

# 鹤山人工林的辐射能环境研究\*

任海 彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要** 对鹤山针叶混交林、以乡土树种为主的阔叶混交林和豆科混交的林冠作用层和林地作用层辐射能等方面进行了研究。在太阳高度角和天气等因素的影响下, 全年抵达各林的总辐射月变化基本上都呈双峰曲线, 各林的峰值分布于5月和7~9月, 谷值分布于2月和6月。由于坡向的影响, 东南坡的太阳总辐射最大, 平坦地和西坡次之, 东坡较小, 北坡最小。各林型林冠上直接辐射和散射辐射占各自总太阳辐射量的比例有所不同, 但各林林冠上直射所占比例均大于散射所占比例; 由于冠层截获的影响, 林下散射辐射量则大于直射辐射量。草坡、气象站、豆科林、乡土林和针叶林的林上反射率分别为17.2%、18.3%、10.6%、11.4%和13.4%, 而后三个林型林内的反射率分别为28.9%、25.1%、21.4%。这种差异是由植物冠层结构、植物器官的光学特性和群落的发育状况等决定。因太阳高度角、天气状况、下垫面状况及坡向的不同, 草坡、气象站、针叶林、乡土林和豆科林林冠作用层的净辐射分别为 $2\,915.6\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $2\,547.4\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $2\,555.1\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $2\,739.2\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 、 $2\,922.3\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 其透射率分别为42.3%、32.6%和28.8%。这种林下辐射能环境与林下植物入侵者有关; 其林冠截获率与叶面积指数呈正相关。同地带的鼎湖山季风常绿阔叶林的冠层结构、光能截获率和净第一性生产力等指标均好于鹤山各人工林群落的相应值。要提高人工林的相应指标可在地面至林冠层入口之间增加利用层。

**关键词** 辐射能环境, 针叶混交林, 豆科植物混交林, 乡土树种林, 鹤山

一定强度的太阳辐射能到达林冠表面时, 由于枝叶等器官的吸收、反射和透射作用, 使得冠层和林地的辐射分布有其特有特征, 而植物又通过叶片等器官与之发生能量交换, 积累干物质。了解这一过程对深入认识能量在森林生态系统结构和功能中的作用以及生产实践均具有重要意义。

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的过程机理和优化人工林结构、功能和动态过程中, 于1986年就开展了多个林型和草坡的能量生态学研究, 本文报道豆科混交林、阔叶混交林、针叶混交林的部分辐射能环境的研究结果。

\* 中国科学院重中之重06项目和国家重点自然科学基金资助项目

鹤山林业科学研究所、鹤山气象局、广州地理所和华南植物所的许多同志给予帮助, 特此致谢!

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

## 1 自然概况

中国科学院鹤山丘陵综合试验站位于广东省中部, 约东经 112°53', 北纬 22°40'。试验区为低丘地势, 山脊平圆, 坡面平缓, 最高峰海拔 98 m。试验区的气候温暖、多雨, 年平均气温 21.7℃, 最热月均温 29.2℃, 最冷月均温 12.6℃, 年平均日照时数 1 797.8 h, 年平均太阳辐射量为 104.08 kCal/cm<sup>2</sup>。年平均降雨量为 1 801.1 mm, 但分布不均, 有明显的干湿季。该区年蒸发量为 1 638.8 mm, 每年还有数次台风影响。地带性土壤为砂页岩发育的赤红壤, 其酸性较强, 质地较粘, 缺乏盐基, 生物积累少, 受生物影响的土层浅, 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, 现状植被除部分地方为马尾松残林外, 大面积为亚热带草坡。

本文以 1987 年植造的针叶混交林 (下称针叶林)、豆科混交林 (下称豆科林) 和以乡土树种为主的阔叶混交林 (下称乡土林) 为对象, 并以天然草坡和人工草场为对照进行研究。这些林均为 7 龄, 栽种规格为 2.5 m × 2.5 m, 各观测点的坡度基本一致。各林其它特征如表 1。

