

鼎湖山生物圈保护区的光合有效辐射^①

吴厚水 何正翀 黄大基 方 华

(广州地理研究所, 广州, 510070)

摘 要 鼎湖山自然保护区保存着比较完整的季风常绿阔叶林, 区内地形起伏大, 森林群落层次丰富。本文通过定位观测, 比较系统地计算出区内不同地形部位的光合有效辐射(PAR)的月值和年值, 并就两种植物群落对光合有效辐射的响应进行分析。研究结果对进一步研究森林生态群落的结构与功能有重要意义。

关键词 鼎湖山自然保护区, 光合有效辐射。

1 概述

太阳辐射的波长范围从 200nm 到 4000nm, 小于 400nm 为紫外辐射, 大于 700nm 为红外辐射, 二者之间为可见光。其中只有可见光部分能被绿色植物用来进行光合作用。因此, 400nm 到 700nm 范围内的光谱能量称为光合有效辐射, 简称 PAR。它是形成生物量的基本能源, 直接影响着植物的生长、发育、产量和质量。PAR 是植物生长的基本要素, 是植物生长、模拟生产力研究中必不可少的基础数据。

鼎湖山自然保护区位于广东省中部, 地处南亚热带。保护区内保存着比较完整的亚热带季风常绿阔叶林, 是我国季风亚热带典型的地带性植被类型。区内地形起伏多变, 山体较密集, 相对高度大(100~900m), 区内分布着多种植被类型。本文主要研究其中两种植被群落的 PAR: 季风常绿阔叶林黄果厚壳桂+锥树+厚壳桂+荷木群落 (*Cryptocarya concinna*+*Castanopsis chinensis*+*Cryptocarya chinensis*+*Schima superba* Association); 针阔混交林为马尾松+荷木+锥栗+红皮紫陵群落 (*Pinus massoniana*+*Schima superba*+*Castanopsis chinensis*+*Craibiodendron kwangtungense* Association)。由于光合有效辐射在植物光合作用、群落生产力、能量利用效率研究中有着重要意义, 本文通过定位观测, 比较系统地分析光合有效辐射在自然保护区不同地形部位、不同森林群落中的分布状况。

2 实验设计与计算方法

在林内建立观测铁塔。观测铁塔位于季风常绿阔叶林核心区域永久样地附近、三宝峰东北侧山腰, 海拔 300m, 坡度 30°, 塔高 40m。在塔顶安装日本 EKO 公司生产的 MS-800 型精密天空分光辐射表, 型号 WG305、GG395、RG715。塔顶观测数据可代表保护区水平面的光合有效辐射。观测时间 1984 年 1 月~1985 年 12 月。观测为自动累积打印记录, 30 分钟打印 1 次。同步观测的还有太阳总辐射和散射辐射。

由于鼎湖山地形起伏大, 不同坡向、坡度所获得 PAR 差异很大。我们在整理实测的水平

① 本项研究获国家自然科学基金(49275246)和国家科委项目(PD-85-27)资助。

面 PAR 年、月值的基础上,进一步计算不同坡度、坡向的 PAR。

由于计算不同坡向坡度 PAR 十分繁杂,本文根据本研究的要求,在已有水平面 PAR 的基础上,采用近似计算方法。

PAR 总辐射 Q_{PAR} 由直接辐射 S_{PAR} 和散辐射 D_{PAR} 部分组成。

$$Q_{\text{PAR}} = S_{\text{PAR}} + D_{\text{PAR}} \quad (1)$$

对于 PAR 直接辐射的月平均日总量 \bar{S}_{PAR} 可用下式计算^[1]

$$\bar{S}_{\text{PAR}} = \bar{S}_{\text{PAR}0} R_b \quad (2)$$

式中 \bar{S}_{PAR} 和 $\bar{S}_{\text{PAR}0}$ 分别为某坡面和水平面 PAR 直接辐射月平均日总量, R_b 为相应于日总量的转换因子,可从文献[1]查得。

