

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

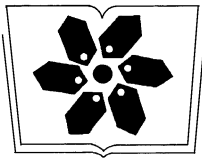
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

陈进, 陈步峰, 潘勇军, 肖以华, 史欣. 帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征. 生态学报, 2011, 31 (22): 6766-6776.

Chen J, Chen B F, Pan Y J, Xiao Y H, Shi X. Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (22): 6766-6776.

帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征

陈 进, 陈步峰*, 潘勇军, 肖以华, 史 欣

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 常绿阔叶林作为亚热带气候条件下森林的典型代表, 在森林辐射研究中扮演着重要的角色。基于广州帽峰山常绿阔叶林 1 a 的辐射观测数据, 分析了其时序变化和分配等规律。结果表明: 太阳总辐射($K\downarrow$)、反射辐射($K\uparrow$)和净辐射(R_n)通量日变化呈典型的单峰曲线, 大气逆辐射($L\downarrow$)、森林长波辐射($L\uparrow$)呈余弦曲线, 长波有效辐射(L_n)呈波浪形。各辐射总量均为雨季大于旱季, L_n 除外; 帽峰山常绿阔叶林 $K\downarrow$ 年总量为 4201.22 MJ/m^2 , R_n 、 $K\uparrow$ 和 L_n 占其比例分别为 63%、11% 和 26%。 R_n 通量分配率日变化呈倒“U”型曲线, L_n 和 $K\uparrow$ 呈“U”型曲线。林冠上光合有效辐射(PAR_a)日平均值旱季小于雨季, 林冠下(PAR_b)则相反; PAR_a 变异系数旱雨季均小于 PAR_b ; PAR_a 日变化呈典型的单峰曲线, PAR_b 整体和 PAR_a 一致, 仅在中午时刻出现微弱双峰。 PAR 透射率日峰值出现时间范围与 $K\downarrow$ 基本一致, 尤其是在雨季, PAR 透射率日平均值雨季大于旱季。帽峰山常绿阔叶林 $PAR/K\downarrow$ 比率为 20% 左右。

关键词: 辐射平衡; 光合有效辐射; 分配率; $PAR/K\downarrow$ 比率

Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China

CHEN Jin, CHEN Bufeng*, PAN Yongjun, XIAO Yihua, SHI Xin

Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

Abstract: Solar radiation is the primary energy source for ecosystems. The energy from net radiation (R_n) drives an ecosystem's material cycling and energy flow. Radiation with a wavelength of $0.4\text{--}0.7 \mu\text{m}$ is called photosynthetically active radiation (PAR) and can be used by plants for photosynthesis. Southern subtropical, evergreen broad-leaved forests play an important and representative role in the study of forest radiation. This study analyzed temporal changes and distribution of solar radiation components based on radiation observations in Maofeng Mountain Forest Park, Guangzhou in 2010. Results show the diurnal variation in global radiation ($K\downarrow$), reflected radiation ($K\uparrow$) and R_n can all be represented by typical single-peak curves. Atmospheric inverse-radiation ($L\downarrow$) and forest long-wave radiation ($L\uparrow$) can be represented by cosine curves while effective long-wave radiation (L_n) can be represented by an undulating curve. Gross radiation for each type measured, except for L_n , was greater in the rainy season than in the dry season. Annual gross $K\downarrow$ in the evergreen broad-leaved forest in the Maofeng Mountain Forest Park was $4,201.22 \text{ MJ/m}^2$, of which R_n , $K\uparrow$ and L_n accounted for 63%, 11% and 26% of the radiation, respectively. Annual gross downward radiation was $16,374.08 \text{ MJ/m}^2$, of which $L\downarrow$ and $K\downarrow$ accounted for 74.34% and 25.66% of the radiation, respectively. Annual gross upward radiation was $13,726.77 \text{ MJ/m}^2$, of which $L\uparrow$ and $K\uparrow$ accounted for 96.55% and 3.45% of the radiation, respectively. Diurnal variation in the $R_n/K\downarrow$ ratio showed an inverted U-shaped curve while the $L_n/K\downarrow$ and $K/K\downarrow$ ratios showed U-

基金项目: 科技部林业公益性行业科研专项 (200704005/wb04); 珠江三角洲森林生态系统定位站 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 通量系统仪器及设施建设项目 ([2007]66 号); 华南主要森林优势种群净生产力多尺度长期观测与评价研究项目 (200804006)

收稿日期: 2011-01-05; **修订日期:** 2011-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zsjcsdwcbf@126.com

shaped curves. Daily mean PAR above the canopy (PAR_a) in the dry season was less than in the rainy season, and PAR under the canopy (PAR_b) showed an opposite seasonal pattern. The coefficient of variation (CV) for PAR_a was less than for PAR_b in both the dry and rainy seasons. Diurnal variation of PAR_a showed a typical single-peak curve, while the PAR_b curve was similar but with a weak double-peak appearing at noon. The location of the PAR transmissivity peak mostly coincided with the peak for $K \downarrow$, especially in the rainy season. Daily mean PAR transmissivity on rainy days was greater than on clear days, especially in the dry season. Daily mean PAR transmissivity in the rainy season was greater than in the dry season. PAR_a and PAR_b had a significant linear regression relationship on daily scale, but did not on monthly scale. PAR_a and $K \downarrow$ had a significant linear regression on both daily and monthly scales. The linear regression relationship between PAR_b and $K \downarrow$ was only significant on a daily scale. The $PAR/K \downarrow$ ratio of the evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain was about 20% which was far less than the universal value of 50%. A comparison of $K \downarrow$ and R_n at this site with the forests in different geographical positions and altitudes such as the tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, the coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghu Mountain, and the evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountain, revealed the evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain had the lowest annual gross $K \downarrow$ and the highest $R_n/K \downarrow$ ratio.

Key Words: radiation balance; photosynthetically active radiation; distribution rate; $PAR/K \downarrow$ ratio