表 1 各群落基本情况表

群落名称	人工草坡	天然草坡	针叶林	乡土林	豆科林
主要种类	纤毛鸭 嘴草等	桃金娘, 芒萁, 岗松	湿地松, 马尾松	红荷, 荷木	大叶相思, 马占相思
平均树高 (m)	- -	- -	3.7	8.3	11.3
平均枝下高 (m)	- -	- -	0.5	1.7	2.0
平均胸径 (cm)	- -	- -	6.4	10.1	11.5
平均冠幅 (m)	- -	- -	1.8 × 1.3	2.8 × 4.0	3.8 × 4.2
郁闭度 (%)	- -	- -	55	85	92
叶面积指数	2.2	2.8	3.47	4.64	8.7
土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	1.38	1.42	1.27	1.33	1.37
1 月土壤含水量 (%)	16.7	13.3	12.5	14.0	15.0
8 月土壤含水量 (%)	22.7	28.8	30.5	31.1	33.2
观测点坡向	平坦地	东南坡	北坡	东坡	西坡

## 2 理论与方法

### 2.1 辐射能环境

植物群落中的辐射输送, 是当今地球物理学中的复杂问题, 主要的复杂性是: 植物群落和各个植株结构的变异性而非均匀性比较大; 入射的太阳辐射方向和强度的变化增加了这种复杂性, 此外, 还有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, 但目前已就平均情况提出了植物群落中辐射输送的几种理论。本研究将植被看作一个整体来研究, 从而克服以上某些缺陷。

2.1.1 林冠作用层和林地作用层 在森林的辐射平衡研究中, 我们将森林分为林冠作用层和林地作用层。林冠作用层是指从林冠表面至林地土壤上层, 它以林冠作为反应面, 包

括从土壤到林冠顶的全部生物和物理空间; 而林地作用层即林地土壤层; 它以林地为反应面, 包括从土壤到林地表层的全部生物和物理空间

2.1.2 净辐射 林冠作用层(林地作用层)的辐射平衡 $R_0$ 是指森林(林地)吸收的太阳辐射与森林(林地)有效辐射差 公式为:

$$R_0 = Q(1 - a) - \epsilon_0$$

式中,  $R_0$  为林冠(林地)作用层的辐射平衡,  $Q$  为林冠(林地)上的太阳总辐射,  $a$  为林冠(林地)作用层的反射率,  $\epsilon_0$  为林地作用层的有效辐射, 是林冠及林地透过林冠间大气的长波与被林冠吸收的气逆辐射之差

$$\epsilon_0 = \delta \sigma T^4 (0.39 - 0.58 \sqrt{e} (1 - cn^2) + 4\delta \sigma T^3 (T_0 - T))$$

式中,  $T$  为林冠上 2.0 m 或林地上 2.0 m 高度的绝对温度 (K),  $e$  为林冠上 2.0 m 或林地上 2.0 m 高度的绝对湿度 (mm),  $n$  为云量(辐射通量强烈地受云状和云量的影响),  $c$  为系数(取 0.72),  $\delta$  为灰体系数(取 0.95),  $\sigma$  为斯利藩-波尔兹曼常数 ( $8.25 \times 10^{-11} \text{ Cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$ ),  $T_0$  为林冠或林地表面温度 (K), 在以上的公式中, 忽略了由于坡度引起的散射、反射和总辐射的差异

2.1.3 反射辐射与反射率 森林或林地的反射辐射能力通常用反射率 ( $a$ ) 表示:

$$a = R_f / R_s \times 100\%$$

式中,  $R_f$  为森林或林地的反射辐射,  $R_s$  为林冠上或林下总辐射

2.1.4 透射辐射、透射率 ( $p$ ) 和截获率 ( $b$ ) 太阳辐射透过森林的能力通常用透射率 ( $p$ ) 和截获率 ( $b$ ) 表示 公式为:

$$p = R_s / R_s \times 100\% \quad b = 1 - a - p$$

式中,  $R_s$  为林地作用层接收的太阳总辐射量

2.1.5 辐射梯度的观测 选每片林(针叶林, 豆科林, 乡土树种林)内的生理生态观测铁架附近为实验点, 选点时注意了代表性, 能够反映当地一般地形、地势、土壤和栽种水平, 而且每片林子的铁架基本在同一海拔和坡度位置 各仪器安装在同一水平面, 安装高度要准确 为减少架件本身对微气候的影响, 每观测点水平探出架件体 30~ 200 cm, 而且测点内仪器保持一定距离, 互不影响, 高的仪器安置在北面, 低的仪器安置在南面林冠下进行辐射数据测量

