

秦岭华山松群落能量环境及光能利用率研究

王得祥, 刘淑明, 雷瑞德, 丁建超, 尤其明

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:选取具有代表性的华山松群落,对5月份到达群落的太阳总辐射、直接辐射、散射辐射、反射辐射、净辐射进行观测和研究;利用1996~1998年的气象资料,计算群落获得的太阳辐射总量;分析了群落内太阳辐射日变化规律及能量分布特点。结果表明:到达群落上层的太阳辐射为 $41.99 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{月}$,其中直接辐射为 $30.23 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{月}$,散射辐射为 $11.76 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{月}$;生长季内华山松群落获得的总太阳辐射能为 $1.68 \times 10^9 \text{ J/m}^2$,净辐射为 $1.10 \times 10^9 \text{ J/m}^2$ 。两种不同结构的群落年净积累能量分别为 $7.285 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{a}$ 和 $4.121 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{a}$;以生长季内接受的太阳总辐射为基础,群落乔木层的光能利用率分别为0.434%和0.246%;以生长季内接受的太阳净辐射为基础,其光能利用率则分别为0.663%和0.375%。

关键词:秦岭;华山松群落;太阳辐射;光能利用率

中图分类号:S718.554.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-7461(2003)04-0005-04

Energy Environment and Utilization of Solar Energy by
Pinus armandi Community in the Qinling Mountains

WANG De-xiang, LIU Shu-ming, LEI Rui-de, DIN Jian-chao, YOU Qi-ming

(College of Forestry, NW Sci-Tech Univ. of Agr. and For., Yangling, Shaanxi 712100, China)

万方数据

Abstract: The total solar radiation, direct solar radiation, scattered radiation, reflected radiation and net radiation of two kinds of *Pinus armandi* community in May were measured and analyzed. The summary and the diurnal courses of solar radiation and energy distribution in the community were analyzed and calculated based on the weather data of 1996~1998. The main results are as follows: the total solar radiation received by the upper canopy was $41.99 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{mo}^{-1}$, of which the direct solar radiation was $30.23 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{mo}^{-1}$, scattered solar radiation was $11.76 \times 10^7 \text{ J/m}^2 \cdot \text{mo}^{-1}$. The total solar radiation and net solar radiation received by *Pinus armandi* community during the growing season were $1.68 \times 10^9 \text{ J/m}^2$ and $1.10 \times 10^9 \text{ J/m}^2$ respectively. The annual energy of the two *Pinus armandi* community were $7.285 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ and $4.121 \times 10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ respectively. The utilization efficiency of solar energy for received total solar radiation during the growing season of arbor layer in the two *Pinus armandi* community were 0.434% and 0.246% respectively. Based on the received net solar radiation during the growing season, the utilization efficiency of solar energy of arbor layer in the two *Pinus armandi* community were 0.663% and 0.375% respectively.

Key words: Qinling Mountains; *Pinus armandi* community; solar radiation; utilization of solar energy

华山松(*P. armandi*)是秦岭林区的主要组成树种之一,主要分在1600~2300m的中山地带,现存林分多为主伐后天然更新的次生林,在秦岭生态系统中占有很重要的地位。张彦东、孙雪峰、郭明辉、丁宝永、李俊清、肖文发、刘世荣等分别对红松人工

林、暖温带阔叶林、天然三大硬阔林、落叶松林、人工阔叶红松林、油松林的能量环境、光能利用率、结构与生产力进行了不同层次的研究^[1-7]。目前对秦岭华山松群落的研究尚属空白。本文在对秦岭林区华山松结构及动态研究的基础上^[11,12],进一步对其能

收稿日期:2003-04-21

基金项目:国家林业局“十五”重点项目“陕西秦岭火地塘林区森林景观格局及其动态规律研究”(2001-04)

作者简介:王得祥(1966-),男,青海乐都人,副教授,博士,主要从事生态学方向的教学、科研工作,发表相关论文28篇。

量环境与光能利用率进行研究,以期探讨华山松林的结构和光能利用率之间的关系。

1 材料与方法

1.1 样地设置

在海拔 1 740 m 处,选择 2 块年龄、结构、密度不同的林分设立观测样地。样地 1 林分长势良好,个别林木被采伐(表 1)。

表 1 观测样地概况

Table 1 Survy of the plots

样地	密度 /株·hm ⁻²	平均胸径 /cm	平均高 /m	样地面积 /m ²	坡度/°	坡向	年龄 /a	郁闭度	凋落物厚 /cm	灌木盖度 /%	草本盖度 /%
No. 1	1 800	14.2	12	400	25	WS8°	28	0.8	3.5	30	36
No. 2	1 200	14.3	13	400	27	EN10°	32	0.6	4.0	80	85

