

鼎湖山自然保护区太阳辐射环境 (I)

大气上界太阳辐射*

闫俊华 周国逸**

(中国科学院华南植物研究所 广州 510650)

摘要: 通过对鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射强度和总量的理论计算, 得出该区域大气上界太阳辐射强度的最大值为 $1\,343.2\text{W}/\text{m}^2$, 湿季(4~9月), 大气上界太阳辐射强度较大, 旱季(10月~来年3月)相反; 大气上界太阳辐射年总量为 $12\,197.74\text{MJ}/\text{m}^2$, 年日平均太阳辐射总量为 $33.418\text{MJ}/\text{m}^2$, 夏季, 太阳辐射总量较大, 日平均为 $38.356\text{MJ}/\text{m}^2$, 冬季相反, 日平均为 $28.301\text{MJ}/\text{m}^2$ 。无论是日变化还是月变化, 大气上界的太阳辐射都具有与太阳高度角相似的规律性, 说明大气上界的太阳辐射强度和总量主要受太阳高度角的控制。

关键词: 鼎湖山; 大气上界; 太阳辐射

Solar Radiation Environment in Dinghushan Biosphere Reserve (I): Solar Radiation on Atmospheric Layer

YAN Jun-Hua ZHOU Guo-Yi

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: solar radiation on atmospheric layer in Dinghushan Biosphere Reserve was analyzed in this paper. The results indicated that solar radiation intensity on atmospheric layer was stronger in wet season than in dry season, and the max of it was $1\,343.2\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. The yearly gross solar radiation was $12\,197.74\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, and $33.418\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ for diurnal gross solar radiation on atmospheric layer. There was a significant difference for diurnal gross solar radiation during a year. Diurnal gross solar radiation in summer season was $38.356\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, whereas only $28.301\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ in winter season. Variation of solar radiation on atmospheric layer is closely related to that of solar high angle. Diurnal and monthly changes of solar radiation on atmospheric layer were controlled by solar high angle.

Keyword: Dinghushan; Atmospheric layer; Solar radiation

太阳辐射是大气和地面最主要的能量来源。它决定着高低气压的分布和空气的干湿状况, 进而影响着大气运动和天气变化的全过程^[1]; 太阳辐射是生态系统一切能量过程的原动力, 推动着生态系统物质循环的各个过程; 太阳辐射及其由此形成的辐射环境是地球上生物生存及其活动的基础, 地球上形形色色的生物群体及其所生存的空间都直接或间接

* 本项目是国家基金 39928007 项目和基础研究快速反应项目 (2001CCB00600) 的内容。

** 通讯作者 Author for correspondence E-mail: gyzhou@scib.ac.cn.

地与辐射环境相关^[2]。

大气上界太阳辐射也可认为是无大气存在时地球上的太阳辐射,有时也称为天文辐射,多年的观测表明,其年变化很小,周期性明显。太阳辐射以相对恒定的量到达地球的大气外层空间,在日地平均距离时,地球大气层顶垂直于太阳光线的平面上所接受到的太阳辐射通量密度,称为太阳常数 I_0 ,在近一个世纪里,其值大约变动在 $1\,325.8\sim 1\,395.6\text{ W/m}^2$ 之间,世界气象组织(WMO)测得的值为 $1\,367.7\text{ W/m}^2$ ^[1]。太阳黑子的活动对太阳常数有较大的影响,但总的说来,太阳辐射到达地球大气外层空间的量是相对稳定的。由于观测设备的代价昂贵,目前对于大气上界太阳辐射的研究主要基于理论计算。由于大气上界太阳辐射是辐射环境和能量生态学研究的基础,对于研究区域生态系统功能过程有着重要的意义,因此,理论计算出大气上界太阳辐射的结果并分析其规律性是有必要的。