仪器为美国产的 L F - 188 B Integrating 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 林冠作用层的辐射探头是固定的, 考虑到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办法, 即在林下牵一根 20 m 长的铁丝, 测量时将探头沿之移动 采样时间取 10~ 100 s, 每项观测 3 次, 每次读数间隔 5~ 10 s, 取其平均, 这样做是由于叶子的迎风颤动具有一个约 1 s 的周期脉动, 而且当太阳视面或云块移动时, 光斑和阴影面积交替出现引起一个约 10 min 周期的脉动

辐射梯度的观测项目包括林冠上 2.0 m 和林地上 1.0 m 处的太阳总辐射、散射辐射、反射辐射和直接辐射 对照点选在气象站, 观测项目基本与林地作用层观测项目相同

2.1.6 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

林内和草坡的小气候梯度的观测仪器全为国产常规气象仪器, 观测项目包括: 林冠上 2.0 m、林冠上 0.5 m 和林冠中部的气温、湿度及风速, 林地上 2.0 m、0.5 m 的温度、湿度, 林地上 1.0 m 的风速, 土壤 0、5、10、15、20 cm 的温度和树温 此外还测定了 0~40 cm 内的土壤含水量及树干含水量(烘干法), 土壤容重(环刀法)。

能量平衡研究开始于 1989 年(另文分析), 辐射能环境的研究开始于 1993 年 12 月, 止于 1994 年 11 月 辐射梯度、小气候梯度每次测定时间为 6、8、10、12、14、16 和 18 时(还包括每月日出日落时间, 能量平衡时间还包括 20、22、24、2、4 时, 其时间间隔的控制由美国产 CR-21 型 Data Logger 完成)。

### 3 结果与分析

#### 3.1 辐射能分析

3.1.1 林冠上太阳总辐射能的分布 林冠上太阳总辐射与太阳高度角的年变化和日变化直接相关 在一年之中, 北半球夏季的太阳高度角大, 太阳辐射能在穿过大气层到达地表时的射程短, 因而太阳辐射强度亦大, 春、冬季的太阳高度角小, 太阳辐射能在穿过大气层到达地表时的射程长, 因而太阳辐射强度就小 一天之中太阳辐射能强度的变化呈单峰曲线的原理也与此基本相同 当然, 太阳总辐射能的时间分布规律还与大气透明度、空气含水量和云量等因素有关

从图 1 可见, 全年抵达各林的总辐射月变化基本上都呈双峰曲线, 峰值分布于 5 月和 7~9 月, 谷值分布于 2 月和 6 月, 尤以 2 月为最低 这是由于 1994 年 2 月, 南海台风在广东登陆后, 受北方冷空气南下的影响, 出现了连续性的暴雨过程, 在 28 d 中, 阴雨天占了 75%, 日照时数仅 51.2 h; 6 月时, 华南地区受形成于西太平洋的赤道负荷热带的控制, 气压低, 再加上东南季风裹挟着大量的水汽, 导致 30 天中阴雨天竟多达 25 d, 日照时数仅 66.4 h, 其余各月的少云晴天较多, 且日照时数较长, 因而 2 月和 6 月的总辐射值较低 5 月份出现峰值是因为天气晴而少云, 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

从图 1 还可发现针叶林的曲线基本上一直处于最低点, 而气象站和豆科的较高, 乡土林居中 事实上, 鹤山不同林型的年辐射总量是不同的 其值分别为: 草坡  $4\ 775.2\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 豆科林  $4\ 753.5\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 气象站  $4\ 748.2\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 乡土林  $4\ 515.2\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  和针叶林  $4\ 235.9\ \text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$  这种不同林上总辐射不同主要是由于坡向不同引起的 坡面上每天日出和日落的时间很不相同, 再加上直射光与坡面的交角的不同, 因此各林上的总辐射不同 但总的来说, 东南坡最大, 平坦地和西坡次之, 东坡较小, 北坡最小

