第 19 卷 第 1 期
1998 年 1 月

太 阳 能 学 报
ACTA ENERGIAE SOLARIS SINICA

Vol. 19, No. 1
Jan., 1998

# 藏北高原紫外辐射的变化特征*

江 灏 季国良
(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州 730000)

师生波 贲桂英 韩 发
(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**文 摘**: 对藏北高原五道梁站及其邻近地区以及一些平原地区站点的太阳紫外辐射观测资料进行了分析, 并与青藏高原其它地区的观测结果进行对比, 讨论了紫外辐射的变化特征及其影响因子。结果表明: 1) 紫外辐射的基本变化主要受天文因子的影响, 其一般变化特征与总辐射有良好的对应关系。2) 紫外辐射受大气臭氧含量的影响, 其在太阳总辐射中所占比例的变化是由大气臭氧含量南北不同的空间分布和季节变化造成的。3) 紫外辐射受测站海拔高度的影响, 其相对变化随测站海拔高度的增加而加速增长。紫外辐射在太阳总辐射中所占比例也有明显的类似变化。4) 高原地区 B 波段紫外辐射较强, 在到达地表的紫外辐射中所占的能量比例较小, 其辐射值和比例值都有明显的日变化。

**关键词**: 藏北高原, 紫外辐射, 紫外 B

## 0 引 言

近年来在极地连续观测到平流层臭氧空洞, 并不断扩大、加深。各地的观测也显示臭氧层有削弱变薄的趋势[1]。其直接的后果是太阳紫外辐射大大增加, 对生物的杀伤和对人类健康的威胁也大大增加。因此太阳紫外辐射的变化成为人们关注的问题。为了监测青藏高原地区紫外辐射的变化情况, 国家攀登计划项目自 1993 年 8 月起在藏北高原五道梁站的观测工作中设置了太阳紫外辐射的观测项目, 同时为配合国家自然科学基金项目中紫外辐射对植物生理功能的影响以及紫外辐射与海拔高度的关系的研究, 我们于 1993 至 1995 年 6、7 月间的作物生长期, 在南京、兰州、西宁、海北等地进行了短期的太阳辐射观测, 取得一批资料, 并结合五道梁的观测资料进行了分析。所选各测点纬度差别不很大, 而海拔高度各不相同, 以便进行比较分析, 研究太阳紫外辐射的一些特征变化情况。

各测点的一般情况简介如下: 南京测点选在南京气象学院的作物试验田, 位于长江以北南京市郊区。下垫面为农作物, 1993 年为小麦, 1994 年为大豆。兰州测点选在中科院皋兰生态实验站, 位于兰州市区以北 20 公里的山上, 下垫面为小麦。西宁测点在西北高原生物所院内的实验田, 位于西宁市区南部边缘, 下垫面为小麦。海北测点在中国科学院海北生态定位站, 位于青

* 本课题由国家攀登计划项目 A 85-29-03 和国家自然科学基金项目 39270139 资助。
本文 1997-1-10 收到

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

海省门源县境内, 下垫面为高原草地。五道梁测点在青海省五道梁气象站观测场内, 下垫面为荒漠草地。各测点的经纬度和海拔高度等见表 1。

表 1 测点简况

| 测点 | 经度 | 纬度 | 海拔高度 | 下垫面 |
|---|---|---|---|---|
| 南京 | 32°00′ | 118°48′ | 18m | 农作物 |
| 兰州 | 36°13′ | 103°47′ | 1800m | 农作物 |
| 西宁 | 36°37′ | 101°46′ | 2261m | 农作物 |
| 海北 | 37°37′ | 101°19′ | 3250m | 草原 |
| 五道梁 | 35°17′ | 93°06′ | 4612m | 荒漠 |

根据需要各测点都有许多不同项目的观测, 我们选用其中天空紫外辐射和总辐射观测资料进行分析。紫外辐射观测所用仪器为美国 Epilley 实验室生产的 TUVR 天空紫外辐射表, 标准带宽为 0.295—0.395μm。在各点的观测中共使用三台紫外辐射表, 其中南京测点用的是南京气象学院的 TUVR 表, 其它各测点先后使用兰州高原大气物理研究所的 No. 23469 和 No. 20672 号 TUVR 表。为保持观测结果的一致性, 分别于 1993 年和 1995 年进行了两次对比观测。以 No. 23469 表为基准的对比结果列于表 2, 并以此对观测结果进行统一处理。

表 2 三台紫外辐射表的对比结果

| 表 号 | 原灵敏度 (mV/W·m$^{-2}$) | 现灵敏度 (mV/W·m$^{-2}$) | 修正系数 | 标准偏差 |
|---|---|---|---|---|
| 23469 | 0.209 | 0.209 | 1.000 | 0.000 |
| 20672 | 0.187 | 0.140 | 1.341 | 0.006 |
| * | 0.235 | 0.205 | 0.873 | 0.011 |

