

鼎湖山自然保护区太阳辐射环境 (II)

地面太阳辐射*

闫俊华 周国逸** 孟泽

(中国科学院华南植物研究所 广州 510650)

摘要: 通过分析鼎湖山自然保护区地面太阳辐射强度和总量 4a 的观测资料, 得出该区域地面太阳辐射强度的日变化呈抛物线型, 月变化规律呈双峰曲线, 地表的太阳辐射强度以下半年 (7~12 月) 较大, 上半年 (1~6 月) 较小, 同大气上界太阳辐射相反, 显示了该地区地面太阳辐射较大程度上受近地面天气状况影响。鼎湖山自然保护区地面太阳总辐射量为 4 791.48 MJ/m², 同大气上界的太阳辐射总量相比, 约有 39.3% 到达地表面, 下半年的日平均量为 16.3475 MJ/m², 上半年的为 9.8234 MJ/m², 彼此相差近 1 倍; 湿季 (4~9 月) 比旱季 (10~来年 3 月) 差异也较为明显, 湿季的日平均量为 16.2086 MJ/m², 旱季的日平均量为 9.9623 MJ/m²。鼎湖山自然保护区属于典型的东亚季风气候, 其地面太阳辐射并没有显著的纬度地带性规律, 无论是辐射强度还是辐射总量, 较同纬度地区小得多, 为该地区存在森林植被景观提供了适宜的能量基础。

关键词: 鼎湖山; 地面; 太阳辐射

Solar Radiation Environment in Dinghushan Biosphere Reserve (II): Solar Radiation on the Ground Surface

YAN Jun-Hua ZHOU Guo-Yi MENG Ze

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

Abstract: Base on four years observation data in Dinghushan Biosphere Reserve, solar radiation on the ground surface was analyzed in this paper. The results showed that diurnal change of solar radiation intensity conformed to the curve of parabola and monthly change was fitted to the curve of double peaks. Solar radiation intensity on the surface ground was stronger in the second half year (from July to December) than in the first half year (from January to June), but that on atmospheric layer is on the contrary, which suggested that solar radiation was controlled by weather conditions in the larger scale. The yearly gross solar radiation on the surface ground was 4971.48 MJ/m², which is 39.3% of that on atmospheric layer. Diurnal gross solar radiation in the second half year was 16.3475 MJ/m², only 9.8234 MJ/m² in the first half year. There was a significant difference for diurnal gross solar radiation during a year. Diurnal gross solar radiation in wet season (from April to September) was 16.2086 MJ/m², whereas only 9.9623 MJ/m² in dry season (from October to next year March). Dinghushan Biosphere Reserve belonged to monsoon climate of East Asia. There was not significant latitude effect of solar radiation on the surface ground. Intensity and gross of solar radiation were much less than that in the same latitude region, which contributed to presence vegetative landscape by offering appropriate energy basis.

* 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.

北回归线附近由于受副热带高压控制, 大多高温少雨, 主要分布着热荒漠植被, 而鼎湖山也属于北回归线附近地区, 却生长着地带性森林。根据计算得出鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射的数据可知, 该地区太阳高度角较大, 大气上界太阳辐射强度大、总量多^[1]。可见, 导致该地区生长森林的因素无疑同区域气候条件有关, 而地面太阳辐射又是下垫面获得能量的直接来源^[2], 是决定区域气候特性的基本因素, 它对于自然综合体中的一切过程都有影响^[3]。因此, 该地区的地面太阳辐射历来都受到研究者的关注^[4,5,6]。但以往的研究基于人工观测, 频次少、精度低, 多属资料性报道, 分析较少。鼎湖山森林生态系统定位研究站自 1997 年对该区的辐射环境采用自动观测, 每隔 1 小时记录一次数据, 至今在地面太阳辐射环境方面已有较系统的数据资料。

1 研究地概况

鼎湖山是联合国教科文组织人与生物圈 (MAB) 的世界自然保护区和森林生态系统定位研究站。位于广东省肇庆地区境内, 居于北纬 23°10', 东经 112°34'。本区大面积是丘陵和低山, 海拔在 100~700m 间, 最高峰鸡笼山海拔 1000.3m。气候属亚热带季风湿润型气候, 冬夏气候交替明显。年平均温度 21℃, 最热月在 7 月, 最冷月为 1 月, 极端最高温度为 38℃, 极端最低温度 -02℃。年降雨量为 1900mm, 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 1115mm, 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