对于 PAR 的散射辐射,本文采用各向同性模式。这一模式假定 PAR 散射辐射均匀地分布于整个天空。因此入射到坡面上散射量取决于该坡面能够看到的天空。于是不难证明,

$$D_{\text{PAR}} = D_{\text{PAR}0} (1 + \cos \alpha) / 2 \quad (3)$$

式中 D_{PAR} 和 $D_{\text{PAR}0}$ 分别为坡面和水平面的 PAR 散射辐射, α 为坡面倾角。

为了分开水平面 PAR 的直接辐射和散射辐射,我们根据各项实测的太阳总辐射和散射辐射值进行计算和订正,然后逐月按比例计算出水平面 PAR 的 S_{PAR} 和 D_{PAR} ,最后据(1)、(2)、(3)式算出各个坡度坡向的 PAR。

为了测定光合有效辐射在不同群落各个层次的分布和吸收情况,我们分别在阔叶林群落和针阔混交林群落设置观测点;阔叶林群落高 24m,叶面积指数 17,分 5 层;混交林群落高 14m,叶面积指数 9,分 4 层。采用美国 Li-COR 公司生产的量子传感器,考虑到林下是一个不均一场,采用管形传感器测定。为了减少仪器误差,用同一仪器快速移动观测。1985 年各季进行不定期观测。观测数据在 500 个以上。

3 结果与分析

3.1 不同坡向和坡度的光合有效辐射(PAR)

鼎湖山不同坡向和坡度 PAR 月总量和年总量见表 1。

不同坡向和坡度的 PAR 年总量有如下特征:

① 坡度相同时,不同坡向 PAR 年总量的大小顺序为:南坡 > 东南(西南)坡 > 东(西)坡 > 东北(西北)坡 > 北坡。最大值 $2372.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 最小值 $1225.2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 相差约 2 倍。

② 东(西)坡、东北(西北)坡和北坡年 PAR 均小于平地,且随坡度增加而递减的梯度为北坡 > 东北(西北)坡 > 东(西)坡。

③ 南坡和东南(西南)坡在坡度较小时年 PAR 随坡度增加而增加,最大为 20° , 大于 20° 则随坡度增加而减小。南坡 40° 以下、东南(西南)坡 30° 以下均大于平地。

月 PAR 方面,情况更加复杂:

① 1~3 月及 9~12 月,坡度相同的不同坡向 PAR 月总量的大小顺序与年总量一样。即:南坡 > 东南(西南)坡 > 东(西)坡 > 东北(西北)坡 > 北坡。6 月的顺序则相反:北坡 > 东北(西北)坡 > 东(西)坡 > 东南(西南)坡 > 南坡。4、5 月、7、8 月则两种顺序都有,视不同坡度而异。

② 东(西)坡、东北(西北)坡和北坡全年各月 PAR 均随坡度的增加而减小,而且除了 6 月的 10° 北坡、10 月的 10° 东(西)坡之外,均小于平地。

③ 南坡和东南(西南)坡 1~3 月、10~12 月 PAR 随坡度的增加而增加,或者先增后降,而且均大于(或等于)平地。4~9 月则相反,随坡度增加而减小,而且除了 4 月的 10° 南坡、9 月

的 10°~30°南坡之外,均小于(或等于)平地。

表 1 鼎湖山不同部位光合有效辐射月总量(MJ·m⁻²)

Table 1 Photosynthetic active radiation in different aspects and slope at Dinghushan