生态系统的能量输入主要来自太阳辐射^[1],辐射平衡(又称净辐射)是维持生态系统生命代谢与物质循环、能量流动的主要动力^[1-2]。光合有效辐射是太阳总辐射中波长范围为 0.4—0.7 μm 植物能用来进行光合作用那部分辐射,其准确的测定对净生产力和碳循环模型建立等方面显得非常重要^[3-4]。国内外关于不同森林类型太阳辐射传输与分配^[5-7]、辐射平衡与能量平衡^[8-10]等方面的研究有很多,另外关于光合有效辐射的研究亦不少^[3-4,11-14]。纵观这些研究发现,以往由于观测技术的限制,不少研究都缺乏长期连续系统的观测。此外,用仪器设备同步测出不同传播方向和不同波长辐射通量的研究比较少^[15-19],在此前提下国内对南亚热带森林的研究则仅见于云南哀牢山^[16]和广东鼎湖山^[17]。帽峰山常绿阔叶林是南亚热带气候条件下森林的典型代表,本研究利用四分量净辐射仪和光合有效辐射仪同步长期连续观测,分析了辐射通量时序变化及相互关系等规律,以期对南亚热带森林生态系统能量状况资料库提供更翔实的数据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究区域位于广州帽峰山森林公园(23°16'—23°19' N、113°22'—113°29' E),距广州市中心 23 km,以低山为主,最高处海拔 535 m。帽峰山原生植被为南亚热带季风常绿阔叶林,经过多次破坏及近 20 a 的天然更新和人工更新,现在的植被为人工群落和天然次生群落的混合体,属于以华润楠(*Machilus chinensis*)、锥(*Castanopsis chinensis*)、黄樟(*Cinnamomum porrectum*)、黧蒴锥(*Castanopsis fissa*)等优势种或建群种的次生性季风常绿阔叶林。土壤类型以赤红壤为主,有机质质量分数高,较肥沃。帽峰山年平均气温 21.0 $^{\circ}\text{C}$,最冷月平均气温 13.3 $^{\circ}\text{C}$,最热月平均气温 28.4 $^{\circ}\text{C}$,年大气降水约 1700 mm,多集中于 4—9 月份,年平均相对湿度 76%。气象梯度观测塔(23°17'722" N、113°27'918" E)海拔 333 m,位于东南坡,坡度 18°,所处群落优势种与帽峰山季风常绿阔叶林整体优势种一致,乔木平均胸径 18.4 cm,平均树高 18.1 m(周边 0.6 hm^2 样地)。

1.2 研究方法

1.2.1 辐射通量测定

气象观测设施安装于 36 m 高观测塔上(冠层高度约 18 m),地上部分共 7 层,净辐射仪(CNR-1, KIPP&ZONEN, Holland)安装在第 5 层(高度 25 m),朝向正南,枝臂长度为 1.5 m,该仪器上下各有一组(长短波长各 1 个)辐射观测探头,分别测定下行短波辐射(Downward short-wave radiation, $K \downarrow$)、上行短波辐射(Upward short-wave radiation, $K \uparrow$)、下行长波辐射(Downward long-wave radiation, $L \downarrow$)和上行长波辐射(Upward long-wave radiation, $L \uparrow$),其测量光谱范围短波为 305—2800 nm、长波为 5000—50000 nm。光合有

效辐射仪(LI190SB, Campbell, USA)安装于第4层(高度21 m)和第1层(高度3 m),分别测定林冠上与林冠下光合有效辐射(Photosynthetically active radiation, PAR),记为 PAR_a 和 PAR_b 。

用采集器(CR-1000, Campbell, USA)进行数据记录,输出数据均为经仪器处理过的半小时平均值(下文中若未作特别说明均指0.5h辐射通量平均值)。本文使用数据日期范围为2010年1月1日至2010年12月31日,共365 d。其中,2010年1月1日至2010年5月23日期间由于供电问题小部分数据缺失,利用帽峰山地面常规气象站数据进行数据插补。

1.2.2 辐射通量相关计算

对于森林来说,森林的辐射平衡可分为林冠层辐射平衡和林地辐射平衡,二者之和为森林辐射平衡^[2]。本文将二者看作一个整体,考虑整个森林生态系统,则由边界层辐射传输理论可知,净辐射(Net radiation, R_n)是森林生态系统收入辐射能和支出辐射能的差值,可表示为^[1-2]:

$$R_n = (K\downarrow + L\downarrow) - (K\uparrow + L\uparrow) \quad (1)$$

其中,按传播方向和波长划分的 $K\downarrow$ 、 $K\uparrow$ 、 $L\downarrow$ 和 $L\uparrow$,在物理意义上分别对应为太阳总辐射、反射辐射、大气逆辐射和下垫面长波辐射^[15]。

亦可表示为^[1-2,16]:

$$R_n = (1 - r) \cdot K\downarrow - L_n \quad (2)$$

式中, r 为反射率表示为^[16]:

$$r = K\uparrow / K\downarrow \quad (3)$$

L_n 为长波有效辐射表示为^[16]:

$$L_n = L\uparrow - L\downarrow \quad (4)$$

1.2.3 光合有效辐射相关计算

PAR 透射率(Transmissivity, λ)表示为^[14]:

$$\lambda = PAR_b / PAR_a \quad (5)$$

PAR 既可以表示为辐射能量通量形式,又可以表示为光量子通量(Photosynthetic photon flux density, $PPFD$)形式^[11,14],下文将根据实际情况选用。二者单位换算如下:

$$1 \text{ W/m}^2 = 4.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \quad (6)$$

1.2.4 数据处理

采用Excel2007和SPSS17.0软件进行数据基本处理、绘图和统计分析。

2 结果与分析

2.2 辐射通量日变化特征

本文中早雨季辐射通量日变化指各季节的平均日变化。

2.2.1 短波辐射通量与净辐射通量日变化

$K\downarrow$ 、 $K\uparrow$ 与 R_n 通量早雨季日变化均呈规则单峰曲线(图1),白昼均为正值,夜间和凌晨基本为零($K\downarrow$ 与 $K\uparrow$)或负值(R_n)。清晨辐射通量开始急剧上升的时间旱季(7:00)均比雨季(6:00)晚1 h,傍晚辐射通量开始急剧降为零的时间旱季(18:00)均比雨季(19:00)早1 h。三者通量峰值旱季出现在12:00,雨季出现在13:00;通量日平均值、峰值旱季小于雨季($K\uparrow$ 峰值除外)。

2.2.2 长波辐射通量日变化

$L\downarrow$ 、 $L\uparrow$ 通量早雨季日变化呈余弦曲线,二者之差的 L_n 通量呈波浪形(图2)。 $L\downarrow$ 通量谷值与峰值出现时间旱季为7:00和14:00,雨季为6:00和14:00。 $L\uparrow$ 通量谷值和峰值出现时间旱季(7:00、14:00)均比雨季(6:00、13:00)滞后1 h,鼎湖山针阔混交林也有类似结论^[17],这可能是由于旱季日出时间晚,温度响应也顺势较晚,最终致使 $L\uparrow$ 响应较晚。对于 L_n 通量而言,白天由于低层大气中垂直温度梯度增大, L_n 通量也增大。而夜间由于地面辐射冷却的缘故, L_n 通量也逐渐减小,在清晨达到最小。

