

75°N ~ 70°S UV-B 辐射经向变化特征的观测研究*

陆龙骅 卞林根 逯昌贵 程彦杰

中国气象科学研究院,北京 100081

摘要 利用 1999~2000 年中国首次北极和第 16 次南极科学考察资料,对 75°N~70°S B 段紫外辐射(UV-B)经向变化特征的研究结果表明,到达地面的 UV-B 随着纬度增加而减少,且北半球平均 UV-B 小于南半球;UV-B 的日变化规律,基本上与到达地面的总辐射相同.在极地夏季地方时中午前后,冰雪表面反射率很大的地方,有时能观测到接近于赤道地区的最大 UV-B 辐照度(垂直太阳光线面上).在中山站附近海域,到达地面 UV-B 的增大与高层大气臭氧减少密切相关,而与地面臭氧浓度变化关系不大.

关键词 极地 UV-B 经向变化 日变化 大气臭氧

近 20 年来,随着全球臭氧减少和南极春季臭氧洞的出现,人们对与此密切相关的,到达地面太阳紫外辐射的增强极为关注^[1-6].目前美、英、澳、日等国都进行紫外辐射强度预报的公众服务^[7],我国北京、上海、广州、南京等地的气象部门也开始该项服务.太阳紫外辐射(UV)按照波长可分为 A 段、B 段和 C 段 3 部分.其中 B 段紫外辐射(UV-B)受臭氧变化的影响最大,对地球生命有重要意义,是紫外辐射研究的重点波段.目前列入世界气象组织(WMO)紫外辐射监测站网和进行地基紫外辐射观测的测站(在全球 100 多个),主要分布在西欧、北美和较发达的地区,在发展中国家、海洋、低纬和南北极地区,测站和观测资料都很少,进行 UV-B 观测的就更少了^[2].1999 年 7~9 月,中国首次北极科学考察^[8]和 1999 年 11 月~2000 年 4 月中国第 16 次南极考察期间,在“雪龙号”考察船上获取了从 75°N 到 70°S 的较为完整的 UV-B 和地面臭氧经向剖面资料.利用这些资料,本文初步分析了从 75°N 到 70°S 沿航线的 UV-B 经向(随纬度)变化特征,对地面臭氧则另文分析¹⁾.

1 航迹和资料

中国首次北极考察时,雪龙号考察船于 1999 年 7 月离开上海,8 月 12 日到达本次考察最远端的加拿大图克托亚克图克港(Tuktoyaktuk, 69°52'N, 133°14'W),9 月 9 日返回上海.第 16

2000-11-13 收稿,2001-02-07 收修改稿

* 国家“九五”科技攻关、北极研究和国家自然科学基金(批准号:49975006)资助项目

1)陆龙骅,等.南北极考察航线地面臭氧的观测研究,待发表

次南极考察时,雪龙号考察船于 1999 年 11 月 1 日离开上海,12 月 5 日到达南极中山站(69°22'S,76°22'E)地区,12 月 27 日到达航迹最西端的智利彭塔阿雷纳斯港(Punta Arenas, 53°10'S,70°54'W),2000 年 1 月 3 日到达南极长城站(62°13'S,58°58'W),1 月 27 日返回中山站地区,2 月 27 日离中山站返航,4 月 5 日返回上海.航迹经历了太平洋、北冰洋、印度洋、南大洋和大西洋.其中,在北极和南极地区时,均为夏季.

考察时使用了美国生产的 UVB-1 型紫外辐射表(Yankee Environmental Systems Inc.);用 Datalogger(澳大利亚 Data Electronics Co.)数据采集器进行连续观测和存储资料(采样频率为 1 min).每小时 1 次的船位和气象资料,分别由“雪龙号”船舶 GPS 定位系统和气象观测系统获得.UVB 辐射表安装在陀螺系统上(仪器感应面在航途中保持水平),放置在“雪龙号”前部、距海面 28 m 的驾驶室顶甲板.除顺风、风速大于船速或微风、船速很小时外,观测结果一般不会受船后部烟囱的影响.

考察所用 UVB-1 紫外辐射表的波长范围为 280 ~ 320 nm,灵敏度为 1.97 (W/m²)/V.赴北极前(1999 年 5 月),在美国(TDC)对仪器进行了标定,考察期间,仪器工作正常,资料可靠.资料处理时,为进一步排除考察船烟囱排烟的可能影响,参考当时的船向、船速和风向、风速,剔除了观测资料的奇异点;为了便于比较,所有资料都统一采用地方平太阳时,并订正到日地平均距离^[9].