1 区域自然环境

鼎湖山自然保护区居于北纬 $23^{\circ}10'$,东经 $112^{\circ}34'$,属于副热带高压控制区,由于在季风气候影响下,使该区域摆脱了干旱威胁,形成湿润多雨并有利于植物生长的优越自然条件。本区大面积是丘陵和低山,海拔在 $100\sim 700\text{ m}$ 间,最高峰鸡笼山海拔 $1\,000.3\text{ m}$ 。气候属亚热带季风湿润型气候,冬夏气候交替明显。鼎湖山年太阳辐射约 $4\,665\text{ MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,年平均日照时数为 $1\,433\text{ h}$,年平均温度 21°C ,最热月在7月,最冷月为1月,极端最高温度为 38°C ,极端最低温度 -2°C 。年降雨量为 $1\,900\text{ mm}$,4~9月为主要降雨季节,11~1月为少雨季节,年平均蒸发量为 $1\,115\text{ mm}$,年平均相对湿度为 82% 。灾害性天气是寒潮和台风。本区内地带性土壤为赤红壤,在垂直带上分布着黄壤和山地灌丛草甸土。本区的自然植被有季风常绿阔叶林、针阔混交林、马尾松林、沟谷雨林、河岸林和灌木草丛等类型。

2 研究方法

大气上界的太阳辐射是气候资源的重要内容之一,但迄今为止尚无系统的观测,一般采用间接的方法进行计算。大气上界太阳辐射强度 I 受日地平均距离的影响,围绕着太阳常数大约有 7% 的变化量,其计算式为:

$$I = \frac{a^2}{b^2} I_0$$

式中 I 为某一位置的大气上界太阳辐射强度 (W/m^2), I_0 为太阳常数 (W/m^2), a 为地球公转轨道的平均半径,常令 $a = 1$ 个天文单位, b 为某一位置的日地距离。太阳高度是决定太阳辐射强度的另一个重要因素,在太阳高度角为 h 时,单位面积上任意时刻的太阳辐射强度的计算式为:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{I_0}{b^2} \sin h$$

将上式在一个白昼内积分,可以得到这个白昼内 1 m^2 水平面上的太阳辐射总量。

$$W_t = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{I_0}{b^2} \sin h \right) dt$$

式中的 t_1 、 t_2 分别表示一天内某段时间的起点和终点,如果将 t_1 、 t_2 分别表示日出和日

没，则积分的结果是相应的日辐射总量。本文计算过程中所用的太阳赤纬和日出日落时间是根据鼎湖山所在的纬度，从天文年历中查得。

3 结果与分析

3.1 鼎湖山大气上界的太阳总辐射强度

鼎湖山大气上界年平均太阳辐射强度日变化如图 1。该区域大气上界太阳辐射强度日变化呈抛物线型，随着太阳高度角增大而增大，一天中，日出与日落时太阳高度角小，大气上界太阳辐射强度较小，5 点以前和 19 点以后，大气上界太阳辐射强度均为 $0\text{W}/\text{m}^2$ ，中午 12 时的太阳高度角最大，此时的大气上界太阳辐射强度也最大，为 $1\,206.9\text{W}/\text{m}^2$ 。

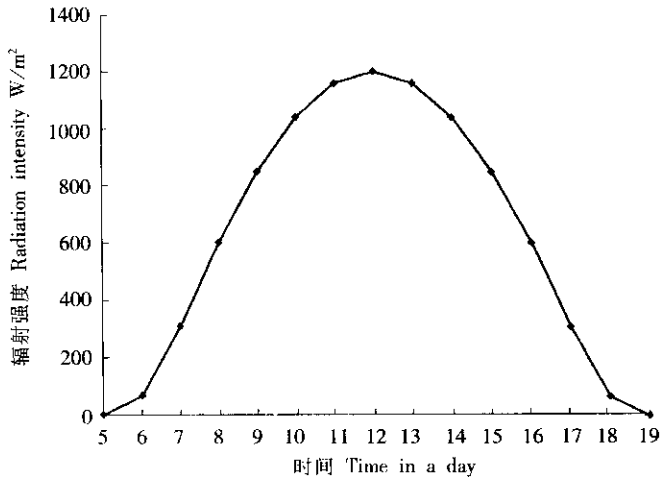


图 1 鼎湖山大气上界年平均太阳辐射强度日变化

Fig. 1 Diurnal change of solar radiation intensities on atmospheric layer of Dinghushan (W/m^2)