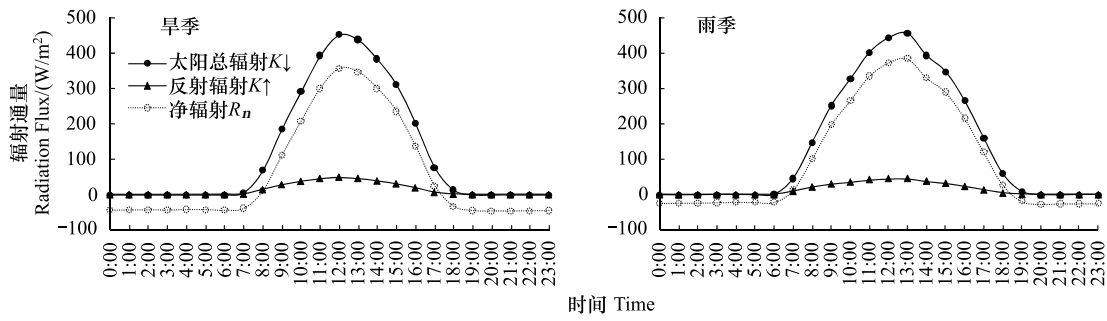


图1 旱雨季短波辐射通量与净辐射通量日变化

Fig. 1 Diurnal variation in short-wave radiation and net radiation in the dry and rainy seasons

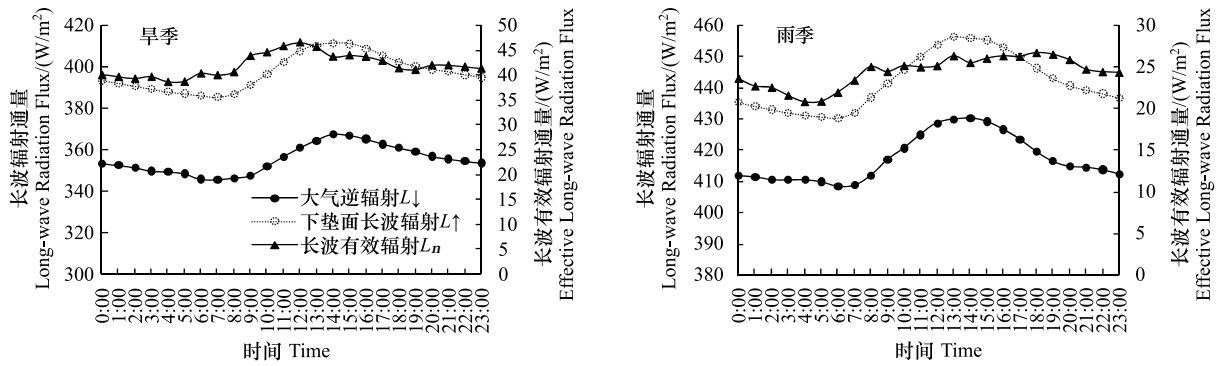


图2 旱雨季长波辐射通量日变化

Fig. 2 Diurnal variation in long-wave radiation in the dry and rainy seasons

$L\downarrow$ 和 $L\uparrow$ 通量日平均值、峰值和谷值旱季均远小于雨季;而 L_n 通量则相反,即湿热天气条件下, L_n 通量比干冷时小,一方面由于旱季气温低导致长波辐射通量小,另一方面可能是旱季云层较少的缘故,而云层减少导致的长波辐射通量下降值大于温度降低而导致的长波辐射通量下降值,从而出现上述现象。

2.3 辐射通量分配率特征

2.3.1 各辐射通量分配率

旱雨季各辐射通量占太阳总辐射通量百分比大小顺序为 $R_n \gg L_n > K\uparrow$ (表1)。 R_n 通量分配率旱季小于雨季,说明旱季能量接收率低于雨季。 $K\uparrow$ 通量分配率(亦即反射率)旱季大于雨季。 L_n 通量分配率旱季大于雨季,表明干冷天气条件下森林对近旁大气加热作用较湿热天气条件下强。

2.3.2 各辐射通量分配率日变化

前文已经概括了各辐射通量分配率的大体规律,本小节将进一步从日变化出发探讨具体每个时间段的特征。旱雨季 R_n 通量和 L_n 通量分配率日变化如图3所示。 R_n 通量分配率日变化曲线呈倒“U”型,总体规律为清晨和傍晚较小,白昼较高。 R_n 通量分配率全天旱季都低于雨季。 L_n 通量分配率日变化曲线与 R_n 通量相反呈“U”型(图3),日变化规律也和 R_n 通量基本相反,即清晨和傍晚百分率较高,白昼则很低。旱季 L_n 通量分配率全天高于雨季。

表1 旱雨季各辐射通量分配率/%

Table 1 Distribution rate of solar radiation components in the dry and rainy seasons

项目 Items	R_n	$K\uparrow$	L_n
旱季 Dry season	53.77	11.86	34.37
雨季 Rainy season	71.36	10.72	17.92
全年 One year	63.01	11.26	25.73

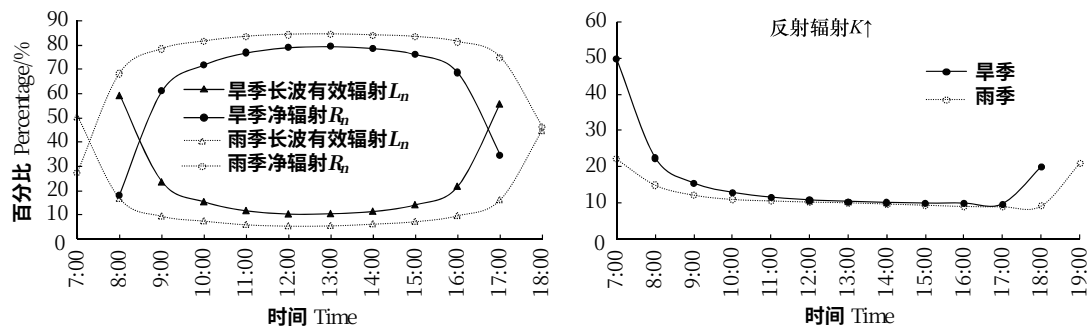


图3 旱雨季各辐射通量分配率日变化

Fig. 3 Diurnal variation in distribution rate of solar radiation components in the dry and rainy seasons

旱雨季 $K \uparrow$ 通量分配率(亦即反射率)日变化如图3所示。其日变化曲线旱雨季基本一致,基本成“U”型,总体规律为清晨和傍晚较高,白昼较低,且白昼有逐渐降低的趋势,全天反射率旱季高于雨季。

2.4 各辐射通量及其分配率月际变化特征

各个月份各辐射通量以及其分配率都呈现出一定的变化规律(图4)。各辐射通量最大月份多为雨季月份,最小月份多为旱雨季过渡月份($K \downarrow$ 与 $K \uparrow$)或旱季月份(R_n), L_n 通量除外。 $K \uparrow$ 通量分配率(亦即反射率)各个月份变化不大,波动范围为9.26%—13.33%,这应该是由于地处南亚热带的原因,常绿阔叶林林相整体变化不如落叶林明显。 R_n 通量分配率各个月份变化规律较明显,基本成单峰曲线,说明雨季能量接收率高于旱季且6月能量接收达到最大化。 L_n 通量分配率各个月份间整体变化规律与 R_n 通量分配率正好相反。