3.1.2 林冠作用层直接辐射和散射辐射 太阳直接辐射是指以平行光方式投射到与光线相垂直的面上的那部分辐射 如表 2, 各林冠上直射辐射分别为: 草坡为  $3\ 134.1\ \text{MJ}$

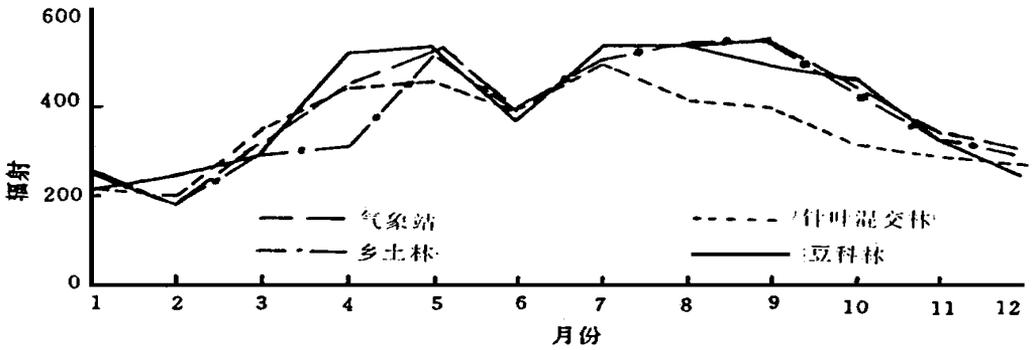


图1 各群落上方太阳辐射能的年变化

$\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 气象站为  $3\ 053.1 MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 豆科林为  $2\ 918.6 MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 乡土林为  $2\ 620.6 MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 针叶林为  $2\ 253.0 MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ , 它们占各自总太阳辐射量的比例分别是 64.3%, 65.6%, 61.4%, 58.0% 和 53.2%, 基本上呈东南坡 > 平坦地 > 西坡 > 东坡 > 北坡的趋势

表2 各群落辐射能情况对比表  $MJ \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$

群落名称	草坡	气象站	针叶混交林	乡土林	豆科混交林
林上太阳总辐射	4 775.2	4 748.2	4 235.9	4 515.2	4 753.3
林上直接辐射量	3 134.1	3 053.1	2 253.0	2 620.6	2 918.6
林上直射占总辐射比例(%)	64.3	65.6	53.2	58.0	61.4
林上散射辐射量	1 618.8	1 695.1	1 982.9	1 894.6	1 834.9
林上散射占总辐射比例(%)	35.7	34.4	46.8	42.0	38.6
林上反射辐射量	822.5	870.8	567.6	514.7	503.9
林上反射占总辐射比例(%)	17.2	18.3	13.4	11.4	10.6
林上净辐射量	2 915.6	2 547.4	2 555.1	2 739.2	1 922.3
林上净辐射占总辐射比例(%)	61.6	53.8	60.3	60.7	61.5
林下总辐射量	-	-	1 792.2	1 472.2	1 366.8
透光率(%)	-	-	42.3	32.6	28.8
林冠截获量	-	-	1 876.1	2 519.3	2 882.8
林冠截获率(%)	-	-	44.3	56.0	60.6
林下直接辐射	-	-	612.8	396.0	309.4
林下直射占林下总辐射比例(%)	-	-	34.2	26.9	22.6
林下散接辐射	-	-	1 179.4	1 076.2	1 057.4
林下散射占林下总散射比例(%)	-	-	65.8	73.1	77.4
林下反射量	-	-	384.1	369.4	394.4
林下反射占林下总辐射比例(%)	-	-	21.4	25.1	28.9

各林的散射辐射见表2, 由表2可见各林冠上的散射量比草坡和气象站的要大, 这可能是由于森林作用面的抬高使林上散射辐射减小所致 此外, 散射所占总辐射的比例的大小与所占比例刚好与直射相反

导致这种情况的主要原因是坡面方位对直射光的影响。由于坡向的不同,使坡面上每天日出和日没时间不同,再加上直射光与坡面的交角不同,引起各种不同坡向上直射光到达量的复杂变化,因而各坡向的直射量不同。而散射是总辐射中去掉直射部分,因此其大小排列刚好相反。

