,8月,秋季为9,10,11月,冬季为12,1,2月)获得有效观测资料的天数统计列在表1中。

表1 各季节有效观测天数(1999-05—2001-10)

Table 1 The available observation days of each season

季节	春	夏	秋	冬
有效观测时间/d	125	40	98	109

国际上计算 UVI 普遍依据 WMO 标准,利用 McKinlay 等^[8]提

表2 仪器电压信号与 CIE 红斑辐射的转换关系

Table 2 The factors of converting the output voltage into the CIE erythmal irradiance

太阳天顶角/(°)	21.8	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0
转换因子/ $((\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \cdot \text{V}^{-1})$	0.144	0.143	0.141	0.139	0.138	0.136	0.136	0.134	0.140	0.145	0.145

2 结果分析

2.1 UVI与太阳天顶角和臭氧的变化关系

影响 UVI 的因子有太阳天顶角、臭氧、云、气溶胶粒子和地面反照率等^[3,9-12]。由于公众较为关注强紫外线辐射的危害,因此仅考虑能见度好的晴天大气,即忽略气溶胶粒子和云造成的辐射衰减,则地面接收的最大 UV-B 辐射量主要由太阳天顶角和臭氧总量决定。

图1为观测的各月最大 UVI 及其对应的太阳天顶角(θ)和臭氧总量的变化曲线。从图1可以看出,UVI 与 θ 呈明显的负

出的被国际光照委员会(CIE)采纳的红斑作用光谱(又称 CIE 作用光谱,代表人体皮肤对各波段紫外线的平均响应)对紫外辐射进行加权得到有效红斑辐射,再按单位紫外线指数相当于 25 mW m^{-2} 红斑辐射进行折算得到无量纲的 UVI。UVB-1 型紫外线日射强度计观测的电信号可直接转换为 CIE 红斑辐射,二者具体转换关系见表 2^[7],它是仪器出厂前反复实验的结果。根据观测时刻的太阳天顶角,按表 2 的转换关系即可将测得的电压值转为红斑辐射量,再经过换算就得到 UVI。当观测时刻的太阳天顶角介于表 2 中相邻太阳天顶角之间时,其转换因子利用权重计算得出。

相关,与臭氧总量也有一定的反相关。12 月份的最大 UVI 为 2.07,在全年各月中最小,其对应的 θ 在各月中最大,为 66.35° 。UVI 峰值出现在 7 月,为 9.78,其对应 θ 为 21.39° ,略高于 6 月最大 UVI 出现时的 θ ,但其臭氧总量(305 DU)为夏季各月最小。6 月份最大 UVI 对应的 θ 为 17.37° ,位居各月最小,而最大 UVI 为 8.28,比 7 月稍小,但其臭氧总量(309 DU)比 7 月略高。由此看出,最大 UVI 与 θ 强烈反相关,但二者最值出现的位相不完全一致,还受臭氧总量的制约,强 UV-B 辐射出现在 θ 小且臭氧含量低的时期。另外地面观测的云量和能见度资料也揭

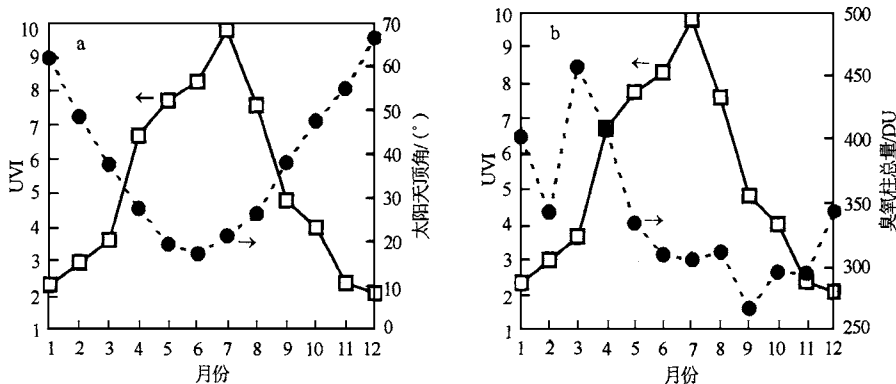


图1 各月 UVI 最大值及其对应的太阳天顶角(a)和臭氧柱总量(b)

Fig.1 The maximum of UVI in each month plotted with the corresponding solar zenith angle (a) and the total ozone column amount (b)

示,各月最大 UVI 均出现在晴空、大气能见度较好的天气里。而实际大气条件变化多端,云和气溶胶粒子的时空变化复杂多样,这就使得每天的 UVI 呈现出不同的特征。因此在具体分析每天的 UVI 时要全面考虑各种影响因子的综合作用。