用美国产 LI-188B 型 Integration Quantum Radiometer Photometer 及其附件和澳大利亚米特利顿公司的 CM-1 型净辐射表测定地上 1.5m 处的太阳总辐射、反射辐射、净辐射、光合有效辐射和直接辐射, 每隔 1 小时记录一次数据, 其中把反射辐射的测定用移动探头, 其余项目用固定探头。观测时间为 4a (1998—2001)。

本文中的实际日照时间由肇庆市气象局提供, 理论日照时间根据天文年历查出的日出日没时间计算, 两者相比得出日照率。

3 结果与分析

3.1 太阳辐射强度

3.1.1 鼎湖山地面太阳辐射强度的日变化

鼎湖山地面太阳辐射强度的日变化如图 1 所示, 表中的日变化是根据一年内每日相应时间测定结果的平均值。

从图 1 可以看出, 地面太阳辐射强度的日变化同大气上界太阳辐射强度有类似的规律性, 呈抛物线型。但大气上界太阳辐射透过大气层后, 强度大大的减弱了。一日内不同的时间段, 减弱的程度差异较大 (见图 1), 相对而言, 上午减弱的程度较大, 下午减弱的

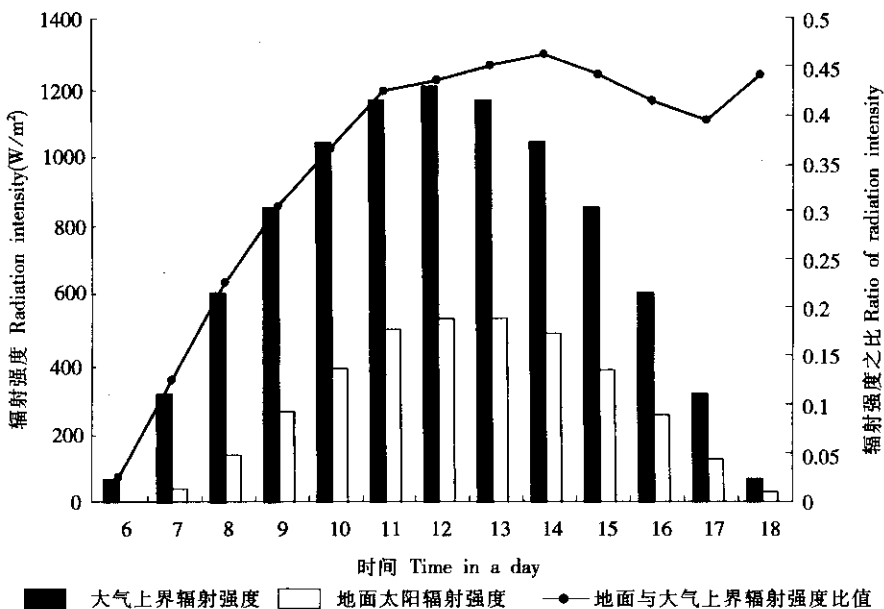


图 1 鼎湖山自然保护区太阳辐射强度的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of solar radiation intensities in Dinghushan Biosphere Reserve

程度较小。凌晨 6 点，地面太阳辐射强度只相当于当时大气上界太阳辐射强度的 3%，这与该地区近地面层有较大的晨雾和晨露有关，随着太阳高度角的增大，晨雾和晨露的消散，到达地面太阳辐射强度的减弱程度相对减小，11 点至 18 点，地面太阳辐射强度均占当时大气上界太阳辐射强度 40% 以上，一日内，温度极大值所在的 14 点，此时到达地面太阳辐射强度减弱的程度最小，占当时大气上界太阳辐射强度的 47%。

根据观测资料可知（见表 1）鼎湖山自然保护区地面太阳辐射强度的极大值出现在 9 月份的 11 点，此时的月平均值为 $831.4\text{W}/\text{m}^2$ ，占当时大气上界太阳辐射强度 $1219.7\text{W}/\text{m}^2$ 的 68.2%，这是本地区在全年内太阳辐射通量密度透过大气的月平均最大值。