* 南京气象学院的表

为配合太阳紫外辐射对植物生理功能影响的研究, 另外还进行了一些 B 波段紫外辐射的观测。所用仪器为国产 UV-B 紫外辐照计, 其标准带宽为 0.280—0.320μm, 中心波长为 0.297μm。

## 1 紫外辐射的基本变化

图 1(a) 为五道梁站紫外辐射的冬(1 月)、夏(7 月) 晴天日变化图。由该图可以看到, 紫外辐射的晴天日变化很典型、规则, 中午大早晚小, 上下午基本对称, 日变化振幅较大, 远大于日平均值。统计表明, 其晴天日振幅也大于同期正午的日际变化值。图 1(b) 为该站紫外辐射和总辐射月平均日总量的年变化。与日变化类似, 紫外辐射年变化振幅大于其平均值, 也大于其年际变化, 且夏大冬小的变化趋势与总辐射一致。由此可以看出, 紫外辐射的日变化和年变化是其最主要、最基本的变化, 远大于其它的变化, 其变化规律具有明显的外源强迫特征, 而地球的自转和公转变化形成的太阳辐射的天文变化正是这一强迫源。对于空间分布而言, 由测站纬度不同造成的天文辐射变化是形成紫外辐射局地差异的主要原因之一。由于紫外辐射与总辐射同受天文因素影响, 因而与总辐射的基本变化一致, 保持着相对稳定的关系, 即在总辐射中占一相对稳定的比例。这一比例在所观测地区约为 4—5%。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

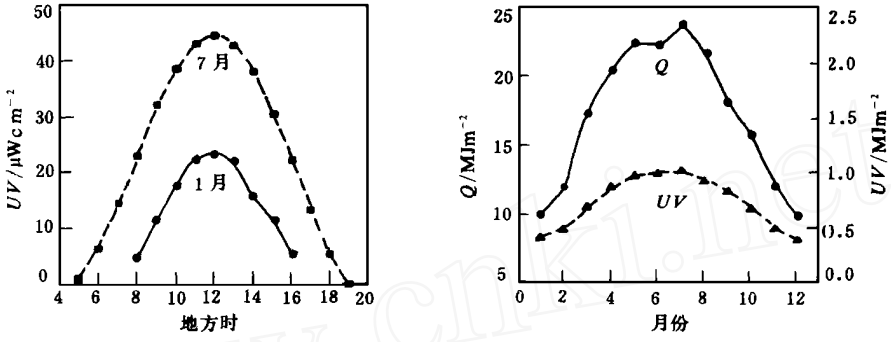


图 1　紫外辐射的基本变化

## 2　紫外辐射随大气臭氧含量的变化

大气中臭氧对太阳紫外辐射有强烈的吸收作用, 因而对紫外辐射的时空变化有着重要影响。

根据大气臭氧总含量的空间分布[2], 在北半球中纬度地区, 臭氧含量随纬度有很大变化, 春季北京和昆明测站的臭氧总量[3]可相差三分之一以上, 对紫外辐射的分布造成明显影响。与同处高原地区的拉萨站相比[4], 观测地区的紫外辐射月平均日总量要小一些。除了由纬度较高导致的天文辐射减少已在前面讨论过以外, 臭氧总量的变化也是重要原因之一。

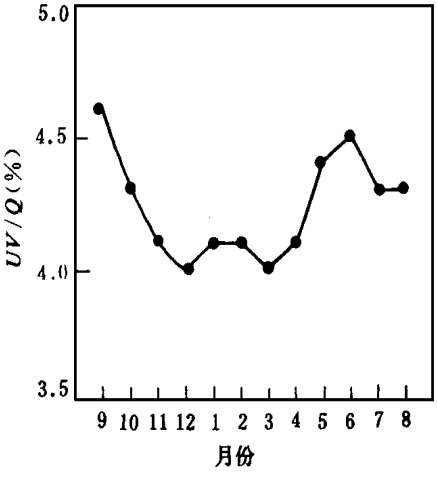


图 2　$UV/Q$ 的年变化

由于臭氧对太阳辐射的吸收主要集中在紫外波段[5], 对太阳总辐射的其它波段吸收甚少, 而紫外辐射的基本变化又与总辐射同步, 所以紫外辐射与总辐射之比($UV/Q$)可以部分消除天文因素的影响, 较清楚地反映出臭氧对紫外辐射的作用。图 2 所示为五道梁站$UV/Q$ 的年变化情况。由该图可以看出$UV/Q$ 的年变化有两个峰两个谷, 其中 6 月和 12 月的峰谷仍是天文因素的影响, 而 9 月和月 3 月的峰谷则与纬度较高的北京地区大气臭氧总含量秋低春高的年变化[3]是对应的, 与纬度较低的昆明地区大气臭氧总含量冬低夏高的年变化不同。这表明藏北高原地区紫外辐射受大气臭氧含量的影响较明显, 具有明显的北方地区年变化特征。