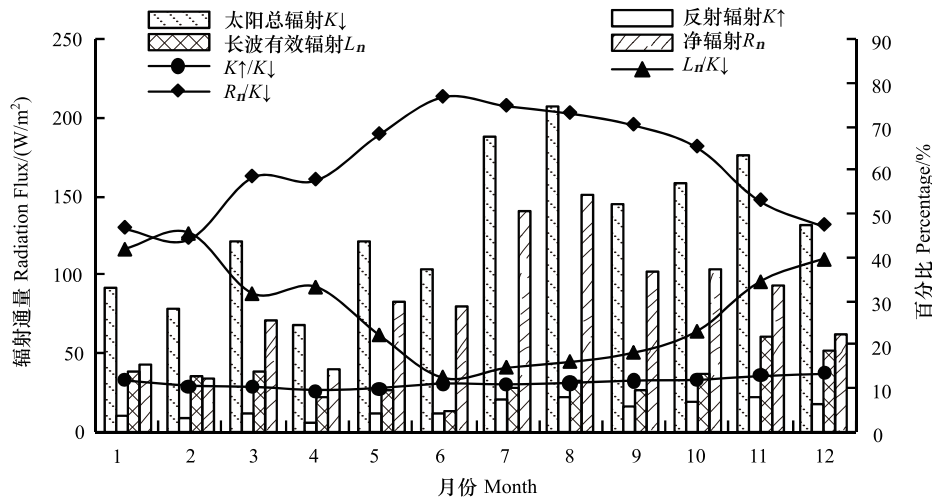


图4 各辐射通量及其分配率月际变化

Fig. 4 Monthly variation in flux and distribution rate of solar radiation components

2.5 辐射总量及其分配特征

旱雨季各辐射分量总量如表2所示,除 L_n 外,其余辐射量分量均为雨季总量大于旱季。

表2 旱雨季各辐射分量总量/(MJ/m²)

Table 2 Gross for solar radiation components in the dry and rainy seasons						
项目 Items	$K \downarrow$	$K \uparrow$	$L \downarrow$	$L \uparrow$	L_n	R_n
旱季 Dry season	1993.6	236.46	5576.84	6262.04	685.2	1071.94
雨季 Rainy season	2207.62	236.59	6596.02	6991.68	395.66	1575.37
1年 One year	4201.22	473.05	12172.86	13253.72	1080.86	2647.31

长短波辐射总量在上下行辐射总量中所占比例示于图 5。帽峰山常绿阔叶林下行辐射年总量为 16374.08 MJ/m^2 , $L\downarrow$ 和 $K\downarrow$ 占下行辐射总量比例分别为 74.34% 和 25.66%。帽峰山常绿阔叶林上行辐射年总量为 13726.77 MJ/m^2 , $L\uparrow$ 与 $K\uparrow$ 分别占上行辐射的 96.55% 和 3.45%, 前者所占比例远远大于后者。图 5 还表明, 帽峰山常绿阔叶林 R_n 、 $K\uparrow$ 和 L_n 总量占 $K\downarrow$ 总量比例分别达到了 63%、11% 和 26%, 而鼎湖山^[17] 针阔混交林对应比例分别为 61.07%、7.82% 和 31.1%, 分别说明帽峰山常绿阔叶林能量接收率高于、反射率低于以及对近旁大气加热作用小于鼎湖山针阔混交林。

比较 $L\downarrow$ 与 $L\uparrow$ 年总量发现(表 2), 前者是后者的 91.84%, 远大于青藏高原的 72.03%^[20], 并且大于鼎湖山的 89.2%^[17]。由此可见, 帽峰山地区大气逆辐射比鼎湖山更强烈一些, 与鼎湖山类似, 帽峰山位于经济活动繁多的珠江三角洲地区, 大气中温室气体含量大, 导致了大气逆辐射的强烈。旱季 $L\downarrow$ 总量为 $L\uparrow$ 总量的 89.06%, 雨季为 94.34%, 这可能是由于雨季天空云层水汽增多, 大气逆辐射也相应增强。

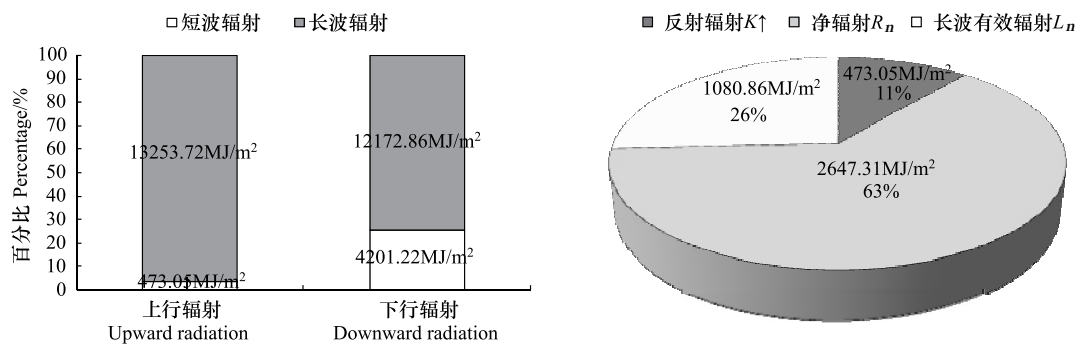


图 5 辐射年总量分配

Fig. 5 Distribution of annual gross radiation

由辐射平衡方程(公式 1 与 4)可以看出, 决定森林辐射平衡 R_n 的因素除了作为能量收入部分的 $K\downarrow$ 外, 主要的支出项为 $K\uparrow$ 和 L_n , 比较 L_n 和 $K\uparrow$ 年总量发现(表 2), 前者是后者的 2.28 倍, 这比平地的数值大(约为 1.1 倍)但却远远小于鼎湖山针阔混交林(约 3.97 倍)^[17], 可能是由于帽峰山常绿阔叶林表面较鼎湖山针阔混交林光滑等原因, 造成 L_n 总量较小且 $K\uparrow$ 总量较大, 产生上述结论。

2.6 光合有效辐射特征

2.6.1 光合有效辐射旱雨季统计特征

由表 3 可知, PAR_a 日平均值旱季小于雨季, PAR_b 则相反, 这可能是由于雨季属于生长旺盛期, 光合作用强, 林内郁闭度大, 能到达林下的 PAR_b 反而小; 从 PAR_a 和 PAR_b 的差值也可以看出, 旱雨季差值分别为 $113.59 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $118.54 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 雨季 PAR 利用率高于旱季。 PAR_a 变异系数旱雨季均小于 PAR_b , 这是由于光从林冠进入林内开始, 林内情况的复杂多变使其变异系数增大; 还可以发现, PAR_b 变异系数雨季 (1.6178) 大于旱季 (1.5089), 这可能是由于雨季生长旺盛, 林内情况更为复杂。

表 3 光合有效辐射旱雨季日统计特征

Table 3 Diurnal statistical characteristics of PAR in the dry and rainy seasons

项目 Items	旱季 Dry Season		雨季 Rainy Season	
	PAR_a	PAR_b	PAR_a	PAR_b
平均值 Mean/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	120.83	7.24	125.47	6.93
变异系数 Coefficient of variation	1.3728	1.5089	1.3467	1.6178