坡向坡度	每 月 辐 射 量												年总量	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
水平	134.4	134.4	134.4	152.4	206.6	206.6	264.8	256.8	230.7	220.7	168.5	146.4	2256.7	
10	156.4	148.4	140.4	154.4	200.6	200.6	254.8	252.8	236.7	238.7	188.6	166.5	2338.9	
20	172.5	156.4	142.4	148.4	194.6	188.6	244.7	244.7	236.7	250.8	206.6	186.5	2372.9	
南坡	30	186.5	164.5	144.4	146.4	188.6	174.5	226.7	224.7	222.7	254.8	216.6	202.6	2273.0
40	192.6	164.5	140.4	140.4	166.5	154.4	206.6	220.7	222.7	252.8	218.6	210.6	2290.8	
50	194.6	162.5	134.4	130.4	148.4	138.4	182.5	200.6	214.6	246.7	220.7	214.6	2188.4	
10	148.4	144.4	136.4	150.4	200.6	200.6	256.8	252.8	230.7	234.7	178.5	160.5	2294.8	
20	158.5	148.4	138.4	150.4	194.6	194.6	246.7	244.7	230.7	236.7	190.6	174.5	2308.8	
东南坡	30	164.5	150.4	136.4	144.4	184.5	180.5	232.7	234.7	224.7	240.7	194.6	178.5	2266.6
(西南坡)	40	168.5	148.4	132.4	136.4	172.5	166.5	216.6	222.7	218.6	232.7	196.6	180.5	2192.4
50	164.5	142.4	126.4	126.4	148.4	152.4	196.6	206.6	208.6	226.7	192.6	182.5	2074.1	
10	130.4	130.4	132.4	148.4	202.6	202.6	258.8	252.8	226.7	222.7	164.5	142.4	2214.7	
20	126.4	126.4	126.4	144.4	196.6	194.6	248.7	240.7	218.6	212.6	160.5	138.4	2134.3	
东坡	30	122.3	122.3	120.3	138.4	186.5	186.5	236.7	230.7	212.6	206.6	152.4	134.4	2049.7
(西坡)	40	114.3	116.3	112.3	130.4	174.5	174.5	222.7	216.6	200.6	194.6	144.4	124.3	1925.5
50	106.3	106.3	106.3	122.3	162.5	160.5	208.6	202.6	190.6	182.5	136.4	116.3	1801.2	
10	116.3	122.3	124.3	146.4	204.6	206.6	262.8	252.8	220.7	210.6	148.4	122.3	2138.1	
20	96.3	108.3	114.3	138.4	198.6	200.6	252.8	240.7	208.6	188.6	128.4	104.3	1979.9	
东北坡	30	76.2	94.3	102.3	130.4	186.5	190.6	240.7	224.7	194.6	168.5	108.3	82.2	1799.3
(西北坡)	40	72.2	80.2	92.2	120.3	174.5	178.5	224.7	206.6	178.5	146.4	90.2	64.2	1628.5
50	44.1	70.2	78.2	110.3	156.4	162.5	206.6	186.5	164.5	132.4	76.2	48.1	1436.0	
10	110.3	118.3	122.3	148.4	204.6	210.6	262.8	250.8	218.6	204.6	140.4	114.3	2106.0	
20	100.3	98.3	110.3	140.4	198.6	204.6	256.8	242.7	204.6	180.5	114.3	86.2	1937.6	
北坡	30	52.1	78.2	96.3	130.4	188.6	194.6	246.7	226.7	188.6	152.4	84.2	54.1	1692.9
40	26.0	60.1	78.2	116.3	182.5	182.5	232.7	206.6	168.5	120.3	58.1	30.0	1461.8	
50	14.0	38.1	60.1	102.3	156.4	164.5	208.6	182.5	146.4	88.2	40.1	24.0	1225.2	

表 2 鼎湖山季风常绿阔叶林群落各月光合有效辐射的垂直分布(MJ·m⁻²)

Table 2 The vertical distribution of monthly Photosynthetically Active Radiation in the monsoon evergreen broad-leaf forest in Dinghushan

月份	林上	林冠反射	乔木 1	乔木 2	乔木 3	乔木 4	乔木 5	地面
1	76.20	3.42	63.87	3.81	3.20	0.30	0.23	1.37
2	94.30	4.24	79.0	34.72	3.69	0.37	0.29	1.69
3	102.30	4.60	85.74	5.11	4.30	0.41	0.30	1.84
4	130.40	5.86	109.29	6.50	5.47	0.53	0.39	2.34
5	186.60	8.39	156.38	9.37	7.84	0.75	0.56	3.35
6	190.60	8.57	159.55	9.53	8.01	0.76	0.57	3.43
7	240.80	10.83	201.80	12.04	10.12	0.97	0.72	4.33
8	224.70	10.11	188.31	11.23	9.44	0.90	0.67	4.04
9	194.60	8.75	163.09	9.73	8.17	0.78	0.58	3.50
10	168.50	7.58	141.21	7.89	7.07	0.68	0.50	3.03
11	108.30	4.87	90.76	5.42	4.55	0.43	0.33	1.94
12	82.20	3.69	68.90	4.11	3.45	0.33	0.25	1.47
全年	1799.80	80.99	1507.84	89.99	75.59	7.20	5.40	32.39