## 3　紫外辐射随海拔高度的变化

在海拔较高的高原地区, 大气质量较小, 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。为考察紫外辐射随海拔高度的变化, 计算了观测期间紫外辐射日总量及其在总辐射日总量中所占的比例。由于紫外辐射的年际变化以及各年的观测时间不完全一致, 各年的观测值存在一定的差异。为消除这一差异, 对

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

紫外辐射观测值作相对变换, 即以兰州的观测值为基准, 其它测站的紫外辐射换算为其观测值与兰州观测值的比值, 称为相对值。变换后的紫外辐射日总量及其在总辐射日总量中所占的比例见表 3。为便于参考, 表中还列出了各测站的海拔高度。

表 3 紫外辐射日总量及其在总辐射中所占比例的相对变化

| 测 站 | 南京 | 兰州 | 西宁 | 海北 | 五道梁 |
|---|---|---|---|---|---|
| 紫外辐射相对值 | 0.99 | 1.00 | 1.06 | 1.23 | 1.70 |
| 紫外比例相对值 | 1.00 | 1.00 | 1.02 | 1.08 | 1.36 |
| 海拔高度(m) | 18 | 1800 | 2261 | 3250 | 4612 |

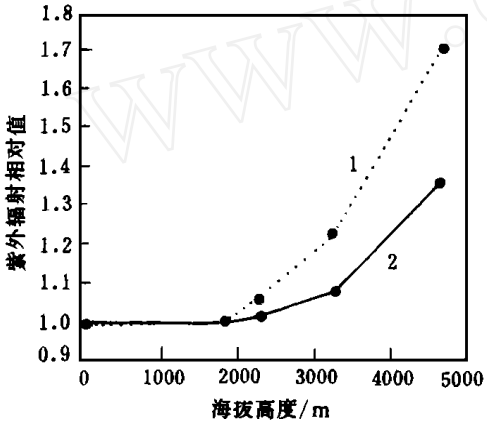


图 3 紫外辐射相对值随海拔高度的变化

1——紫外辐射日总量相对值

2——紫外辐射在总辐射中所占比例相对值

由表 3 可以看出, 紫外辐射相对值随海拔高度的增加有明显的增大, 其中紫外辐射日总量相对值的增加比紫外辐射所占比例相对值的增加要大。这是因为总辐射随海拔高度增加也有明显的增大, 造成紫外辐射在其中所占比例的增长小于紫外辐射本身的增长。

图 3 所示为紫外辐射相对值随海拔高度的变化。由该图可以发现, 紫外辐射及其在总辐射中所占比例有随海拔高度增加而加速增长的趋势, 表现为图中曲线的斜率随海拔高度增加而增大, 类似于高次函数的变化。地处平原的南京站的相对值和兰州站并无明显差别, 1800m 的海拔高度差对紫外辐射似乎并未产生明显影响。只是在海拔高度更高时, 其作用才逐渐明显, 并且越来越大。这一趋势与 Caldwell 报道的结果极为相似[6]。在植物生态研究中也已发现, 紫外辐射对生物的影响也存在着类似的随海拔高度增高而加速增长的现象[7]。

## 4 B 波段紫外辐射(UV-B)

本文所论及的紫外辐射是指波长在 0.28—0.40μm 的太阳紫外辐射, 它按波长分为 A、B 两段。B 波段紫外辐射(UV-B)是其中波长在 0.28—0.32μm 的部分。由于这一波段的紫外辐射能极有效地被一些生物大分子所吸收, 因而对生物的生理过程有特殊影响, 甚至可改变生物的重要遗传物质 DNA 的结构而使遗传性状发生变化[6], 其能量虽少, 但受到广泛关注。

图 4 所示为海北站 1993 年 6 月 28 日典型晴天条件下 UV-B 及其在 UV-AB 总能量中所占比例的日变化情况。由该图可以看出, 晴天 UV-B 的日变化较规则, 通量值和比例值都是中午大早晚小, 上下午基本对称。UV-B 的晴天中午值较大, 一般可达 100μW/cm$^2$ 以上, 比观测期间南京站测值高出约 50% 左右。其在 UV-AB 总能量中所占的比例在 2% 以下。由该图还可看到, UV-B 的比例在早晚有较大的下降, 比中午可小一半左右, 这是由大气相对质量的日变化造成的。由于早晚日光斜射使大气光程增加, 由此产生的影响主要来自大气下层, 以气体分子和气溶胶的散射作用为主, 因而对波长较短的 UV-B 波段的削弱要明显地大于 A 波段。