2.6.2 光合有效辐射及其透射率日变化

PAR 具有明显的日变化规律(图 6)。林冠上 PAR_a 呈典型的单峰曲线, 黑夜为零, 白昼成开口向下的抛物线变化, 通过对比发现其与太阳总辐射日变化十分吻合。而林冠下 3m 高位置的 PAR_b 日变化亦非常显著, 整

体呈和 PAR_a 规律一致,仅在中午时刻 PAR_b 会出现微弱的双峰变化。

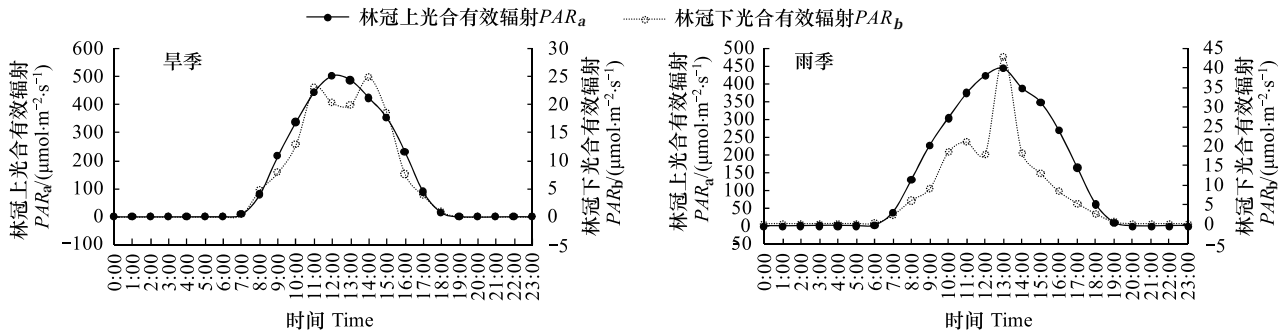


图6 旱雨季光合有效辐射日变化

Fig. 6 Diurnal variation in PAR in the dry and rainy seasons

由 PAR 透射率日变化(图7)可以看出,旱雨季均呈波浪式变化,旱季在 11:00 和 14:00 各有一峰值,雨季则在 13:00 出现明显峰值。初步可以看出, PAR 透射率日峰值出现时间范围与 $K\downarrow$ 日峰值出现时间范围基本一致,尤其是在雨季峰值出现时间与 $K\downarrow$ 完全一致,分析原因一方面是由于中午左右太阳高度角达到最大,其透过林冠的厚度相对较小,被林冠截留量相对减小,从而使到达林冠下的 PAR 增多^[21];另一方面则说明此时林木枝叶受太阳辐射刺激后通过改变枝叶形态、方位、关闭气孔等措施达到避免辐射损伤和减少水分蒸腾的效果,从而致使冠层对 PAR 的吸收减少。 PAR 透射率日平均值雨季大于旱季。

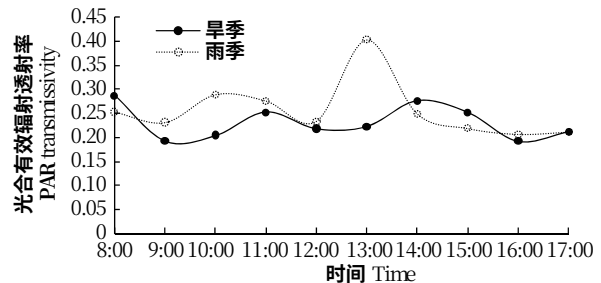


图7 旱雨季光合有效辐射透射率日变化

Fig. 7 Diurnal variation in PAR transmissivity in the dry and rainy seasons

2.6.3 光合有效辐射、其透射率以及其占太阳总辐射比率月际变化

如图8所示,8月 PAR_a 达到最大为 $185.12 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,4月达最小为 $63.17 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;3月 PAR_b 最大为 $17.91 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,12月达最小为 $3.69 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。 PAR 透射率1—3月呈底数大于1的对数函数曲线变化,3—12月呈底数小于1的指数函数曲线变化;1、2、3月比例分别为0.11、0.15、0.16,接着便减速地减小到10、11、12月的0.03。 $PAR_a/K\downarrow$ 比率月际变化不明显,基本维持在0.2左右; $PAR_b/K\downarrow$ 比率月际变化与 PAR 透射率一致。

2.6.4 光合有效辐射之间及其与太阳总辐射辐射线性回归分析

(1) PAR_a 和 PAR_b 线性回归分析

对 PAR_a 和 PAR_b 进行线性回归分析发现(图9),在日尺度相伴概率 P 小于0.01,说明 PAR_a 和 PAR_b 线性回归关系显著,判定系数 R^2 仅为0.391,说明线性回归方程对原始数据的拟合程度一般。但在月尺度相伴概率 P 大于0.05,即 PAR_a 和 PAR_b 线性回归关系不显著,表明在月尺度二者回归方程不可信。这是由于林木生长的动态性致使林冠上与林冠下 PAR 不能简单地用线性回归关系表示,而应该引进某一参数(比如说叶面积指数)进而再进行回归分析,方才可能较准确描述二者之

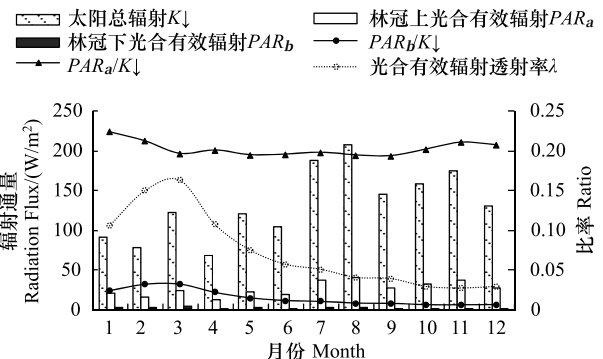


图8 光合有效辐射、其透射率及其占太阳总辐射比率月际变化

Fig. 8 Monthly variation in PAR, PAR transmissivity (λ) and ratio of PAR to $K\downarrow$