表3 鼎湖山针阔叶混交林各月光合有效辐射的垂直分布(MJ·m⁻²)
The monthly vertical distribution of PAR in mixed forest in Dinghuahan

月份	林上	林冠反射	乔木 1	乔木 2	乔木 3	乔木 4	地面
1	76.20	3.50	37.65	17.53	9.90	2.06	5.56
2	94.30	4.33	46.60	21.69	12.25	2.55	6.88
3	102.30	4.70	50.55	23.53	13.29	2.77	7.46
4	130.40	5.99	64.43	29.99	16.95	3.49	9.51
5	186.60	8.58	92.19	42.92	23.77	5.04	13.62
6	190.60	8.76	94.17	43.84	24.77	5.15	13.91
7	240.80	11.07	118.97	55.35	31.30	6.51	17.57
8	224.70	10.33	111.01	51.68	29.21	6.07	16.40
9	194.60	8.95	96.14	44.76	25.29	5.26	14.20
10	168.50	7.75	83.24	38.76	21.90	4.55	12.30
11	108.30	4.98	53.51	24.91	14.07	2.93	7.90
12	82.20	3.78	40.61	18.91	10.68	2.22	6.00
全年	1799.80	82.79	889.11	413.95	233.97	48.60	131.38

3.2 光合有效辐射在不同森林群落的垂直分布

本节研究西北坡和东北坡坡度 30°附近几种森林群落光合有效辐射的分配状况。表 2 和表 3 分别列出光合有效辐射在季风常绿阔叶林群落和针阔混交林群落的垂直分布状况。

从表中可见,鼎湖山季风常绿阔叶林与针阔混交林 PAR 的垂直分布差异明显。常绿阔叶林层次多、叶面积指数大,尤其是乔木 1 层,其叶面积指数为 8,因此,PAR 在此层被大量吸收,其吸收辐射约占总量 84%,到达 1 层下面只剩下 11.7%。因此,下面几层吸收辐射均在 5% 以下,最后到达地面的只剩 1.8%。

针阔混交林与阔叶林差别很大。乔木 1 层的叶面积指数只有 3.5,其吸收辐射占总量 49.4%,留给下层的有 46%。因此下面各层的光能就较丰富,到地面尚剩 7.3%。由于光能垂直分布的差异,必然影响森林群落结构的不同。因此,混交林群落下层植物较阔叶林丰富,下层的生物增量也高于阔叶林。关于光合有效辐射在季风常绿阔叶林衰减情况,我们根据实测的数据,得到下列经验公式:

$$I_D = I_0 e^{-0.165D} \quad (4)$$

式中 I_D 为离树冠表面某深度 D 处的光合有效辐射量(MJ·m⁻²), I_0 为树冠上空处的光合有效辐射(MJ·m⁻²), D 为群落中与树冠表面的垂直距离(m), e 为自然对数的底, -0.165 是消光系数。

对于同一地段的针阔混交林,我们也得到经验公式:

$$I_D = I_0 e^{-(0.1764 + 0.2156D)} \quad (5)$$

式中 I_D 为离针阔混交林群落表面某深度 D 处的光合有效辐射量(MJ·m⁻²),其他符号意义与(4)式相同。

公式(4)、(5)的关系有如图 1、图 2 所示。

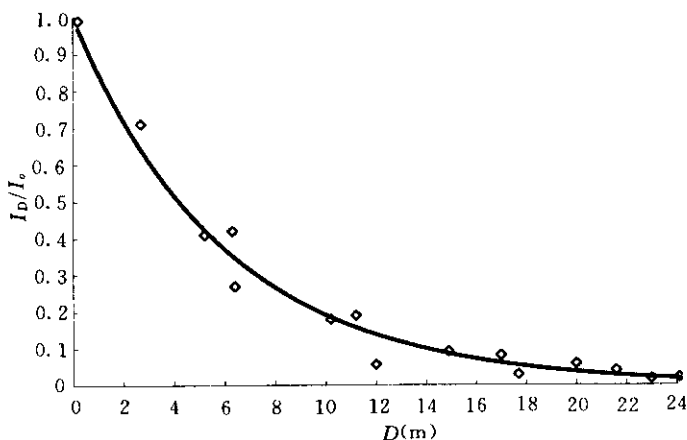


图 1 光合有效辐射进入季风常绿阔叶林的衰减

Fig. 1 Decline of photosynthetic active radiation in the monsoon evergreen broad-leaved forest

