

鹤山南亚热带草坡生态系统的太阳辐射能环境

蔡锡安 彭少麟 任海 余作岳

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 本文以鹤山丘陵综合试验站草坡为研究对象, 分析了鹤山南亚热带草坡多年的辐射能环境。揭示了辐射与环境的关系, 主要结果如下: 1. 全年抵达草坡的太阳总辐射约 $4775.2 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, 其中直接辐射为 $3134.1 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, 散射辐射为 $1441.1 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。它们受太阳高度角、云量、大气透明系数和大气光学特性的影响较大。2. 太阳总辐射、直射的月变化呈双峰曲线, 5月和8月为峰值, 2月和6月为谷值。3. 全年草坡的反射辐射量为 $822.5 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。群落的年均反射率为 17.2%, 其月变化因入射光特性和群落的发育状况的不同而变化。4. 草坡的净辐射为 $2915.6 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, 占总辐射的 61.1%。其最大值出现在5月, 为 $380.2 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, 最低值出现在2月, 为 $129.3 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, 7-9月比较稳定且值相对较高。5. 群落发育成熟后, 其对太阳辐射的截获能力很强。其透射率仅 17.2%, 其冠层截获率为 65.4%。

关键词 太阳辐射能; 草坡; 植物群落; 鹤山

THE ENVIRONMENT OF SOLAR RADIATION ENERGY OF THE SOUTH-SUBTROPICAL HILLSLOPE ECOSYSTEM IN HESHAN, GUANGDONG PROVINCE

Cai Xi'an Peng Shaolin Ren Hai Yu Zuoyue

(South China Institute of Botany, Academic Sinica, Guangzhou 510650)

Abstract Measurements of environment of solar radiation energy components were made on Heshan (Guangdong Province) hillslope ecosystem in lower-subtropics. The major results are as follows: 1. The amount of gross solar radiation reaching the canopy layer was $4775.2 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, in which the diffuse radiation was $1441.1 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, and the direct radiation was $3134.1 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$. 2. The seasonal changes of solar radiation and the direct radiation were double-peak curve. The monthly maximum value appeared in May and August, and the monthly minimum value in February and June. 3. The amount of reflected radiation was $822.5 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$ and the average of albedo was 17.2%. 4. The net radiation was $2915.6 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$, which was 61.1% of total gross radiation. 5. When the community was mature, it could intercept 65.4% of total gross radiation.

本项工作得到中国科学院重中之重 06 项目和国家自然科学基金以及华南生物中心的资助。

张祝平、黄录基、曾小平、林永标和吕冬梅等同志曾提供帮助, 特此致谢!

1995-08-29 收稿; 1995-10-30 修回

Key words Solar radiation energy; Hillslope; Plant community; Heshan

在植物生态学研究, 能量因子的研究一直是非常重要的部分。环境系统的太阳辐射通过生命系统植物的生理生化过程的直接或间接作用, 进而影响植物的生产力。因此, 测定自然条件下的太阳辐射能特征, 分析植物冠层对辐射的吸收是生态系统研究的主要内容之一, 这些研究对深刻认识能量因子在森林生态系统结构和功能中的作用和生产实际也具有重要意义^[1-4]。

中国科学院鹤山丘陵综合试验站建于1984年, 该站在探索热带亚热带丘陵荒坡植被恢复和生态农业优化模式过程中, 根据实际工作的需要, 于1986年就开展了草坡的能量生态学研究^[5]。本文主要报道草坡的太阳总辐射、直射、散射等的动态特征, 并分析草坡植物群落冠层对太阳辐射的反射、透射及吸收动态。

1 自然概况

中国科学院鹤山丘陵综合试验站位于广东中部, 东经112°53', 北纬22°40'。试验区为低山地势, 坡面平缓。试验区的气候温暖、多雨, 年平均气温21.7℃, 年平均太阳辐射量为4354.7 MJ m⁻²a⁻¹。年平均降雨量为1801.1mm, 但分布不均, 有明显的干湿季。该区年蒸发量为1638.8mm。地带性土壤为砂页岩发育的赤红壤, 其酸性较强, 质地较粘, 有机质含量为0.56-1.64%。地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林。但因人为活动的影响, 现状植被除部分为马尾松残林外, 较大面积亚热带草坡^[5]。