1.2 观测台建立

在两块样地中均建立观测台,观测台的高度依据树高,具体到林冠层的第一枝死枝高;样地 1 观测台高度为 5.8 m,样地 2 观测台高度为 4.1 m。

1.3 观测仪器

使用长春气象仪器厂生产的 DPF2 型天空辐射表和 DFM 型辐射电流表、直射表和净辐射表。

1.4 观测内容及时间

5 月份对华山松林以下能量环境指标进行测定,时间为每天 7:00 - 19:00。结合 1996 ~ 1998 年的气象资料,推算生长季群落所接受的辐射量。

- (1)林冠上层 0.5 m 处的太阳总辐射、直接辐射、散射辐射、反射辐射和净辐射;
- (2)林冠层下 0.5 m 处的透射辐射;
- (3)林内灌木层上 0.5 m 处的太阳总辐射,林内灌木层下的太阳总辐射;
- (4)林内地面草本层的太阳总辐射。

1.5 生物量测算

根据样地内各径级的树木平均高和平均直径,采用回归模型 $Y = AX^B$ (Y - 器官干重; X - 树木直径; A 、 B - 常数)^[9]求得乔木层各器官的生物量及生产力。

1.6 热值测定

乔木层各器官、草本、灌木的热值测定采用国产 GR - 3500 型氧弹式热量计,每个样品测 2 ~ 3 个重复,取 2 次相对误差小于 1% 的平均值作为测定结果,求算群落中华山松每年固定的能量。

2 结果与分析

群落的能量环境是指在植物群落的生存空间中,由太阳辐射构成并控制的各种能量形式的总和。太阳辐射通过大气层吸收、反射和散射而使其强度削弱,最后到达林冠上方的太阳辐射能形成了森林群落外部能量环境;当这部分辐射能再次被林冠拦

截,吸收、反射便形成了森林内部的能量环境。

2.1 华山松人工林的外部能量环境

2.1.1 太阳辐射能分布的日变化 经测定和计算,晴天条件下太阳总辐射、直接辐射、散射辐射日变化主要受太阳高度角和大气透明度的影响。一般情况下,太阳总辐射和直接辐射的日变化规律和太阳高度角的日变化规律相似,呈单峰曲线,最大值在 12 时左右,此时太阳高度角最大,太阳辐射穿过大气厚度最小;大气透明度一般午前高于午后,导致直接辐射总量午前高于午后;散射辐射的日变化规律和总辐射与直接辐射的日变化规律基本相似。

2.1.2 辐射平衡的年变化 直接辐射、总辐射月总量最小值在 12 月,最大值在 6 月,曲线变化呈单峰型,最低出现在 12 月。辐射平衡年变化的斜率可表示春秋季节辐射平衡上升或下降的速度。斜率较大,说明春季辐射平衡上升快、秋季下降也快;变化曲线大致以 6 月为对称轴,且斜率大,表明本区春温上升和秋温下降都很迅速(图 1)。

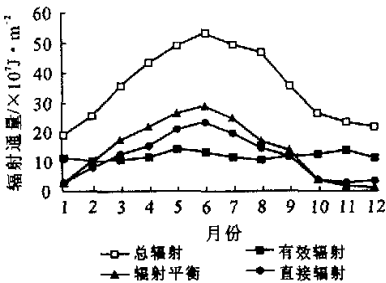


图 1 辐射平衡各分量的年变化

Fig. 1 The annual change of radiations balance of all kinds items

2.1.3 辐射平衡各分量的季总量变化 表 2 表明,直接辐射与总辐射类似,夏季大,冬季小;有效辐射以冬季最大;秋季云量多,且温度下降迅速,有效辐射最小为 $3.6 \times 10^8 \text{ J/m}^2$;辐射平衡差异较大,春季干燥,太阳辐射多,辐射平衡从冬季的 $4.28 \times 10^8 \text{ J/}$

m² 上升到 5.71×10^8 J/m², 占年辐射平衡的 33.6%; 秋季初阴雨较多, 辐射平衡急剧减小, 约占春季的一半。

表2 辐射平衡各分量的季总量变化

Table 2 Reason variations of all items of the radiation budget × 10⁷ J/m²

季节	直接辐射	总辐射	有效辐射	辐射平衡
春	41.49	117.85	38.01	57.12
夏	66.34	150.02	38.14	80.26
秋	25.75	80.14	36.04	28.39
冬	17.72	59.81	47.71	4.28
年较差	17.77	33.20	4.24	29.36