2 UV-B 的经向平均变化

图 1 给出了考察期间从南纬 70°到北纬 75° UV-B 的平均日总量和 10 min 平均辐照度的经向变化.表 1 则给出了考察期间各纬度带(±5°)平均 UV-B 辐照度.由图 1 或表 1 都可以看出,在考察期间,UV-B 10 min 平均辐照度和日总量都随纬度增加而减少,且北半球 UV-B 的平均辐照度(0.50 W/m²)小于南半球(0.65 W/m²),前者只有后者的 76%,尤其是在极地,北极地区的 UV-B 平均辐照度(0.32 W/m²)只有南极地区(0.44 W/m²)的 72%(表 1).很显然,这是与北半球和北极地区的大气臭氧总量小于南半球和南极地区有关的.考察期间在 50 ~ 60°N, 20 ~ 30°N, 5°S 及 40° ~ 50°S 等地遇到了较长时间的阴雨天气,相应的 UV-B 也出现了低值(图 1).

表 1 考察期间各纬度带(±5°)平均 UV-B 辐照度 (W·m⁻²)

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	> 65°	平均
北半球	0.82	0.63	0.38	0.55	0.47	0.33	0.31	0.50
赤道								0.55
南半球	0.83	0.94	0.89	0.59	0.43	0.44	0.45	0.65

考察期间,上海所在的 30°N(±1°)地区,资料分别是 7, 9, 11 和 4 月获得的,其中秋季 9 月的 UV-B 平均辐照度(0.56 W/m²)最大,而 4 月(0.26 W/m²)最小.除了与太阳高度角的季节性变化有关外,主要与天气状况(9 月少阴雨,4 月多阴雨)有关.而在 30°S(±1°),11 和 4 月的平均 UV-B 辐射辐照度均为 0.92 W/m².在不同月份,考察航线上 UV-B 的上述经向变化特征仍然存在.但由于资料稀少,尚无法对 UV-B 辐射经向分布的季节变化作进一步的研究.

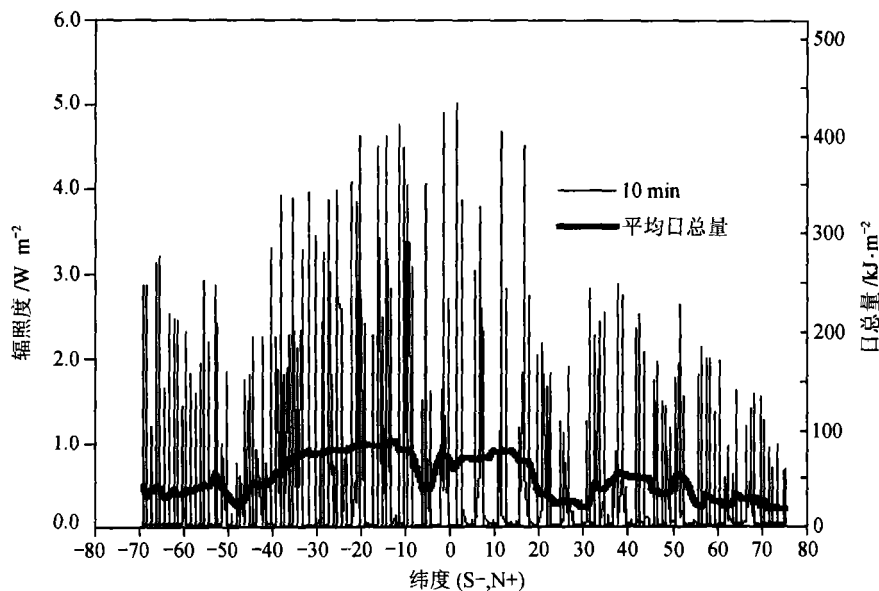


图 1 考察航线上 UV-B 的平均经向变化

3 UV-B 的平均日变化

图 2 给出了考察期间各纬度 UV-B 的平均日变化. 表 2 则给出了考察期间各纬度带 ($\pm 5^\circ$) 到达地面水平面和垂直太阳光线面上的 UV-B 辐照度的最大振幅. 由图 2 可以看出, 到达地面的 UV-B 的日变化和总辐射一样, 都基本上与日出后太阳高度角的变化一致. 在南半球不但平均 UV-B 辐照度和日总量大于北半球, UV-B 的平均日变化幅度也大于北半球, 且最大值都出现在地方时中午. $10^\circ \sim 20^\circ\text{S}$ 是考察期间平均日变化幅度最大的地方, 变化幅度在 3.5 W/m^2 以上, 而在两极地区平均日变化幅度小于 1.5 W/m^2 . 通常 UV-B 和 UV 占总辐射的百分比变化不大^[5], 因此可以由总辐射来粗略地估计 UV-B.