通过样地调查可知, 该草坡以桃金娘、岗松和芒萁为优势种。目前有灌木15种, 它们是桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、岗松 (*Baekkea frutescens*) (这两个种的重要值分别为147.04和45.79)、梅叶冬青、米碎花、鬼灯笼、春花、算盘子、山菅兰、酸藤子、水杨梅、山芝麻、黄栀子、黑面神、马尾松、野牡丹等(后13个种的重要值均较小)。此外, 还有芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) (重要值为168.61)、圆叶双唇蕨、玉叶金花、弓果黍、纤毛鸭嘴草、地稔、凤尾蕨和铺地蜈蚣等草本植物8种。

2 研究方法

2.1 计算公式

植物群落中的辐射输送, 是当今地球物理学中的复杂问题, 如植物群丛和各个植株结构的变异性和非均匀性比较大; 入射的太阳辐射方向和强度的变化; 以及各种外界因素的影响(风速、大气成分等)。虽然对这些变化的专门研究需要采用统计处理, 但目前已就所有这些情况提出了植物群丛中辐射输送的几种理论来解释^[1,6-8]。本研究将灌草层看作一个整体来研究。

本文用以计算净辐射的公式为^[2,8,9]:

$$R_n = R_s - R_e - R_f$$

式中: R_s 为坡地接受的太阳总辐射; R_f 为反射辐射; R_e 系草坡的有效辐射(热辐射); R_n 为净辐射。

草坡的反射辐射能力通常用反射率(a)表示, 公式为:

$$a = \frac{R_f}{R_s} \times 100\%$$

太阳辐射透过灌草层的能力通常用透射率 p 表示, 公式为:

$$p = \frac{Rs'}{Rs} \times 100\%$$

式中, Rs' —地面接收的太阳总辐射量。

2.2 辐射梯度的观测

辐射梯度的观测点选在永久样地附近, 坡向东南, 坡度 28° 。观测项目包括地上 1.5m 处的太阳总辐射、散射辐射、反射辐射和直接辐射。测定仪器为美国产 LI-188B 积分量子辐射仪 (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。

由于辐射仪器具有累积平均的功能, 为了消除林下光斑及阴影的不均带来的影响, 我们采用了移动探头的方式测定反射辐射, 其余项目则固定探头。

2.3 小气候梯度的观测

对照点选在气象观测场。其位置选择、施工、仪器布置及观测严格按国家标准实施。观测项目有天气现象、云、风向、风速、地温、气温、湿度、降水、蒸发、气压和辐射, 所用仪器全部为国产常规气象仪器 (辐射仪器除外), 部分项目同时进行人工观测和自记记录。

草坡的小气候梯度的观测仪器全为国产常规气象仪器, 观测项目为: 草地上方 2.0m、0.5m 处的温度、湿度, 冠表温度, 地面上方 2.0、1.0 和 0.5m 处的风速, 土壤 0、5、10、15、20cm 深处的温度。此外还测定了 0-40cm 内的土壤含水量及植物含水量 (烘干法), 土壤容重 (环刀法)。用美国索恩韦特公司产 610 型土壤热流板四块埋于土中 0.05m 处测土壤贮热量 (以此与计算值对照)。

2.4 研究时间

辐射能环境的研究开始于 1993 年。辐射梯度、小气候梯度记录时间为每天 6:00、8:00、10:00、12:00、14:00、16:00 和 18:00 时, 其测定数据由记录器完成; 土壤水分、土壤容重每月取样测定 1 次。