表 1 鼎湖山地面实测太阳辐射强度不同月份的日变化

Table 1 Diurnal changes of solar radiation intensities for different months on the surface of Dinghushan region (W/m^2)

时间	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
5	0	0	0.1	0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0
6	0	0	0	0.3	6.5	10.3	3.7	0.3	0.1	0	0	0
7	0.1	0.6	11	46.3	62.6	67.2	92.6	85.8	50	39.8	15.3	0.5
8	20.5	33.7	53.6	146.1	155.3	174.5	222.5	257.5	194.7	183.4	124.7	74.8
9	74.9	62.7	112.7	251.8	255.5	303.6	432.9	420.5	378.6	359.3	270.2	214.3
10	120.3	139.9	176.1	364.1	382.2	423.2	550	621.5	581.5	527.3	395.9	323.3
11	201.2	234.8	245.8	470.2	471	513.3	664.7	735.3	831.4	637.6	512.1	445.8
12	248.1	276.7	289.1	550.3	568.7	498.4	700.1	796	724.4	641.1	539	507.2
13	309.9	295.5	330.1	503.1	579.6	426.2	601.1	761.4	749.3	707.5	572.4	497
14	249.7	269.7	316.3	533.8	494.5	431.7	552	723.5	687.8	588.4	495.3	474.3

时间	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
15	215.4	202.4	251.1	380.7	369.3	347.4	483.3	623.7	515.5	452.7	355.4	341.1
16	120.3	125.2	181.7	259.7	269.2	212.6	377.5	439.2	330.4	290.1	205.7	197.5
17	47.8	54.3	82.7	135.6	154.6	123	241.2	243.9	177.2	104.6	57.8	59.5
18	1.3	8.7	18	36.2	48.8	48	100.4	88.3	33.6	3.1	0	0
19	0	0	0.1	0	1	4.9	14.6	3.2	0.1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.1.2 鼎湖山地面太阳辐射强度的月变化

将表1中7点到18点时段的地面太阳辐射强度取平均值,并与同一时段大气上界的太阳辐射强度进行比较,得到地面太阳辐射强度的月份变化(见图2)。由于受到天气状况的影响,鼎湖山自然保护区地面太阳辐射强度的月变化规律呈双峰曲线,峰值分别出现在4月和8月,4月份的峰值不明显,8月份的峰值是全年的太阳辐射强度日平均最大值所在的月份,这一最大值并没有出现在太阳高度角及大气上界太阳辐射强度较大的5~7月之间。可以看出,由于近地面天气条件的影响,增加了地面太阳辐射强度月变化规律的复杂性,不仅没有出现明显的月变化规律,而且显示了没有受到太阳高度角的显著影响,这就说明,该地区地面太阳辐射强度受近地面天气状况影响的程度较大。

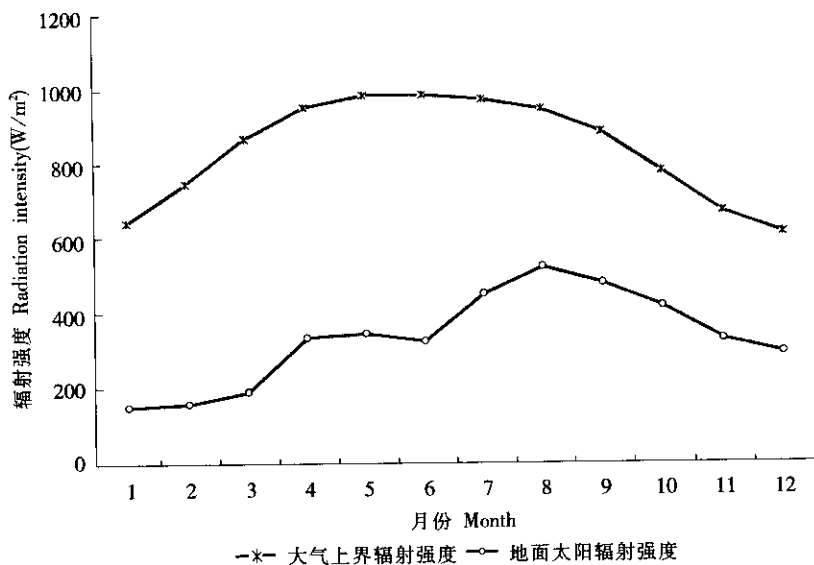


图2 鼎湖山自然保护区太阳辐射强度的月变化

Fig.2 Monthly changes of solar radiation intensities in Dinghusan Biosphere Reserve