鼎湖山大气上界不同月份太阳辐射强度日变化如表 1，可以看出，鼎湖山大气上界太阳辐射强度的范围在 0 到 $1\,343.2\text{W}/\text{m}^2$ 之间，不同的月份，大气上界太阳辐射强度差异较大，主要与日地距离的不同有关，夏季，日地距离较短，大气上界太阳辐射强度较大，冬季相反。湿季的 4~9 月，大气上界太阳辐射的时间较长，而干季的 10 月至翌年 3 月，大气上界的太阳辐射时间较短。湿季充沛的水分，加之较长的大气上界太阳辐射时间，对下垫面植物的生长有利。大气上界的太阳辐射强度与太阳高度角的变化规律直接相关，而不受大气透明度、空气含水量和云量等大气圈因素的影响。因此，无论是日变化还是月变化，大气上界的太阳辐射都具有与太阳高度角相似的规律性。

表 1 鼎湖山大气上界不同月份的太阳辐射强度日变化

Table 1 Diurnal change of solar radiation intensities in different months on atmospheric layer of Dinghushan (W/m^2)

| 时间 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 90.7 | 170.7 | 204.8 | 187.8 | 123.8 | 27.4 | 0 | 0 | 0 |

| 时间 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 7 | 117.5 | 202.8 | 312.9 | 412.2 | 474.2 | 495.9 | 480.6 | 430.2 | 346.9 | 240.1 | 142.2 | 91.8 |
| 8 | 410.7 | 506.7 | 621.5 | 711.7 | 757.0 | 767.1 | 753.4 | 715.6 | 644.6 | 539.0 | 434.7 | 378.8 |
| 9 | 662.5 | 767.6 | 886.4 | 968.9 | 999.8 | 1000.0 | 987.7 | 960.7 | 900.2 | 795.7 | 685.9 | 625.2 |
| 10 | 855.7 | 967.9 | 1089.7 | 1166.3 | 1186.2 | 1178.7 | 1167.5 | 1148.8 | 1096.4 | 992.6 | 878.7 | 814.3 |
| 11 | 977.1 | 1093.8 | 1217.5 | 1290.3 | 1303.3 | 1291.1 | 1280.5 | 1267.0 | 1219.7 | 1116.4 | 999.8 | 933.2 |
| 12 | 1018.6 | 1136.7 | 1261.1 | 1332.6 | 1343.2 | 1329.4 | 1319.0 | 1307.4 | 1261.7 | 1158.7 | 1041.1 | 973.7 |
| 13 | 977.1 | 1093.8 | 1217.5 | 1290.3 | 1303.3 | 1291.1 | 1280.5 | 1267.0 | 1219.7 | 1116.4 | 999.8 | 933.2 |
| 14 | 855.7 | 967.9 | 1089.7 | 1166.2 | 1186.1 | 1178.7 | 1167.5 | 1148.8 | 1096.4 | 992.6 | 878.7 | 814.3 |
| 15 | 662.5 | 767.6 | 886.4 | 968.9 | 999.8 | 1000.0 | 987.7 | 960.7 | 900.2 | 795.7 | 685.9 | 625.2 |
| 16 | 410.7 | 506.7 | 621.4 | 711.7 | 757.0 | 767.1 | 753.4 | 715.6 | 644.6 | 539.0 | 434.7 | 378.8 |
| 17 | 117.5 | 202.8 | 312.9 | 412.1 | 474.2 | 495.9 | 480.6 | 430.1 | 346.9 | 240.1 | 142.2 | 91.8 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 90.7 | 170.7 | 204.8 | 187.8 | 123.8 | 27.4 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