3 结果与分析

3.1 辐射分析

近地面的辐射是生物圈内可利用的所有能量中最主要能源, 它是影响植物的生长发育、产量和质量的主要因子^[7]。

图 1 是应用鹤山市气象局提供的资料 (1980-1990 年), 采用 Kormond (1976)^[8] 的太阳辐射能到达地表面的分配比例而得到的结果。虽然这些数据与我们 1993 年 12 月-1994 年 11 月单一年份所测的数据 ($4775.2 \text{ MJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$) 存在差异, 但可看出较长期 (10 年) 的太阳辐射能到达鹤山站地表时消减状况。

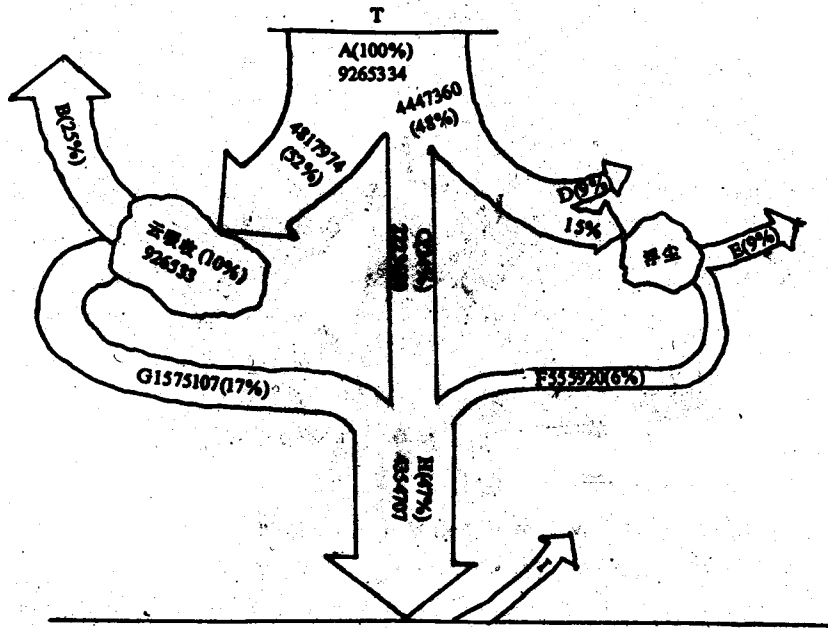


图 1 太阳辐射能到达鹤山地表时消减状况图 ($\text{kJ m}^{-2}\text{a}^{-1}$)

Fig. 1 The distribution of solar radiation above Heshan station

T 为宇宙空间的太阳辐射； A 为大气上界太阳辐射； B 为反射辐射； C 为直接辐射； D 为被 O_3 、 H_2O 和 CO_2 吸收； E 为散射辐射； F 为来自天空的散射辐射； G 为云层散射辐射； H 为到达地表总辐射； I 为地面(植被)反射。

3.1.1 太阳辐射能的月进程

1993 年 12 月至 1994 年 11 月草坡太阳辐射各分量测定结果如表 1。

表 1 草坡太阳辐射的各分量 (MJ m^{-2})

Table 1 The monthly changes of solar radiation components of Heshan hillslope measured from Dec. 1993 to Nov. 1994

月份 Month	1 Jan	2 Feb	3 Mar	4 Apr	5 May	6 Jun	7 Jul	8 Aug	9 Sep	10 Oct	11 Nov	12 Dec	总计 Total
总辐射量 Gross radiation	327.2	170.3	291.8	362.6	571.5	325.6	509.1	521.1	510.0	489.0	380.1	316.9	4775.2
反射辐射 Reflected radiation	58.9	36.1	57.5	59.5	90.3	68.4	89.1	90.7	86.7	73.4	61.2	50.7	822.5
反射率 (%) Albedo	18.0	21.2	19.7	16.4	15.8	21.2	17.5	17.4	17.0	15.0	16.1	16.0	17.2
散射辐射 Diffuse radiation	122.4	87.5	133.6	109.9	157.2	181.7	179.7	183.9	168.8	115.0	110.2	91.3	1618.8
散射率 (%) Diffuse radiation ratio	37.4	51.4	45.8	30.3	27.5	55.8	35.3	35.3	33.1	23.5	29.0	28.8	34.4
直射辐射 Direct radiation	204.8	82.8	158.2	252.7	414.3	143.9	329.4	337.2	341.2	374.1	269.9	225.6	3134.1
直射率 (%) Direct radiation ratio	62.6	48.6	54.2	69.7	72.5	44.2	64.7	64.7	66.9	76.5	71.0	71.2	65.6
净辐射 Net radiation	180.2	129.3	200.0	267.0	380.2	231.8	310.8	321.2	345.3	260.6	151.2	138.0	2915.6