鼎湖山自然保护区位于北半球,从表2把上半年(1~6月份)太阳平均赤纬相加得正值,为0.27916弧度,说明上半年太阳平均赤纬主要在北半球*;而下半年(7~12月份)相反,太阳平均赤纬相加得负值,为-0.20999弧度,说明太阳平均赤纬主要在南半

* 太阳赤纬在北半球正,在南半球为负。

球，也就是说上半年的太阳高度角大于下半年，因此，鼎湖山自然保护区大气上界太阳辐射强度上半年强于下半年，上下半年日平均分别为 $860.7\text{W}/\text{m}^2$ 和 $806.0288\text{W}/\text{m}^2$ ，而到达地表的太阳辐射强度以下半年较大，上下半年日平均分别为 $246.6545\text{W}/\text{m}^2$ 和 $409.9682\text{W}/\text{m}^2$ 。这也是显示了该地区地面太阳辐射强度受近地面天气状况影响的程度较大的有力证据，由于受到上半年梅雨天气的影响，近地面层云量较多，空气湿度较大，透过大气层时，太阳辐射强度减弱程度较大。

表 2 鼎湖山自然保护区太阳赤纬 (弧度)

Table 2 Solar latitude in Dinghushan Biosphere Reserve (radian)

上半年	1	2	3	4	5	6	相加
太阳赤纬	-0.36216	-0.22475	-0.03317	0.16904	0.32787	0.40233	0.27916
下半年	7	8	9	10	11	12	相加
太阳赤纬	0.3700	0.23973	0.05184	-0.15085	-0.31943	-0.40128	-0.20999

3.2 太阳辐射总量

3.2.1 鼎湖山地面太阳辐射总量日变化

将同月份每天之中连续观测到的太阳辐射总量按相同时间取全月平均值，得到鼎湖山地面太阳辐射总量日变化如表 3 所示的结果。各月的地面太阳辐射日变化都呈现抛物线型，集中在 10 点到 17 点之间，除 1 月、2 月、3 月峰值出现在 13~14 点这一时段外，其余各月都出现在 12~13 点这一时段。日总量仍以 8 月份为最高，这一结果与辐射强度是一致的。时段总量也以 8 月份的 12~13 点的平均值最高，而有别于辐射强度最大值所在的 9 月份 11 时。

表 3 鼎湖山地区地表实测太阳辐射总量的日变化

Table 3 Diurnal changes of solar radiation for different months on the surface of Dinghushan region (MJ/m^2)

时间	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0	0.0003	0.0001	0.0002	0.0003	0.0007	0.0015	0.0004	0.0003	0.0007	0.0000	0.0003	0.0000
1	0.0002	0.0004	0.0003	0.0003	0.0007	0.0015	0.0004	0.0002	0.0006	0.0000	0.0004	0.0000
2	0.0000	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0017	0.0004	0.0002	0.0006	0.0001	0.0004	0.0000
3	0.0001	0.0007	0.0005	0.0008	0.0005	0.0019	0.0005	0.0002	0.0007	0.0001	0.0004	0.0000
4	0.0001	0.0007	0.0005	0.0003	0.0008	0.0017	0.0005	0.0004	0.0007	0.0001	0.0003	0.0000
5	0.0001	0.0005	0.0004	0.0003	0.0010	0.0016	0.0007	0.0005	0.0007	0.0000	0.0002	0.0000
6	0.0000	0.0004	0.0004	0.0006	0.0066	0.0112	0.0038	0.0006	0.0008	0.0000	0.0001	0.0000
7	0.0002	0.0007	0.0141	0.0766	0.1244	0.1477	0.1662	0.1388	0.0678	0.0465	0.0139	0.0004
8	0.0358	0.0585	0.1195	0.3656	0.4518	0.4635	0.6005	0.6600	0.4652	0.4323	0.2652	0.1198
9	0.1664	0.1780	0.3063	0.7563	0.7212	0.8889	1.2261	1.2539	1.0863	1.0329	0.7453	0.5321
10	0.3843	0.3845	0.5495	1.1216	1.1907	1.3229	1.8435	1.9832	1.7998	1.6598	1.2467	1.0038
11	0.5744	0.6941	0.7961	1.5211	1.5974	1.7281	2.1737	2.5566	2.7000	2.1275	1.6522	1.4347
12	0.8122	0.9506	0.9551	1.8402	1.9145	1.8109	2.3000	2.7779	3.0000	2.2732	1.9454	1.7331
13	0.9777	1.0161	1.1823	1.8743	1.9751	1.6503	2.1789	2.7979	2.6743	2.4766	2.0454	1.8279
14	1.0144	1.0448	1.2248	1.8688	1.8129	1.5746	2.0900	2.7002	2.4526	2.3258	1.9263	1.7971
15	0.8097	0.8265	1.0021	1.5730	1.4686	1.3854	1.8513	2.4389	2.1021	1.8560	1.4874	1.4256
16	0.5690	0.6154	0.7668	1.0909	1.1539	0.9659	1.5393	1.8204	1.4616	1.3227	0.9678	0.9353
17	0.2866	0.3145	0.4186	0.7093	0.7758	0.5339	1.0745	1.1316	0.8327	0.6516	0.4188	0.4045