2.2 UVI 的季节变化特征

2.2.1 UVI 日变化

图2为春、夏、秋、冬季 UVI 的平均日变化曲线。由总体特征来看,各季节 UVI 的日变化同位相,都是关于正午的最大值轴线呈大致对称分布,日出前 UVI 稳定在其最小值不变,随着

太阳天顶角的爬升 UVI 呈加速增长趋势,正午前后到达峰值,10:00—15:00 为 UVI 的高值时段,随后 UVI 逐渐回落,日落后又降至最小。UVI 的季节差异仅表现在其大小上,夏季正午 UVI 最大,平均值为 5.31;春季次之,为 3.52;秋季为 2.17;冬季最小,为 1.24。这种季节差异主要由太阳天顶角随季节的变化所决定。夏季太阳天顶角最小,因此其 UVI 远远高于其他季节。春季 5 月份太阳天顶角也较小,因此其 UVI 较大,正午的平均值为 4.75,较接近夏季平均水平。白建辉和王庚辰在北京地区的观测和计算结果^[13-14]也显示,5 月份晴天太阳紫外线辐

射平均日总量几乎与夏季各月相当,甚至为年最大值。北京地区5月份UVI普遍较高,一方面是由该月太阳天顶角较小所致,另外云天状况和大气能见度的分析表明,5月份阴雨日数和天空云量相对夏季月份较少,大气能见度比夏季月份大,这些因子共同作用导致了5月份的高值。因此春季5月份以及夏季是北京地区防太阳紫外线辐射的重要时期。

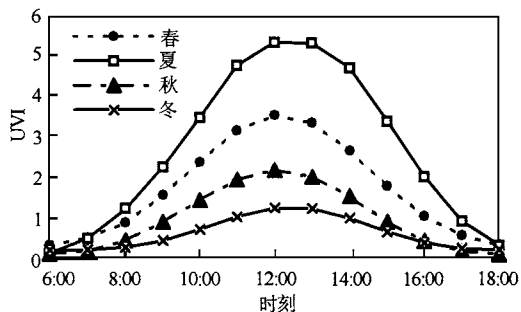


图2 春、夏、秋、冬季UVI的日变化

Fig. 2 Diurnal variation of UVI in each season

2.2.2 各级UVI的累积日照时间

根据2000年4月中国气象局预测减灾司《紫外线指数预报业务服务暂行规定》,发布紫外线预报时通常将UVI划分为5个等级,如表3所示。

表3 UVI等级划分及防护措施

Table 3 UVI and recommended protective measures

级别	UVI	皮肤晒红时间/min	需采取的防护措施
一级	0~2	100~180	不需要采取防护措施。
二级	3~4	60~100	可适当采取一些防护措施,如涂防晒霜等。
三级	5~6	30~60	外出时戴遮阳帽和太阳镜等,并涂防晒霜(SPF>15)。
四级	7~9	20~40	除上述防护措施外,10:00~16:00避免在阳光下活动。
五级	≥10	<20	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。

为了较直观地看出UV-B辐射对人体皮肤的危害程度,图3给出了春、夏、秋、冬四季平均每天在UVI高峰时段(10:00~15:00)各UVI的累积日照时间。从图3可清晰地看出,冬季UVI全属0~2范围,对照表3知此季节UV-B辐射对人体危害不大。秋季在这5h内UVI为0~2的平均每天累积日照时间达4h以上,UVI为3~4的累积日照时间不足1h,因此秋季UV-B辐射对皮肤的伤害相对较小。春季每天10:00~15:00内平均有2.5h以上UVI为0~2,UVI为3~4的累积日照达87min,UVI为5~6的累积日照47min,且UVI有2min超过7。夏季3~4,5~6和7~9的高UVI的累积日照时间比其他季节明显增长,UVI为0~2,3~4,5~6,大于7的累积日照时间分别达到75,99,93,29min,对比表3中的皮肤晒红时间,可明显看出,春、夏季UV-B辐射的危害较大,其中夏季尤为严重,是UVI预报和预警的关键期。