3.1.1.1 总辐射的月进程

在北半球,随太阳高度角的增大和日照时间的变长,辐射总量增大,直至夏至达到最大值,然后,太阳高度角逐渐减小,日照时间也变短,辐射总量减少^[10]。

从图2可见,全年抵达草坡的总辐射月变化呈双峰曲线,5月和8月为峰值,2月和6月为谷值。1994年2月的28d中,阴雨天占了75%,而6月的30d中阴雨天竟多达25d,其余各月的少云晴天较多,因而2月和6月的总辐射值较低。5月份出现峰值的原因是天晴而少云,太阳高度角又大,而7、8月虽太阳高度角也较大,但因阴雨天多于5月而未出现峰值,9月以后太阳高度角又减小,虽天气较好,总辐射却越来越小。可见,太阳高度角和云量对太阳辐射的月进程影响较大。

3.1.1.2 直接辐射和散射辐射的月进程

对于平坦地面来说,在碧空情况下可能接受的直射光量主要受天文和地理因子的影响,直射光到达地面的量月进程呈正态分布规律,冬至→春分→夏至可能直射光通量随时间而逐渐增加,夏至前后达到最大值。夏至→秋分→冬至随时间递减,冬至前后出现最小值^[2,9]。结果如表1,这一年草坡直射光年总量为 $3134.1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,占全年总辐射的65.6%。由表1作图3可见,其变化呈双峰曲线,基本与总辐射曲线一致,其中2月和6月是谷值,显然这除了与天文、地理因素有关外,多阴雨的2月和6月,云量和大气中水汽含量很大程度上与这种变化相关。

草坡散射光全年总量为 $1618.8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,占全年辐射总量的34.4%,从图3可看出,散射辐射的月变化呈锯齿状曲线,其谷值在2月、4月和7月,尤以2月为低,最高值出现在8月和6月,出现这种格局的原因与直射的基本一样。

3.1.1.3 反射辐射的月进程

从表1可见,全年草坡的反射辐射为 $822.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,占总入射辐射的17.2%,这其中又以8月和5月为最高,以2月为最低。

从图2的反射率月进程图可见,该群落的反射率规律不明显,其中以2、6月的反射率为最大。考虑到这两个月的阴雨天偏多,因此可以认为这主要是由入射光的光谱特性所致。

从全年看,1-3月反射率普遍偏高,4-6月波动大,7-9月值较稳定,但小于1-3月的值,10-12月值也相对较稳定且偏小。出现这种情况一方面与入射光有关,另一方面也与群落的发育状况有关,比如1-3月大多数草本植物枯黄,植物反射增大,4-6月植物正在发育,再加上天气变化多端,且不稳定,7-9月植物发育好且天气较稳定,因而反射率变化不大,至于10-12月为何反射率小还有待研究。

3.1.1.4 净辐射的月进程

净辐射是指辐射的收支差额,它是作用层各种热量、动量和水分交换过程的主要能源^[2,4]。

全年草坡的净辐射为 $2915.6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,占总辐射的61.1%,其各月的值如表1所示。其最大值出现在5月,为 $380.2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,最低值出现在2月,为 $129.3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$,7-9月比较稳定且值相对较高,这种变化与总辐射的基本一致。