时间	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
18	0.0614	0.0954	0.1549	0.2609	0.3342	0.2629	0.5297	0.5624	0.3457	0.1303	0.0583	0.0556
19	0.0002	0.0041	0.0142	0.0414	0.0690	0.0777	0.1644	0.0937	0.0276	0.0022	0.0002	0.0001
20	0.0000	0.0004	0.0009	0.0007	0.0016	0.0034	0.0086	0.0037	0.0012	0.0002	0.0010	0.0000
21	0.0000	0.0004	0.0004	0.0001	0.0009	0.0018	0.0010	0.0010	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.0001	0.0004	0.0004	0.0002	0.0008	0.0014	0.0005	0.0004	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
23	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0.0007	0.0014	0.0002	0.0002	0.0004	0.0000	0.0002	0.0000
Σ	5.6935	6.1878	7.5088	13.1043	13.6042	12.8419	17.7551	20.9232	19.0231	16.3380	12.7753	11.2701

3.2.2 鼎湖山地面太阳辐射总量月变化

鼎湖山自然保护区地面太阳总辐射量为 $4791.48\text{MJ}/\text{m}^2$ ，同大气上界的太阳辐射总量相比，约有39.3%到达地表面，与同纬度非季风地区（如非洲大陆同纬度地区）相比则要小得多，据报道，非洲大陆同纬度地区地表太阳总辐射量在 $7000\sim 8000\text{MJ}/\text{m}^2$ 相当当地大气上界太阳辐射的58%~65%^[7]。显然，这与鼎湖山自然保护区位处典型的东亚季风区、年中云雨量较多有关。鼎湖山自然保护区地面太阳辐射月变化如图3所示，也呈现双峰型，类似于地面辐射强度，极大值、极小值分别出现在8月和2月，其值分别为 $648.6192\text{MJ}/\text{m}^2$ 和 $173.2548\text{MJ}/\text{m}^2$ 。下半年（7~12月）比上半年（1~6月）的要多，下半年的日平均量为 $16.3475\text{MJ}/\text{m}^2$ ，上半年的为 $9.8234\text{MJ}/\text{m}^2$ ，彼此相差近1倍；湿季（4~9月）比旱季（10月~来年3月）差异也较为明显，旱季的日平均量为 $9.9623\text{MJ}/\text{m}^2$ ，湿季的日平均量为 $16.2086\text{MJ}/\text{m}^2$ 。