太阳紫外辐射在通过大气的辐射传输过程中受到各种气体和气溶胶的强烈散射和吸收,

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

到达地表时已受到极大的削弱, 其中尤以臭氧的吸收最为强烈。由于臭氧的两个强吸收带 Hartlly 带和 Huggins 带都主要集中在 UV-B 波段[8], 所以对 UV-B 的削弱特别显著。在大气上界 UV-B 的辐射能量约占 AB 段总能量的 20%[9], 到达地表后只剩下极小部分。在理想洁净大气中约占 AB 段总能量的 4%[9], 实测中大多在 2% 以下。对日总量而言, 这一比例约为 1.6%。

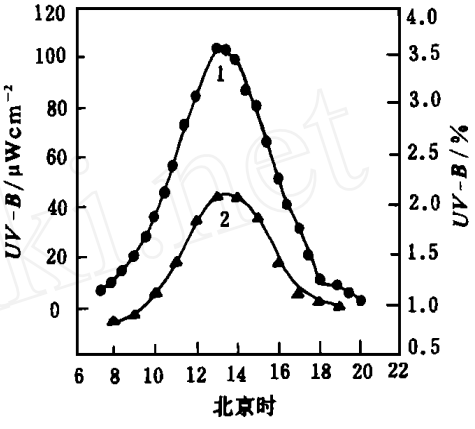


图 4　海北站 B 波段紫外辐射的晴天日变化
1——B 波段紫外辐射, 2——B 波段紫外辐射占总紫外辐射的比例

## 5　结　论

(1) 紫外辐射的基本变化主要受天文因子的影响, 如日变化和年变化等振幅大、周期固定, 具有明显的外源强迫特征。其一般变化特征与总辐射有良好的对应关系, 主要表现为在太阳总辐射中占一相对稳定的比例。

(2) 紫外辐射受大气臭氧含量的影响显著, 主要表现为其在太阳总辐射中所占比例的变化。在藏北高原地区, 大气臭氧含量的季节变化使紫外辐射在太阳总辐射中所占比例的季节变化具有明显的北方地区特征。

(3) 紫外辐射强度因测站海拔高度的增加而迅速增长, 在海拔 2000m 以上地区尤为明显。紫外辐射在太阳总辐射中所占比例也有明显的类似变化。

(4) 藏北高原地区 B 波段紫外辐射较强, 在到达地表的紫外辐射中所占的能量比例较小, 其辐射值和比例值都有明显的日变化。

## 参　考　文　献

1　HMSO. United Kingdom Stratospheric Ozone Review Group, Fast Report, 1991

2　《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典. 北京: 气象出版社, 1994

3　王卫国, 秦芳. 臭氧层季节变化与对流层顶的关系. 云南大学学报, 1994, 16(增刊): 30

4　季国良, 陈有虞. 青藏高原的紫外辐射. 高原气象, 1985, 4(4, 增刊): 112—121

5　M M Caldwell. Plant Response to Solar Ultraviolet Radiation. Lange, OL at al (eds) Physiological Plant Ecology I, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1981, 170-194

6　M M Caldwell. Solar Ultraviolet Radiation as an Ecological Factor for Alpine Plants. Ecol Monogr. 1968, 38: 243-268

7　M M Caldwell. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants. A. C. Giese (ed) Photosynthesis, New York: Academic Press, 1971, 6: 131-177

8　WMO, Global ozone research and monitoring project, World Meteorological Organization Report, 1985 (16): 355-362

9　王炳忠. 太阳能—未来能源之星, 北京: 气象出版社, 1990

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

# THE CHARACTERISTICS OF ULTRAVIOLET RADIATION VARIATION OVER THE NORTHERN TIBETAN PLATEAU

Jiang Hao Ji Guoliang
(*Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000)
Shi Shengbo Beng Guiying Han Fa
(*Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining* 810001)

**Abstract**: In this paper, the characteristics of ultraviolet radiation (UV) over the north Tibetan plateau are analysis on the basis of the UV radiation data observed over Wudaoliang station and compare with that over other stations. The results are as following: 1) The basic variations of UV are controlled primarily by astronomical factor. 2) The ratio of the UV to global radiation is vary with ozone content spatial and seasonal variation. 3) The relative variation of UV enlarges along with increase of elevation. UV-B over the plateau is strong.

**Keywords**: northern Tibetan plateau, ultraviolet radiation, UV-B

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n