3.1.2 太阳辐射的日进程

总辐射日变化 晴朗少云的天气中,总辐射的日变化是一单峰曲线(如图4),其峰值在中午12:00-13:00间,日出日落为最小,总辐射近0。这与太阳高度的日变化节拍相吻合。在同一

季度内，阴雨天的辐射量明显低于晴天，虽然阴天日变化曲线很不规则，但其日出前后值仍是最低的，这可能主要与云量、云层厚度影响有关。

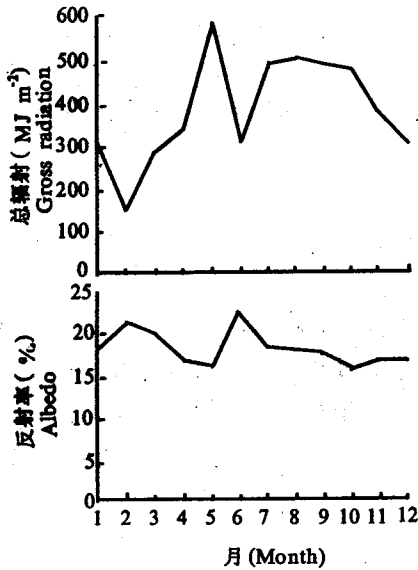


图2 草坡总辐射和反射率的季节变化图

Fig. 2 The seasonal changes of solar gross radiation and albedo

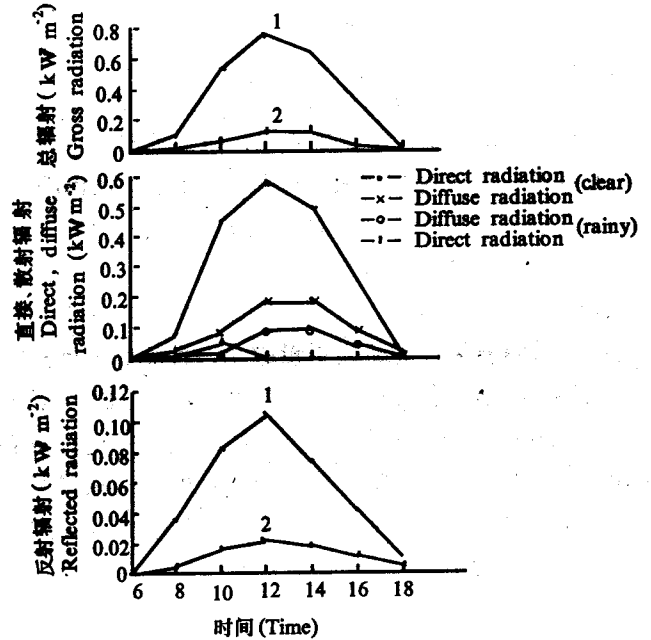


图4 草坡太阳总辐射、直接辐射、散射、反射的日变化图

Fig. 4 Daily changes of the gross, direct, diffuse and reflected radiation

1-晴天Clear (Feb. 21); 2-阴天Rainy (Jan. 11)