通常到达地面水平面上的 UV-B 除受地理位置、观测时间和臭氧总量变化影响外, 还与下垫面反射率、海拔高度、云、气溶胶变化等有关. 在高纬地区, 海洋表面的反射率与冰雪覆盖状态密切相关. 1999 年 12 月 6 ~ 12 日“雪龙号”破冰行进在中山站附近的陆缘冰地区, 下垫面反射率很大, 地方时中午前后曾多次出现 UV-B 大于 3.0 W/m^2

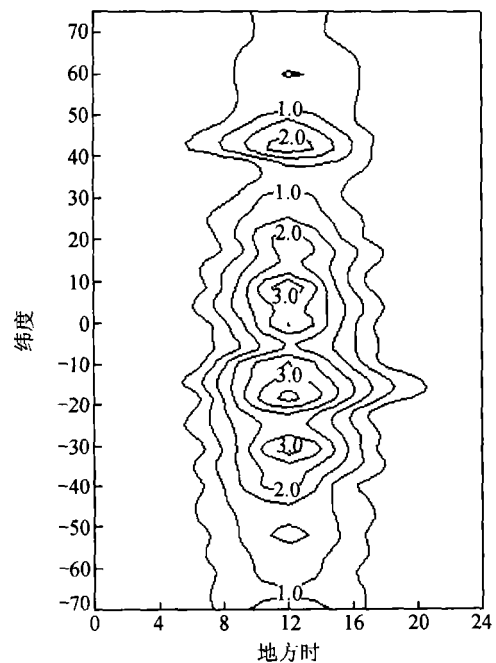


图 2 考察航线上 UV-B 的平均日变化

的情况,其中最大 10 min 平均 UV-B 辐照度为 3.5 W/m^2 , 如果订正到垂直太阳光线面上则达 4.7 W/m^2 (表 2), 为赤道地区最大 10 min 平均 UV-B 辐照度(5.0 W/m^2)的 94%. 这种情况仅出现在 12 月, 此时正好是南半球一年中太阳高度角最大的时候, 在陆缘冰及大陆冰盖地区, 下垫面反射率很大, 当大气臭氧总量较少时, 就会出现很强的 UV-B 辐射. 同样在中山站附近的陆缘冰地区, 1~2 日中午到达水平面上的最大 UV-B 辐射辐照度(10 min 平均)只有 2.0 W/m^2 左右, 订正到垂直光线面上也只有 3.1 W/m^2 左右, 仅为赤道地区最大 10 min 平均 UV-B 辐照度的 62%. 在北极地区, 由于“雪龙号”7 月中旬才进入冰区, 已不是北半球一年中太阳高度角最大的时候, 加之经常是阴天、能见度较差、大气臭氧总量也大于南极, 故在 65°N 以北地区测得的最大 10 min 平均 UV-B 辐照度仅为 1.6 W/m^2 .

表 2 考察期间各纬度带 UV-B 最大日振幅 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

		10°	20°	30°	40°	50°	60°	> 65°	平均
北半球	水平面	4.18	4.41	2.82	2.75	2.65	2.01	1.56	2.91
	垂直面	4.23	4.51	3.11	3.22	3.02	2.60	2.34	3.29
赤道	水平面								5.01
	垂直面								5.02
南半球	水平面	4.76	3.87	3.86	3.30	2.77	2.52	3.47	3.35
	垂直面	4.80	4.11	4.19	3.51	3.20	3.32	4.73	3.98

4 UV-B 与大气臭氧变化

近 10 余年, 有很多人对紫外辐射与大气臭氧变化的关系进行了研究^[1,3-6], 但大都是讨论生物有害辐射(DUV-B). 生物有害紫外辐射是分波段的紫外 UV 辐射与对应的对生物有害的红斑权重函数乘积之和, 可由 Brewer 臭氧分光仪光谱仪直接获得. 我国南极中山站($69^\circ 22'\text{S}$, $76^\circ 22'\text{E}$, 18 m)及青藏高原瓦里关本底监测站($36^\circ 17'\text{N}$, $100^\circ 54'\text{E}$, 3816 m)的观测资料都表明: 地方时中午时的 DUV-B 与考虑了太阳高度角修正后的臭氧斜程柱总量存在着负指数关系^[4-6].