3.1.3 林冠上反射辐射 植物冠层的反射性能与总辐射、植物冠层结构、植物器官的光学特性和群落的发育状况有关。由表 2 可见,气象站的反射率最大,草坡次之。出现这种情况的主要原因是这两个地方的植物在干季时枯黄,引起反射率增大。而各林型由于林冠颜色常年较深,林冠粗糙又引起多次反射,增加了林冠太阳辐射的吸收和透过量;林冠透光空隙有黑体效应;树木的蒸腾和光合作用等生理过程选择吸收了其所需光谱的太阳辐射等,这三点导致森林减少林冠的反射率。在 3 个林型中,以豆科林最小,乡土林大些,针叶林最大,这主要是因为豆科林郁闭度大,叶面积指数也大,叶片反射率小,乡土林在冬末春初有一段落叶期,林中透光性好,植物枝条、凋落叶、草本反射大,而针叶完全未郁闭,林下灌草本的反射大。

3.1.4 林冠作用层的净辐射 净辐射也叫辐射平衡,它是森林小气候形成的能量基础。随下垫面条件的改变,太阳辐射能在作用面上分配形式也将产生差异,由此引起净辐射的变化。

草坡、气象站、针叶林、乡土林和豆科林林冠作用层的净辐射和占各自总辐射见表 2。可见位于平坦地的气象站的净辐射最小。据前人研究,净辐射量和月进程受太阳高度角和天气状况所制约,从表 2 可见,下垫面状况及坡向也对其产生较大的影响。

### 3.2 林地作用层的辐射能分析

3.2.1 林下总辐射及透射率 由于林冠对太阳辐射的吸收、反射和截获作用,到达林下的太阳总辐射量比林冠上的太阳总辐射显著地减少。各林型相比较,随郁闭度的减小,林内太阳总辐射逐渐减小,其透射率则逐渐增大。

据调查,针叶林下阳性喜湿的芒萁长势最好,豆科林下芒萁已较少,而乡土林下已出现本地植物九节和荷木幼苗,而以九节的耐阴性较强,可指示群落中植物种类的动态发展。林内植被的这些情况可解释为:针叶林郁闭度不大,林下辐射也较强,林内湿度又较草坡和裸地大,因此其芒萁长势好;豆科林由于郁闭度大,透光率最小,喜阳的芒萁不能较好地生长;乡土林的辐射能环境及其它小气候条件已经适于林下阴生性植物生长。因此可认为在南亚热带,林下透射率在 30% 左右是林下九节等耐阴性植物入侵的辐射条件。

3.2.2 林冠下的直射和散射辐射 由于林冠的遮闭,林下的直射光远较林冠外的小(如表 2)。可见阔叶林林下的直射较少,而针叶林林下则较多。

从豆科林到乡土林,再到针叶林其散射量是递增的,但其占林下总辐射的比例是递减的。这可能中因为阔叶林的林冠阻挡和林中的散射辐射中光合有效辐射大量被用于光合作用等生理过程而消耗所致。

由表 2 可见,直射光在豆科林中衰减最大,乡土林次之,针叶林最少。这是由于总辐射是由直射和散射两部分组成的,林冠对直射的阻挡能力大,而对传播方向性差的散射阻挡能力弱,同时经林冠多次反射作用,补充了一部分被林冠截持的散射辐射。因此,

林冠上下直射和散射量的不同, 主要是由于森林作用面的抬高和林冠的截获造成的

3.2.3 林冠下的反射和反射率 各林冠下反射辐射和各林林冠反射率见表2 可见林下反射率比林上的高 这可能与林冠的发育状况和入射光的特性有关, 也可能与林下植物反射作用面的粗糙程度有关 此外, 豆科林林下反射率是林上的2.7倍多, 乡土林林下反射与林上反射之比约为2.2, 针叶林林下反射与林上反射之比仅1.6, 这说明针叶林和阔叶林其林上林下反射率还是有区别的

3.2.4 林冠的截获能力 如表2所示, 各林截获量不同 再与表1的叶面积指数对照可知, 豆科林叶面积指数最大, 其截获量也最大, 针叶林的叶面积指数最小, 其截获量也最小 说明林冠对太阳辐射的截获量与叶面积指数成正相关