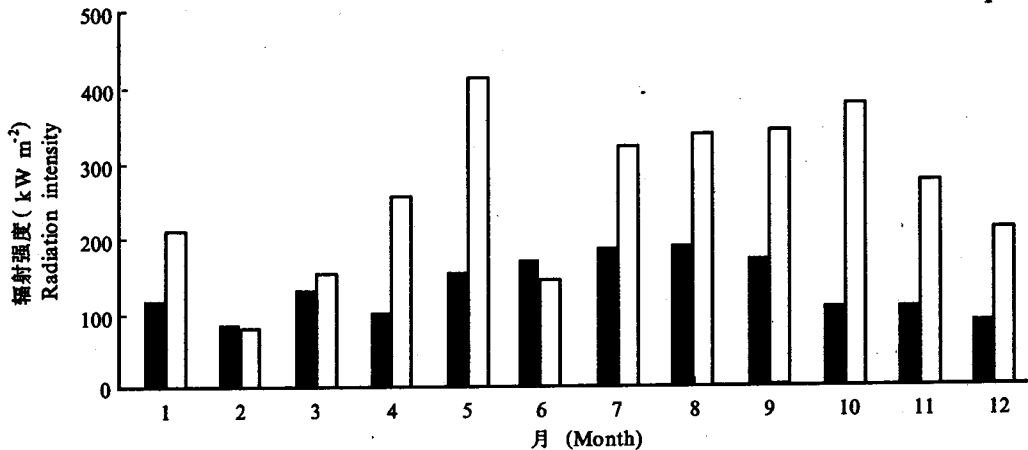


图3 草坡直接辐射和散射辐射的季节变化图

Fig. 3 The seasonal changes of diffuse and direct radiation

■ 散射辐射 Diffuse radiation □ 直接辐射 Direct radiation

直射和散射 如图4,在晴天,其日变化呈非对称抛物线形,且峰值出现在中午12时左右,此时正是太阳高度角最大、太阳辐射穿过大气层厚度最小的时候。在阴雨天,由于云对直射的影响大,且云量的变化又无规律,因而其日进程极不规则又如图所示,1月11日仅上午10:00左右才有一点直射,其余时间竟为0。

到达草坡的散射辐射能的分布也有明显的时间动态,晴天其日变化呈单峰曲线,阴雨天变化不规则。总的说来,直射的日进程变幅大于散射的,且出现峰值的时间可能不同。

反射的日变化 如图4示,晴天反射辐射日变化呈单峰曲线,中午12:00时左右最大,阴雨天虽也以这一时刻较大,但其波动幅度不如晴天,且不规则。而反射率在晴天早晚时刻较大,中午较小,呈凹型线;阴雨天也基本呈这一波动格局,只不过晴天的谷值更低一些。

出现这些格局的原因是:当早晚太阳高度角小时,太阳光线很少透射到冠层内部,绝大部分光线被冠层反射掉。此外,太阳高度角小时,太阳辐射中的红外辐射增加,其辐射较易被冠层反射,而阴雨天可能是入射量较小,且反射占比例大,而引起的反射率偏大。

植被的透射及截获能力 在7月时,群落发育成熟,植被盖度达90%以上,对太阳辐射的截获能力很强。据7月18日上午10:00-11:00测定冠层上部和地面的辐射可知,其透射率仅17.2%,去除17.4%的反射率,可知其冠层截获为65.4%。至于光能在冠层中的分布,一般认为其递减规律符合 Lambert-Beer 定律^[1],该定律描述了在植物冠层中间,光强的衰减近于指数函数。

参考文献

- 1 蒙特恩 J L 主编. 卢其光译. 植被与大气—原理. 农业出版社, 1985
- 2 祖元刚. 能量生态学引论. 吉林科学技术出版社, 1990
- 3 Ashton P S et al. Light intensity measurements in rain forest near Santarem, Brazil. *J Ecol*, 1957, 45: 65-70
- 4 Burns G P. Measurement of solar radiation energy in plant habitats. *Ecology*, 1923, 4(2):189-195
- 5 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站编. 热带亚热带森林生态系统研究, 第七集, 北京:科学出版社, 1990
- 6 高素华等. 海南岛橡胶林辐射特征的初步探讨. *热带作物科技*, 1985b, (3):49-56
- 7 贺庆棠主编. 气象学. 中国林业出版社, 1986
- 8 Gay L W et al. Solar variability on the floor of a pine plantation. *Agric Meteorol*, 1993, 8:39-50
- 9 McCaughey J H. Radiation and energy balance study of mature forest and clearcut sites. *Boundary-Layer Met*, 1985a, 32:1-24
- 10 广东省科学院丘陵区山区综合科学考察队. 广东山区气候. 广东科技出版社, 1991
- 11 Federer C A. Spatial variation of net radiation, albedo and surface temperature of forest. *J Appl Meteorol*, 1968, 7:789-795