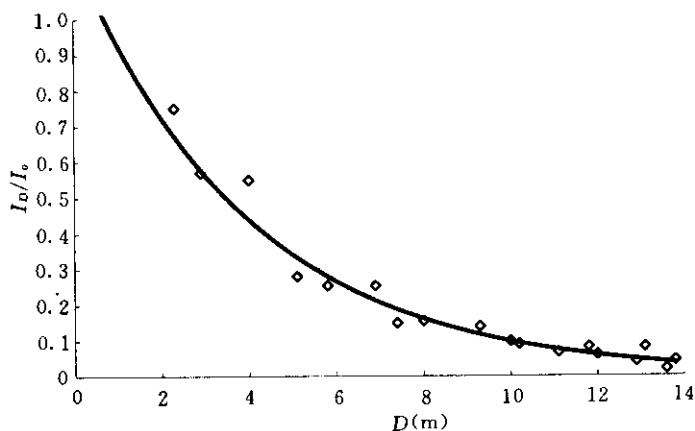


图 2 光合有效辐射进入针、阔叶混交林的衰减

Fig. 2 Decline of photosynthetic active radiation in the mixed coniferous and broad-leaved forest

4 结论

4.1 鼎湖山自然保护区各个地形部位接收的光合有效辐射(PAR)差异很大。水平面年总量为 $2256.7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 年最大值出现在南坡 20° 处, 为 $2372.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, 最小值出现在北坡 50° 处, 为 $1225.2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。最大值约为最小值 2 倍。本文试验点东北坡(西北坡) 30° 处年值为 $1799.3 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。月值变化较复杂。总的说来, 夏半年变化小, 冬半年变化大, 1 月份最大值(南坡 50°) 为最小值(北坡 50°) 14 倍。

4.2 PAR 在季风常绿阔叶林和针阔混交林中分布差异明显, 阔叶林大部分为乔木 1 层吸收, 占 84%, 混交林垂直分布较均匀, 乔木 1 层只吸收 49%, 这同两群落结构和叶面积指数有关。两种群落光合有效辐射垂直分布的差异将影响林下层植物的光合作用、生物量形成和种群结构, 从而对群落的结构和功能产生重大影响。

4.3 根据实验资料, 已求得 PAR 在两个群落衰减的公式。通过公式, 只要有林冠顶部的 PAR, 便可求得林下任一高度处的 PAR。

- 1 左大康等. 地球表层辐射研究. 科学出版社, 1991, 277~296.
- 2 吴厚水. 鼎湖山自然保护区水热状况及其与生态环境的关系. 热带地理, 1982, (14): 14 ~ 20

The Photosynthetically Active Radiation in Dinghushan Biosphere Reserve

Wu Houshui He Zhengchong Huang Daji Fang Hua

(Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070)

ABSTRACT In this paper, the distribution of PAR (photosynthetically active radiation) in different geographic positions and different forest communities in Dinghushan Biosphere Reserve are studied. It shows that among different geographic positions there is great difference in PAR, of which the total amount of horizontal plane is $2256.7 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$. The yearly maximum value is $2372.9 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$, appears at 10° , south slope. It is about two times of the minimum point ($1225.2 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$) which appears at 50° , north slope. The monthly variation is comparatively complicated. Generally, the variation is smaller in the half summer year and greater in the half winter year. The maximum value (50° , south slope) is 14 times of the minimum value (50° , north slope) in January. The distribution difference of PAR is obvious between the monsoon broad-leaved forest community and mixed forest community. In the broad leaved forest community, most PAR is absorbed by the top layer, accounting for 84% of the total, while it is well-distributed vertically in the mixed forest, the absorption rate by the top layer is 49%. PAR is related to the community structure and the leaf area index. Experimental formulas of the attenuation of PAR in forest communities have been established based on data.

Key words Dinghushan, Biosphere Reserve, Photosynthetically active radiation (PAR).