3.2 鼎湖山大气上界的太阳辐射总量

图2反映了鼎湖山自然保护区不同月份大气上界日平均太阳辐射总量,在一年中,鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射总量是为 $12\,197.74\text{MJ}/\text{m}^2$,年日平均太阳辐射总量为 $33.418\text{MJ}/\text{m}^2$ 。夏季鼎湖山自然保护区大气上界的太阳辐射总量较大,冬季时较小。大气上界的太阳辐射总量在每年的6月达到最大,该月日平均辐射总量为 $40.2078\text{MJ}/\text{m}^2$,12月最小,该月日平均辐射总量为 $23.8418\text{MJ}/\text{m}^2$ 。这与太阳高度角最大和最小所出现的月份完全一致,说明大气上界的太阳辐射总量主要受太阳高度角的控制。

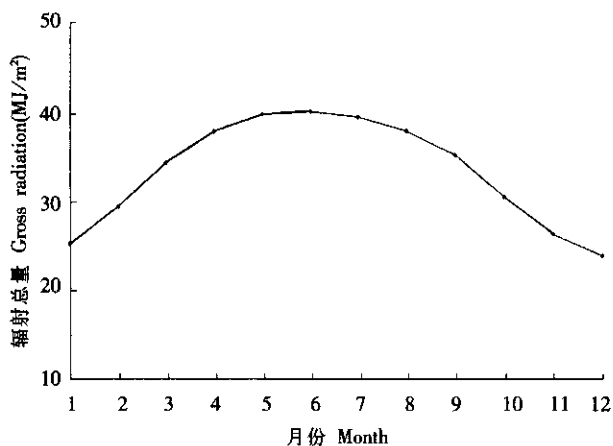


图2 鼎湖山大气上界不同月份的日平均太阳辐射总量的变化

Fig.2 Changes of diurnal gross solar radiation in different months on atmospheric layer of Dinghushan (MJ/m^2)

鼎湖山自然保护区大气上界不同月份太阳辐射总量的日变化同大气上界的太阳辐射强度有着相似的规律性(如表2)。结果显示,鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射总量上半年比下半年的要多,上半年(1~6月)的日平均太阳辐射总量为 $34.565\text{MJ}/\text{m}^2$,下半年(7~12月)的日平均为 $32.272\text{MJ}/\text{m}^2$;干季(10~来年3月)的太阳辐射总量日平均

量为 28.301MJ/m², 湿季 (4~9 月) 的日平均为 38.536MJ/m²。

表 2 鼎湖山大气上界不同月份太阳辐射总量的日变化*

Table 2 Diurnal change of gross solar radiation in different months on atmospheric layer of Dinghushan (MJ/m²)