间关系。

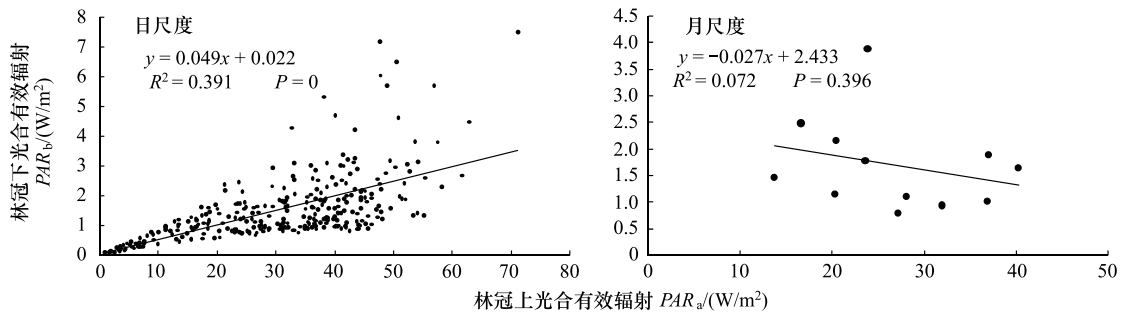


图9 林冠上光合有效辐射 PAR_a 与林冠下光合有效辐射 PAR_b 回归分析

Fig. 9 Regression analysis between PAR_a and PAR_b

(2) 光合有效辐射与太阳总辐射线性回归分析

将 PAR 与 $K\downarrow$ 进行线性回归分析(图10)。 PAR_a 与 $K\downarrow$ 在日尺度线性回归方程如下: $PAR_a = 0.197K\downarrow + 0.424$, $R^2 = 0.985$, $P = 0.000 < 0.01$, 线性回归关系显著; 月尺度回归方程如下: $PAR_a = 0.192K\downarrow + 1.148$, $R^2 = 0.985$, $P = 0.000 < 0.01$, 线性回归关系显著。 PAR_b 与 $K\downarrow$ 在日尺度线性回归方程如下: $PAR_b = 0.009K\downarrow + 0.017$, $R^2 = 0.399$, $P = 0.000 < 0.01$, 线性回归关系显著; PAR_b 与 $K\downarrow$ 在月尺度线性回归方程如下: $PAR_b = -0.005K\downarrow + 2.360$, $R^2 = 0.063$, $P = 0.429 > 0.05$, 二者之间线性回归关系不显著, 表明在月尺度二者回归方程不可信。

由上述分析不难看出, PAR_a 与 $K\downarrow$ 的判定系数比 PAR_b 大, 回归方程拟合度更好, 这是因为 PAR_b 所处林内环境复杂多变, 与 PAR_a 及 $K\downarrow$ 同步性较差。

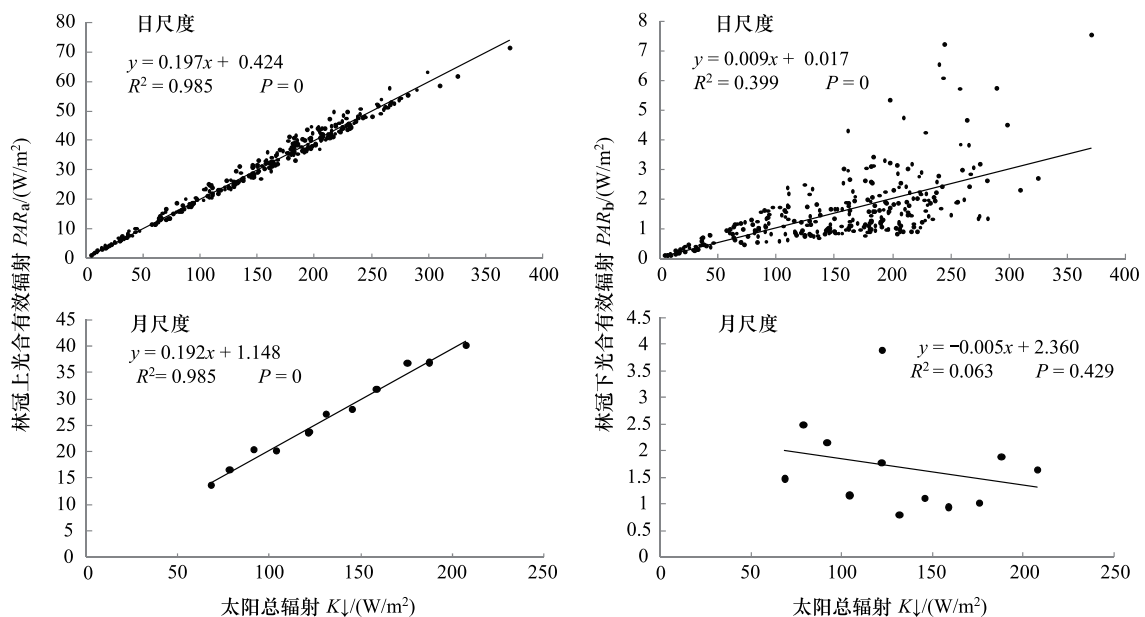


图10 光合有效辐射与总辐射回归分析

Fig. 10 Regression analysis between PAR and $K\downarrow$

3 讨论

3.1 辐射通量及其分配率

高水平 R_n 通量及其分配率使雨季森林具有更多可支配能量, 主要用于森林生态系统蒸散作用(潜热通量), 还用于显热通量、土壤热通量和冠层热储量以及光合作用等。旱季较高的 L_n 通量及其分配率说明大气

与森林生态系统下垫面气温差较大,下垫面对大气较强的热力效应可以减小较低气温对植物生长产生的胁迫^[16]。

已有研究表明,反射率与下垫面粗糙度、湿度和太阳高度角都成负相关关系^[2]。旱季太阳高度角小,下垫面干燥且粗糙度低,从而反射率旱季高于雨季;另外,森林结构对反射率也有影响,旱季郁闭度较小,到达林地土壤表面的辐射较多,而干燥的林地土壤使反射较雨季多。一天中,早晚太阳高度角小,因而早晚反射率高,白昼反射率低。此外,南亚热带常绿阔叶林叶面积指数四季变化不大,因而在较大时间尺度上主要影响反射率的可能是太阳高度角,在较小时间尺度上,影响反射率的主要因子则可能是天气状况^[17]。

一般说来, $K \downarrow$ 随海拔的增加而增加^[22]。比较不同地理位置和海拔高度森林 $K \downarrow$ 与 R_n (表4)发现,帽峰山常绿阔叶林 $K \downarrow$ 与 R_n 年总量均小于低纬度的西双版纳热带季节雨林^[18],这是由热带特殊的气候环境决定的,并且后者海拔高于帽峰山;与纬度较接近的鼎湖山^[17]和哀牢山^[16]相比,虽然 $K \downarrow$ 年总量分别比二者低396.28 MJ/m²和945.18 MJ/m²,但 R_n 年总量比鼎湖山低160.59 MJ/m²,且比哀牢山高522.52 MJ/m²;西双版纳、帽峰山、鼎湖山和哀牢山 $R_n/K \downarrow$ 比率分别为60%、63%、61%和41%,说明虽然帽峰山常绿阔叶林可能由于地理位置和海拔等具体条件限制而导致 $K \downarrow$ 年总量较低,但其 $R_n/K \downarrow$ 比率却是四种森林类型中最高的,除去海拔原因外,还可能是因为帽峰山距离广州市区仅23 km,属于近郊城市林,其上方大气环境受广州市区影响较大,温室气体和大气颗粒物等较多,致使到达森林生态系统的 $K \downarrow$ 相对较少,且同时温室气体等又使气温和 $L \downarrow$ 升高。