在考察期间, 地方时中午的地面臭氧浓度与到达地面水平面上及垂直于光线面上 UV-B 辐射辐照度的相关系数分别只为 0.1350 及 0.0812, 而此时(样本数为 223)信度为 0.01 的临界相关系数为 0.2324. 可以认为, 到达地面的紫外 UV-B 辐射和地面臭氧变化无显著关系.

我们用在中山站附近海域($60^\circ \sim 70^\circ\text{S}$, $73^\circ \sim 79^\circ\text{E}$)地方时中午时的 UV-B 观测值和相应的气象卫星 TOMS 大气臭氧总量反演值(取自: <http://toms.gsfc.nasa.gov>), 讨论了 UV-B 与大气臭氧总量变化的关系. 到达地面水平面(E_{UVB})和垂直于光线面上(E'_{UVB})的 UV-B 辐照度与大气臭氧斜程柱总量(Ω)之间存在负指数关系

$$E_{\text{UVB}} = 25.3520 \exp(-0.005566\Omega), \quad (1)$$

$$E'_{\text{UVB}} = 20.2515 \exp(-0.004154\Omega), \quad (2)$$

其中 Ω 与 $\lg(E_{\text{UVB}})$ 及 $\lg(E'_{\text{UVB}})$ 的相关系数分别为 0.8415 及 0.7872, 其置信水平($1-\alpha$)均在 99.9% 以上($n=45, \alpha=0.001$ 时 $r_\alpha=0.4747$).

大气臭氧主要分布在平流层中, 对流层和地面的臭氧只占臭氧总量的 10%. 因此上述结

果也表明,在中山站附近海域,到达地面 UV-B 的增大与高层大气臭氧减少密切相关,而与地面臭氧浓度变化关系不大。

5 结语

UV-B 是到达地面紫外辐射中生态效应最显著、对人类潜在危害最严重的一种辐射。到达地面水平面上的 UV-B 除受臭氧总量变化影响外,还与下垫面反射率、海拔高度、云、气溶胶及地理位置和观测时间有关。本文的研究表明,在不同纬度地区,到达地面 UV-B 的平均辐照度随纬度增加而减少,且北半球的平均 UV-B 要小于南半球。到达地面 UV-B 的日变化型式基本上与到达地面的总辐射相同,一般来讲,极地和高纬度地区的最大 UV-B 日振幅要小于中纬度和低纬地区。值得注意的是,夏季南极地区在合适的条件下(臭氧总量低,下垫面反射率大)也可以出现超过 3.0 W/m^2 的异常 UV-B 极值。在中山站附近海域,到达地面 UV-B 的增大与高层大气臭氧减少密切相关,而与地面臭氧浓度变化关系不大。本文结果可为进一步认识 UV-B 辐射的全球经向分布提供了背景参考值。需强调指出的是,本文给出的仅仅是在“雪龙号”赴南北极考察特定航线上、1999~2000 年特定考察期间到达地面 UV-B 的观测的集成结果,从空间和时间上来说都有局限性。与其他要素相比,目前全球 UV-B 实测资料仍然不多,除纬度、臭氧总量和太阳高度角变化外,UV-B 与云天状况、气溶胶特性及地面反射率等有密切的关系;除日变化外,也存在着季节变化,对此尚需有更多的资料从观测和数值模拟两个方面来进行研究。

致谢 本研究是在周秀骥院士关心下完成的,资料获取得到了中国首次北极和第 16 次南极考察队的大力协助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 WMO(World Meteorological Organization). Scientific Assessment of Ozone Depletion;1998. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 44, Geneva: WMO, 1999, 9. 1—9. 46
- 2 Weather head E C, et al. International response to the challenge of measuring solar ultraviolet radiation. Radiat Prot Dosim, 1997, 72: 223
- 3 周秀骥,等. 1993 年中山站地区“臭氧洞”和 UV-B 的特征分析. 南极研究,1994, 6(4):14
- 4 郑向东,等. 南极中山站“臭氧洞”和 UV-B 的特征分析. 见:周秀骥、陆龙骅主编,南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京:气象出版社,1996. 321
- 5 卞林根,等. 南极中山站紫外辐射的初步研究. 科学通报,1996, 41(9): 805
- 6 郭松,等. 青藏高原大气 O₃ 及紫外 UV-B 观测结果的初步分析. 科学通报,1994, 39(1): 50
- 7 Long C S, et al. Ultraviolet index forecasts issued by National Weather Service. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77: 729
- 8 中国首次北极科学考察队编. 中国首次北极科学考察报告. 北京:海洋出版社,2000. 1
- 9 王炳忠,等. 日射观测中常用天文参数的再计算. 太阳能学报,1991,12(1): 27