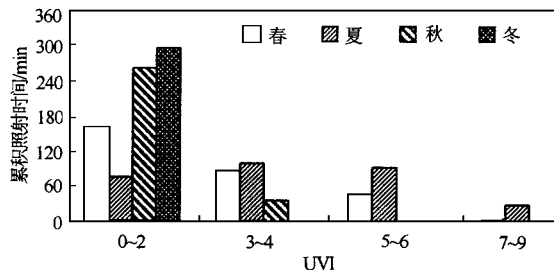


图3 10:00—15:00各级UVI的累积照射时间

Fig. 3 The mean cumulative irradiation time of UVI between 10:00 and 15:00

2.2.3 日间各级UVI的累积百分频率

图4是春、夏、秋、冬季平均日间(6:00~18:00)各级UVI累积百分频率的直方图,可以看出,各季节的UVI每天绝大多数都在0~2的低值范围,其中冬季全属此范围内,秋季为95%。春季为78%,夏季较少,为63%。夏季3~4的UVI占整个日间的19%,春季为15%,秋季为5%。UVI为5~6的统计结果则是,夏季占13%,春季占7%。另外,夏季还出现了大于7的UVI,虽然只占4%,但其对人体的危害性不能小觑。

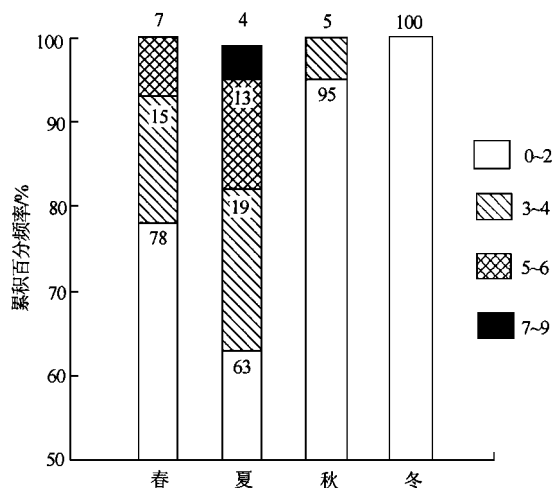


图4 春、夏、秋、冬季6:00—18:00各级UVI的累积百分频率

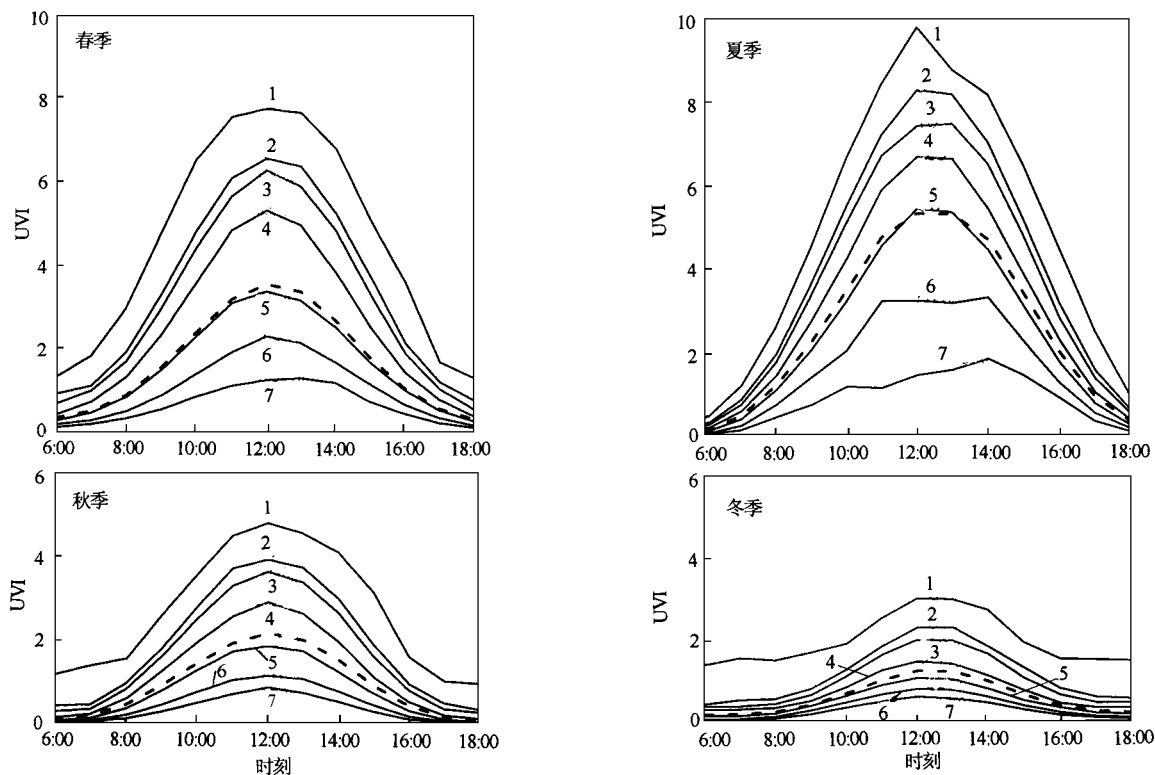
Fig. 4 The percentage of cumulative frequency for each seasonal UVI between 6:00 and 18:00