表4 不同地理位置和海拔森林 $K \downarrow$ 与 R_n 年总量/(MJ/m²)
Table 4 Annual gross $K \downarrow$ and R_n in different geographical positions and altitudes

森林类型 Forest type	地理位置 Geographical position	海拔 Altitude/m	$K \downarrow$	R_n	$R_n/K \downarrow$
西双版纳热带季节雨林 Tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna ^[18]	21°57' N, 101°12' E	756	5018.75	3010.25	60%
帽峰山常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain	23°17' N, 113°27' E	333	4201.22	2647.31	63%
鼎湖山针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest in Dinghu Mountain ^[17]	23°10' N, 112°34' E	100—700	4597.50	2807.90	61%
哀牢山常绿阔叶林 Evergreen broad-Sleaved forest in Ailao Mountain ^[16]	24°32' N, 101°01' E	2450	5146.40	2124.80	41%

3.2 光合有效辐射

旱雨季典型晴天与雨天 PAR 透射率日变化如图11所示。典型晴天 PAR 透射率日变化在12:00(11月23日)及13:00(7月6日)分别有一峰值,这与对应 $K \downarrow$ 通量日变化峰值出现时间完全一致,典型雨天 PAR 透射率日变化则无明显峰值出现,这应该是由于大气水汽使到达森林的 PAR 大幅减弱, $K \downarrow$ 通量白昼平均值晴天分别为413.13 W/m²(11月23日)和415.88 W/m²(7月6日),雨天则仅为16.92 W/m²(12月25日)和56.66 W/m²(6月26日)。11月23日、7月6日、12月25日和6月26日 PAR 透射率白昼均值分别为0.12、0.26、0.23和0.29,对比发现, PAR 透射率旱雨季均为雨天大于晴天,且旱季尤其明显,而经统计,2010年帽峰山旱雨季雨天所占比例分别为30.2%和57.9%,由此综合全年来看,不难理解 PAR 透射率雨季大于旱季。

由于试验条件的限制,很多地区没能够直接进行 PAR 测定,因此常需要通过其它更常测定的辐射量来推算 PAR ,而用的最普遍的就是 $K \downarrow$ ^[11]。传统方法认为在时间尺度大于30 min情况下, $PAR/K \downarrow$ 比例一般为固定的50%^[23-24],然而,McCree^[25-26]指出假设 $PAR/K \downarrow$ 比率为固定值来计算 PAR 时必须引进某一系统误差,且大多研究认为 $PAR/K \downarrow$ 比率并非固定不变,即使在晴天也会有微小变动^[27-28]。 $PAR/K \downarrow$ 比率的变异受局部气候以及云量、浑浊度和大气含水量影响^[11]。Frouin和Pinker^[4]指出为了确保用 $K \downarrow$ 估算 PAR 的准确性,必须对 $PAR/K \downarrow$ 比率进行长期观测。本文研究结果显示,帽峰山常绿阔叶林 $PAR/K \downarrow$ 比率在日尺度下仅为20%左右,远小于50%,同时也小于鼎湖山的40%^[17],由此可见,当用 $K \downarrow$ 来估算 PAR 时直接取50%这一比

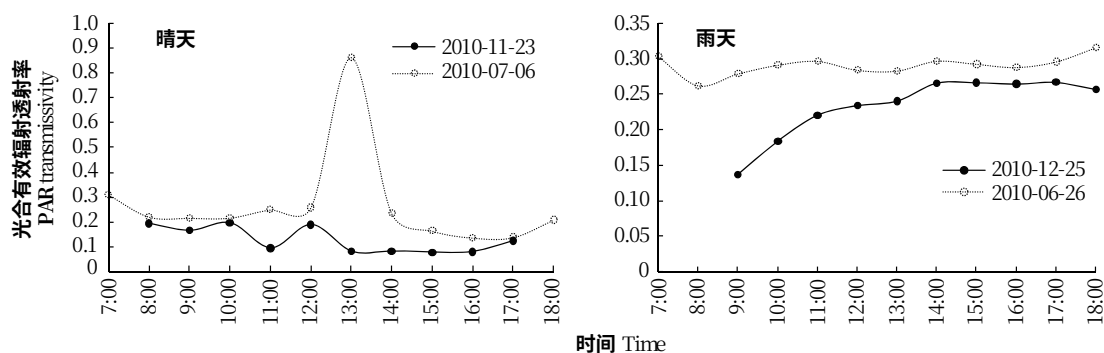


图 11 旱雨季典型晴天和雨天光合有效辐射透射率日变化

Fig. 11 Diurnal variation in PAR transmissivity on typical clear and rainy days in the dry and rainy seasons

例会有较大误差,应根据实际情况确定该系数。目前,通过同时观测 PAR 和 $K\downarrow$ 来探讨二者之间关系的研究已有不少^[28-31],这些结果应用于观测地区或者气候相近地区效果较好,但应用到其它地区则会出现很大问题^[32]。为了克服地域和气候的局限性,一些基于物理理论的模型被创建^[32-34],但大多模型只适用于晴天。

本研究尚有一些缺憾之处:本文是将森林冠层、林内和林内地面看作一个整体来研究,林内和林内地面辐射状况未有涉及;本文主要侧重于辐射平衡的角度研究能量,而没有从显热和潜热的能量利用方式角度研究;林内 PAR 的观测仅为一层,对探讨 PAR 在林内的变化还远不够,有条件的话可以考虑加设林内 PAR 观测梯度;本文中所用 PAR 透射率只能粗略反映其在林冠中的传输状况,衡量林分冠层对 PAR 吸收的重要指标消光系数才能真正反映冠层中枝叶本身的受光情况及其光学性质^[21],而计算消光系数的重要参数叶面积指数本研究并未进行测量;对于林木对光的利用情况则最好配以 Li-6400 光合仪定期测定林木光合作用,以便定量研究。

References:

- [1] Yu G R, Sun X M. Principles of Flux Measurement in Terrestrial Ecosystems. Beijing: High Education Press, 2006: 77-108.
- [2] Wan Z H. Forest and Climate. Hefei: Anhui Science and Technology Publishing House, 2004: 26-36.
- [3] Pinker R T, Laszlo I. Global distribution of photosynthetically active radiation as observed from satellites. Journal of Climate, 1992, 5(1): 56-65.
- [4] Frouin R, Pinker R T. Estimating photosynthetically active radiation (PAR) at the earth's surface from satellite observations. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 98-107.
- [5] Federer C A, Tanner C B. Spectral distribution of light in the forest. Ecology, 1966, 47(4): 555-560.
- [6] Ren H, Peng S L, Zhang Z P, Zhang W Q. Study on canopy structure and canopy radiation of monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan biosphere reserve, Guangdong. Aata Ecologica Sinica, 1996, 16(2): 174-179.
- [7] Hardy J P, Melloh R, Koenig G, Marks D, Winstal A, Pomeroy J W, Link T. Solar radiation transmission through conifer canopies. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 126(3/4): 257-270.
- [8] Tajchman S J. The radiation and energy balances of coniferous and deciduous forests. Journal of Applied Ecology, 1972, 9(2): 359-375.
- [9] Wu J B, Guan D X, Zhao X S, Han S J, Jin C J, Yu G R. Characteristic of the energy balance in broad-leaved Korean pine forest of northeastern China. Aata Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2520-2526.
- [10] Wilson K B, Baldocchi D D. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 100(1): 1-18.
- [11] Finch D A, Bailey W G, McArthur L J B, Nasitwitwi M. Photosynthetically active radiation regimes in a southern African savanna environment. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 122(3/4): 229-238.
- [12] Yirdaw E, Luukkanen O. Photosynthetically active radiation transmittance of forest plantation canopies in the Ethiopian highlands. Forest Ecology and Management, 2004, 188(1/3): 17-24.
- [13] Yuan F H, Guan D X, Wu J B, Wang A Z, Shi T T, Zhang X J. Spatiotemporal characteristics of photosynthetically active radiation in understory of Korean pine and broadleaved mixed forest in Changbai Mountains. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 231-237.
- [14] Wang X, Yin G C, Zhou G Y, Sun G, Tang X L, Wang C L, Yan J H. Temporal and spatial distribution of photosynthetically active radiation flux of coniferous and broadleaved mixed forests at the Dinghushan Mountain, low subtropical China. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(2): 18-23.

- [15] Holst T, Rost J, Mayer H. Net radiation balance for two forested slopes on opposite sides of a valley. *International Journal of Biometeorology*, 2005, 49(5): 275-284.
- [16] Gao J B, Zhang Y P, Gong H D, Liu Y H. Characteristics of solar radiation of subtropical broad-leaved forest area in Ailao Mountains, Southwest China. *Journal of Mountain Science*, 2009, 27(1): 33-40.
- [17] Wang X, Zhou G Y, Sun G, Zhang D Q, Yan J H, Zhao H. Characteristics of radiation flux of coniferous and broad-leaved mixed forest in low subtropical China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(5): 28-34.
- [18] Zhang Y P, Dou J X, Yu G R, Zhao S J, Song Q H, Sun X M. Characteristics of solar radiation and its distribution above the canopy of tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(5): 17-25.
- [19] Cui S S, Kang W X, Zhao Z H, Deng X W. Characteristics of radiation flux of Chinese fir plantation ecosystem. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2010, 30(3): 18-24.
- [20] Ji G L, Jiang H, Lu L Z. Characteristics of long-wave radiation over the Qinghai-Xizang Plateau. *Plateau Meteorology*, 1995, 14(4): 451-458.
- [21] Liu X D, Zhu C Q, Lei J P, Ju G S, Bai R. The distribution of photosynthetic radiation in the canopy of poplar plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(3): 2-7.
- [22] Fu B P. *Mountain Climate*. Beijing: Science Press, 1983: 38-87.
- [23] Szeicz G. Solar radiation for plant growth. *Journal of Applied Ecology*, 1974, 11(2): 617-636.
- [24] Stanhill G, Fuchs M. The relative flux density of photosynthetically active radiation. *Journal of Applied Ecology*, 1977, 14(1): 317-322.
- [25] McCree K J. A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. *Agricultural Meteorology*, 1966, 3(5/6): 353-366.
- [26] McCree K J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural Meteorology*, 1972, 10: 443-453.
- [27] Stigter C J, Musabilha V M M. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in the tropics. *Journal of Applied Ecology*, 1982, 19(3): 853-858.
- [28] Udo S O, Aro T O. Global PAR related to global solar radiation for central Nigeria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 97(1): 21-31.
- [29] Blackburn W J, Proctor J T A. Estimating photosynthetically active radiation from measured solar irradiance. *Solar Energy*, 1983, 31(2): 233-234.
- [30] González J A, Calbó J. Modelled and measured ratio of PAR to global radiation under cloudless skies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 110(4): 319-325.
- [31] Papaioannou G, Nikolidakis G, Asimakopoulos D, Retalis D. Photosynthetically active radiation in Athens. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 81(3/4): 287-298.
- [32] Gueymard, C. An atmospheric transmittance model for the calculation of the clear sky beam, diffuse and global photosynthetically active radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1989, 45(3/4): 215-229.
- [33] Gueymard C. A two-band model for the calculation of clear sky solar irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation at the earth's surface. *Solar Energy*, 1989, 43(5): 253-265.
- [34] Alados I, Foyo-Moreno I, Alados-Arboledas L. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1996, 78(1/2): 121-131.

参考文献:

- [1] 于贵瑞, 孙晓敏. 陆地生态系统通量观测的原理与方法. 北京: 高等教育出版社, 2006: 77-108.
- [2] 宛志沪. 森林与气候. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2004: 26-36.
- [6] 任海, 彭少麟, 张祝平, 张文其. 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.
- [9] 吴家兵, 关德新, 赵晓松, 韩士杰, 金昌杰, 于贵瑞. 东北阔叶红松林能量平衡特征. *生态学报*, 2005, 25(10): 2520-2526.
- [13] 袁凤辉, 关德新, 吴家兵, 王安志, 施婷婷, 张晓静. 长白山红松阔叶混交林林下光合有效辐射的基本特征. *应用生态学报*, 2008, 19(2): 231-237.
- [14] 王旭, 尹光彩, 周国逸, 孙阁, 唐旭利, 王春林, 闫俊华. 鼎湖山针阔混交林光合有效辐射的时空格局. *北京林业大学学报*, 2007, 29(2): 18-23.
- [16] 高进波, 张一平, 巩合德, 刘玉洪. 哀牢山亚热带常绿阔叶林林区太阳辐射特征. *山地学报*, 2009, 27(1): 33-40.
- [17] 王旭, 周国逸, 孙阁, 张德强, 闫俊华, 赵辉. 南亚热带针阔混交林辐射通量特征. *北京林业大学学报*, 2006, 28(5): 28-34.
- [18] 张一平, 窦军霞, 于贵瑞, 赵双菊, 宋青海, 孙晓敏. 西双版纳热带季节雨林太阳辐射特征研究. *北京林业大学学报*, 2005, 27(5): 17-25.
- [19] 崔莎莎, 康文星, 赵仲辉, 邓湘雯. 杉木人工林生态系统太阳辐射特征研究. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(3): 18-24.
- [20] 季国良, 江灏, 吕兰芝. 青藏高原的长波辐射特征. *高原气象*, 1995, 14(4): 451-458.
- [21] 刘晓东, 朱春全, 雷静品, 巨关升, 白锐. 杨树人工林冠层光合辐射分布的研究. *林业科学* 2000, 36(3): 2-7.
- [22] 傅抱璞. *山地气候*. 北京: 科学出版社, 1983: 38-87.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 22 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元