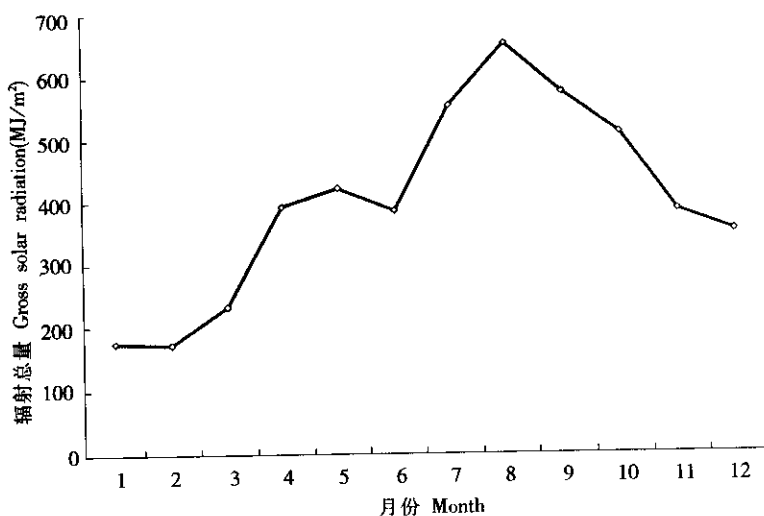


图3 鼎湖山自然保护区地面太阳辐射总量的月变化

Figure 3 Monthly changes of gross solar radiation on the surface in Dinghushan Biosphere Reserve (MJ/m^2)

这些结果都是受近地面层气象条件所致，如能够大致反映云量多寡的日照率（见表4），鼎湖山自然保护区日照率年平均值为37%，同大气上界约有39.3%的太阳辐射总量

到达地表面较为吻合，下半年的日照率也接近为上半年的 2 倍，而下半年的太阳辐射日平均量也接近为上半年的 2 倍。可见，同太阳高度角相比，鼎湖山自然保护区地面太阳辐射主要决定于近地面层的天气状况。

表 4 鼎湖山自然保护区日照率

Table 4 The reflection rate in Dinghushan Biosphere Reserve

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
日照率	0.31	0.32	0.19	0.17	0.35	0.40	0.45	0.41	0.46	0.52	0.52	0.43	0.37

4 结语与讨论

地面太阳辐射是各种自然地理过程的主要能源和动力基础，它对于下垫面生态系统格局和过程的重要特征具有决定性意义。鼎湖山自然保护区属于典型的东亚季风气候，其地面太阳辐射并没有显示出显著的纬度地带性规律，有别于同纬度的其它地区，无论是辐射强度还是辐射总量，较同纬度地区小得多，为该地区存在森林植被景观提供了适宜的能量基础。由于地面太阳辐射明显受到近地面天气条件的影响，使其变化规律并没有受太阳高度角的严格控制，因此，一些经验公式和太阳辐射分布的回归模式并不适用于该地区地面太阳辐射的计算。

据研究报道，我国地面太阳总辐射和总云量、日照率都有较好的相关性^[8]。由于没有总云量的观测资料，本文没有系统的探讨。但该地区地面的太阳总辐射确实同日照率有关，日照率能反映影响地面太阳总辐射的各种综合天气现象，如云量与云形、雾与浮尘等，因此，鼎湖山自然保护区日照率年平均值，同地面太阳辐射总量占大气上界的百分比较为吻合。另外，大气相对湿度也是影响地面太阳辐射的重要因素，由于梅雨天气的影响，上半年空气中较多的水汽含量也是导致地面太阳辐射强度和总量偏小的原因。

参 考 文 献

- [1] 闫俊华, 周国逸. 鼎湖山自然保护区太阳辐射环境 I. 大气上界太阳辐射. 2002
- [2] 朱志辉, 张福春. 我国陆地生态系统的植物太阳能利用率. 生态学报, 1985, 5 (4): 343~355
- [3] 黄润本. 广东地面的热量平衡. 地理学报, 1960, 26 (3): 181~190
- [4] 张祝平, 丁明懋. 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的生物量和光能利用效率. 生态学报, 1996, 16 (5): 525~534
- [5] 任海, 彭少麟, 张祝平等. 鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构与冠层辐射研究. 生态学报, 1996, 16 (2): 174~179
- [6] 吴厚水, 刘慧屏, 黄大基等. 鼎湖山自然保护区三种群落的能量流和能量利用效率. 生态学报, 1998, 18 (1): 82~89
- [7] 布德科 (李怀瑾等译). 地表面热量平衡. 北京: 科学出版社, 1960
- [8] 左大康, 弓冉. 中国太阳直接辐射、散射辐射和太阳总辐射间的关系. 地理学报, 1962, 28 (3): 175~185