2.2.4 UVI分布特征

图5给出了春、夏、秋、冬季日间(6:00~18:00)UVI所有样本按累积频率的分布变化情况,图5中标识的百分数为UVI的超过累积频率,它统计的是观测值大于某数的几率。累积频率为0%的曲线对应了UVI最大值的变化,50%曲线反映UVI中值随时间的演变。选取有典型意义的正午UVI进行分析,夏季UVI的最大值为9.87,春季为7.85,秋季为4.92,冬季为2.99。春季UVI最大值的强度可与夏季水平相当,只是它出现7以上值的几率很小,不足5%,而夏季有10%以上的UVI高于7。春季UVI大于3和5的几率分别超过50%和25%,而夏季大于3的UVI超过75%,大于5的UVI在50%以上。秋季UVI大于3的几率不足

25%,冬季 UVI 则全部在 3 以下。由总体分布特征可明显看出夏季 UV-B 辐射最强,春季次之,秋、冬季较弱。另外,图 5 中虚线代表 UVI 的季节平均状况,通过与中值(50%曲线)比较可发现,二者虽较为接近,但春、秋、冬季的中值均比各自季节的平均值

低,这表明春、秋、冬季的 UVI 多数集中在其季节平均值以下;夏季在紫外线辐射较强的正午前后 UVI 中值比季节平均值略高,这说明夏季正午 UVI 多分布在季节平均值以上,这也是夏季正午 UV-B 辐射强的又一有力证据。



UVI 的累积频率/ %:1-0;2-5;3-10;4-25;5-50;6-75;7-90

图 5 春、夏、秋、冬季日间 UVI 的累积分布

Fig. 5 The cumulative distribution of UVI for spring, summer, autumn and winter

3 结语

a. 紫外线指数的影响因子多且涉及的大气物理化学过程复杂。目前由于探测技术的局限,关于云和气溶胶等对 UVI 的影响机制的研究还存在较大的不确定性,有待于观测和模式研究的进一步深入。

b. 通过对北京市 UVI 的长期观测资料研究表明,晴空洁净大气条件下,地面最大 UVI 由太阳天顶角和臭氧总量共同制约。以往对太阳紫外辐射的研究多集中在分析其绝对辐射量上,笔者给出了考虑人体皮肤对各波段紫外辐射的响应后的 UVI,它直接反映紫外辐射对人体的危害程度,便于人们在日常生活中进行参考。

参考文献:

[1] Cutchis P. Stratospheric ozone depletion and solar ultraviolet radiation on earth[J]. Science, 1974, 184: 13 - 19.
 [2] 郭松,周秀骥,张晓春. 青藏高原大气 O₃ 及紫外辐射 UV-B 观测结果的初步分析[J]. 科学通报, 1994, 39(1): 50 - 53.
 [3] UNEP. Environmental effects of ozone depletion: 1998 Assessment[R]. Nairobi: UNEP, 1998.
 [4] 陆龙骅,卞林根,迟昌贵,等. 75°N - 70°S UV-B 辐射经向变化特征的观测研究[J]. 自然科学进展, 2001, 11(8): 835 - 839.

[5] Long Carig S, Alvin J Miller, Lee Hai-Tien, et al. Ultraviolet index forecasts issued by the National Weather Service[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(4): 729 - 748.
 [6] WMO. Report of the WMO meeting of experts on UV-B measurements, data quality and standardization of UV indexes[R]. WMO Global Atmosphere Water Report No. 95, 1994.
 [7] Yankee Environmental Systems Inc. UVB-1 ultraviolet pyranometer installation and user guide version 2.0[Z]. 1997.
 [8] McKinlay A F, Diffey B L. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin[J]. CIE, 1987, 6: 17 - 22.
 [9] Nack M L, Green A E S. Influence of clouds, haze and smog on the middle ultraviolet reaching the ground[J]. Applied Optics, 1974, 13: 2405 - 2415.
 [10] Ilyas M. Effect of cloudiness on solar ultraviolet radiation reaching the surface[J]. Atmos Environ, 1987, 21(6): 1483 - 1484.
 [11] Blumthaler M, Ambach W. Solar UV-B albedo of various surfaces[J]. Photochem Photobiol, 1988, 48: 39 - 44.
 [12] Liu S C, McKeen S A, Madronich S. Effects of Anthropogenic aerosols on biologically active ultraviolet radiation[J]. Geophys Res Lett, 1991, 18: 2265 - 2268.
 [13] 白建辉,王庚辰. 北京地区太阳紫外辐射的观测与分析研究[J]. 大气科学, 1994, 18(3): 341 - 347.
 [14] 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.