| 时间 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 6 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.5841 | 0.5505 | 0.5265 | 0.5304 | 0.5566 | 0.5793 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.5540 | 0.5825 | 0.5986 | 1.7272 | 1.6420 | 1.5771 | 1.5857 | 1.6520 | 1.7030 | 0.5762 | 0.5555 | 0.5394 |
| 8 | 1.5921 | 1.6877 | 1.7520 | 2.7749 | 2.6634 | 2.5704 | 2.5790 | 2.6653 | 2.7173 | 1.6760 | 1.6007 | 1.5461 |
| 9 | 2.4733 | 2.6476 | 2.7816 | 3.6558 | 3.5452 | 3.4389 | 3.4427 | 3.5273 | 3.5531 | 2.6419 | 2.4946 | 2.3944 |
| 10 | 3.1375 | 3.3968 | 3.6172 | 4.3097 | 4.2273 | 4.1232 | 4.1178 | 4.1793 | 4.1536 | 3.4079 | 3.1764 | 3.0265 |
| 11 | 3.5396 | 3.8842 | 4.2018 | 4.6923 | 4.6631 | 4.5768 | 4.5583 | 4.5769 | 4.4777 | 3.9219 | 3.5996 | 3.3994 |
| 12 | 3.6521 | 4.0767 | 4.4956 | 4.7773 | 4.8231 | 4.7688 | 4.7343 | 4.6929 | 4.5034 | 4.1488 | 3.7354 | 3.4875 |
| 13 | 3.4673 | 3.9612 | 4.4785 | 4.5590 | 4.6963 | 4.6860 | 4.6338 | 4.5195 | 4.2289 | 4.0733 | 3.5745 | 3.2850 |
| 14 | 2.9978 | 3.5454 | 4.1518 | 4.0523 | 4.2913 | 4.3342 | 4.2635 | 4.0685 | 3.6730 | 3.7003 | 3.1279 | 2.8056 |
| 15 | 2.2757 | 2.8577 | 3.5377 | 3.2917 | 3.6358 | 3.7372 | 3.6488 | 3.3706 | 2.8734 | 3.0554 | 2.4260 | 2.0819 |
| 16 | 1.3501 | 1.9451 | 2.6780 | 2.3290 | 2.7743 | 2.9358 | 2.8315 | 2.4734 | 1.8848 | 2.1824 | 1.5166 | 1.1634 |
| 17 | 0.2841 | 0.8696 | 1.6314 | 1.2299 | 1.7657 | 1.9846 | 1.8673 | 1.4380 | 0.7745 | 1.1410 | 0.4618 | 0.1126 |
| 18 | 0.0000 | 0.0000 | 0.4692 | 0.0692 | 0.6786 | 0.9484 | 0.8219 | 0.3350 | 0.2055 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Σ | 25.3236 | 29.4543 | 34.3934 | 38.0523 | 39.9566 | 40.2078 | 39.6148 | 38.0553 | 35.3275 | 30.5250 | 26.2691 | 23.8418 |

4 结语与讨论

从计算得出鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射的数据来看, 该地区太阳高度角较大, 太阳辐射强度大且总量多, 也就是说该地区的温度较高。由于该地区又位于北回归线附近, 受副热带高压控制, 降雨量较小。如果没有海—气系统之间的相互作用, 这一高温少雨的特征必然导致该地区分布着荒漠或沙漠景观。但鼎湖山所在区域并非如此, 而是分布着森林景观, 这应该归功于海—气系统之间的相互作用。

在海洋与大气之间, 存在着很强的水通量交换, 这是一种重要的海—气系统作用过程^[3,4]。鼎湖山自然保护区位于欧亚大陆的东南缘, 濒临太平洋和印度洋, 海洋上空的潮湿气流易于在本区上空集聚形成浓厚的云层, 阻挡了较强的太阳辐射, 并带来大量的降水, 特别是大气上界太阳辐射强度较大和总量较多的夏秋季节, 这一作用更加明显, 使该地区摆脱了高温少雨的威胁, 形成了森林景观。

鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射强度在 4~9 月较大, 而这一时期的降水占年降水量的 80% 以上^[5], 可见, 正是植物生长季节的 4~9 月, 较高的气温和充沛的雨水资源有利于植物的生长和生物量的积累, 这也是海—气系统之间的相互作用缓解了鼎湖山自然保护区水热矛盾的一面。

参 考 文 献

[1] 周淑贞. 气象学与气候学 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1994

- [2] 周国逸. 生态系统水热原理及其应用. 北京: 气象出版社, 1997
- [3] 周天军, 张学洪, 王绍武. 全球水循环的海洋分量研究. 气象学报, 1999, 57: 264~282
- [4] Schmitt R W The ocean component of the globe water cycle. Reviews of Geophysics, 1995, Supplement (US National Report to International Union of Geodesy and Geophysics 1991~1994): 1395~1409
- [5] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. 生态学报, 2001, 21 (12): 2002~2012