光能在冠层中的水平分布, 由于存在光斑、半阴影和阴影的差别, 每个林型同一水平层次的辐射量各点均不同, 各林的同一水平层次的辐射量也不同 至于其垂直分布, 一般认为其递减规律符合 Lambert-Beer 定律, 该定律描述了在植物冠层中间, 光强的衰减近于指数函数 林冠结构与辐射关系的具体结果将另文报道

### 3.3 与同地带天然顶极群落的对比

同地带的鼎湖山分布着南亚热带近顶极群落——季风常绿阔叶林 据彭少麟等(1994)测定, 该群落有三层乔木、一层灌木和一层草本层, 其叶面积指数为17, 光能截获率为96.11%, 年净第一性生产力为 $23.26 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  这些指标均好于鹤山各人工林群落相应的值 可见, 在人工森林生态系统中, 其地上利用层比较高, 在地面至入口林冠层之间增加利用层, 这是提高人工森林生态系统生物量的关键所在 一般而言, 层次越厚, 植物的叶面积指数就可能越大, 不同需光量的植物叶片就可能成倒金字塔形层层排列, 使阳光能层层利用, 每层的 $\text{CO}_2$ 有较大供给空间 与此相适应的系统的食物链可能更复杂 另外, 由于利用层加厚, 群体结构复杂, 使空气涡流加大, 促进了 $\text{CO}_2$ 的垂直补给, 减弱了光呼吸, 增加了干物质积累

## 参 考 文 献 ( 略 )

# The Studies on the Environment of Radiation Energy of Man-Made Forests in Heshan

Ren Hai\* Peng Shaolin

**Abstract** It was measured that radiation components such as gross solar radiation, reflected solar radiation, net radiation, diffuse radiation, direct radiation of a leguminous mixed forest, a broad leaf mixed forest and a coniferous mixed forest on

\* South China Institute of Botany, Academic Sinica, Guangzhou 510650

Heshan lower-subtropical hill, Guangdong, South China. The work concentrated on forest canopy layer and forest floor layer. The main conclusions are as follows: (1) Because of the influence of the angle of the sun and weather, the seasonal changes of solar radiation above canopy were double-peak curve. The monthly maximum value appeared in May and July~September, but the monthly minimum value appeared in February and June. (2) The values of solar energy entering forests were different because of the influence of slope direction. In general, the solar radiation value decreased from southeast, west, east to north facing slopes. (3) The diffuse and direct radiation above canopy of three forests were different. The direct radiation above canopy of the forest was more than the diffuse radiation of the same forest. On the contrary, the direct radiation below canopy of the forest was less than the diffuse radiation of the same forest. (4) The albedo above canopy of hillslope, meteorological observatory, leguminous mixed forest, broad leaf mixed forest and coniferous mixed forest was 17.2%, 18.3%, 10.6%, 11.4% and 13.4% respectively. But the albedo below canopy of leguminous mixed forest, broad leaf mixed forest and coniferous mixed forest was 28.8%, 25.1% and 21.4% respectively. The reflected radiation was affected by canopy structure and the growing situation of the community. (5) The amount of net radiation above the forest canopy was: hillslope  $2\,915.6\text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , meteorological observatory  $2\,547.4\text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , leguminous mixed forest  $2\,922.3\text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , broad leaf mixed forest  $2\,739.2\text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , coniferous mixed forest  $2\,555.1\text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ . (6) The transmissibility of leguminous mixed forest, broad leaf mixed forest and coniferous mixed forest was 28.8%, 32.6% and 42.3% respectively. The environment of solar radiation energy under canopy determined the inversion of heliophytes and sciophytes. (7) The absorptivity of leguminous mixed forest, broad leaf mixed forest and coniferous mixed forest was 60.6%, 56.0% and 44.3% respectively. There was a close correlation between absorptivity and leaf area index. (8) The canopy structure, absorptivity and net primary production of monsoon evergreen broad leaf forest was better (or higher) than that of man-made forests. We can increase utilization layer between forest canopy and forest floor.

**Keywords** radiation components, leguminous mixed forest, native species mixed forest, coniferous mixed forest, Heshan