注: 1996-1998 年资料, 观测地点为宁陕。

2.2 华山松人工林的内部能量环境

2.2.1 太阳辐射能在华山松林中的分布 测定结果表明(表3), 太阳辐射能通过华山松林冠时, 不断

表3 太阳辐射在华山松群落中的垂直分布

Table 3 Vertical distribution of solar radiation in *Pinus armandi* community × 10⁷ J/m² · 月

样地	层次	总辐射	直射	散射	透射	反射
样地1	乔木上层	41.99	30.23	11.76		3.93
	乔木下层	3.14	0.96	2.45	1.98	0.10
	灌木上层	1.96	0.57	1.39	1.67	0.09
	灌木下层	1.60	0.36	1.24	1.42	0.05
	草本层	1.66	0.39	1.26		0.06
样地2	乔木上层	41.99	30.23	11.76		2.40
	乔木下层	5.21	0.88	4.33	5.03	0.11
	灌木上层	4.10	0.73	3.37	2.95	0.07
	灌木下层	2.27	0.51	1.76	1.65	0.06
	草本层	4.91	1.48	3.34		0.09

地被反射、吸收, 辐射强度逐渐下降, 其能量的垂直分布与群落的叶面积指数有关, 与季节变化有关。5

表4 华山松各器官的生物量 R_a 、热值 U 、能量 E

Table 4 Biomass, caloric value and energy of different organs for the *Pinus armandi*

项目	干	皮	枝	果	叶	根	合计	年均积累能量 /kJ · m ⁻² · a ⁻¹
U /kJ · g ⁻¹	19.125	19.837	20.932	20.043	21.118	19.28	120.484	
R_{a1} /kJ · g ⁻¹	4.559	0.677	2.525	0.306	0.726	1.506	10.30	
R_{a2} /kJ · g ⁻¹	3.039	0.451	1.682	0.204	0.484	1.004	6.87	
E_1 /kJ · g ⁻¹	87 190.875	13 429.649	52 853.300	6 133.158	15 331.668	29 035.680	203 974.330	7 284.80
E_2 /kJ · g ⁻¹	58 120.875	8 946.487	35 207.394	4 088.772	10 221.112	19 357.120	131 857.876	4 120.56

由表4可知, 样地1华山松乔木层现有生物总能量为 2.0397×10^5 kJ/m²; 样地2为 1.3186×10^5 kJ/m²。在生物总能量的分配中, 干材比例最大, 样地1和样地2分别为43%和44%; 其次为根和叶, 样地1、2各为15%和8%。

2.3.2 华山松林光能利用率 光能利用率指净初级生产过程中固定的太阳辐射能与生物能量的比率, 也可称为初级生产效率。生长季节内, 两种不同结构的群落年净积累能量分别为 7.285×10^3 kJ/m²

月份太阳辐射分布很大一部分在乔木层, 在垂直方向上, 自上而下呈下降趋势。样地1的大小顺序是: 乔木上层 > 乔木下层 > 灌木上层 > 林内草本层 > 灌木下层; 样地2为: 乔木上层 > 乔木下层 > 林内草本层 > 灌木上层 > 灌木下层。同时, 在灌木层、草本层的太阳辐射梯度不明显。在各层面太阳辐射分布中, 样地1草本层仅占3.02%, 样地2为8.79%。

2.2.2 各样地辐射能及其变化 太阳辐射到达林冠层时, 很大一部分停留在乔木层, 而反射和透射的很少。这说明乔木层对太阳辐射的截留作用很大。样地1和样地2乔木层的吸收率、透射率、反射率分别为89.3%和3.6%、7.1%和86.4%、9.1%和4.4%。密度较大的样地1乔木层对太阳辐射的截留作用和反射作用大于密度小的样地2, 而透射率小于样地2。说明相同面积条件下, 密度越大, 截留作用越明显, 相应的透射率就越小。

2.3 华山松林的光能利用率

通过研究华山松林的生物量及能量在各器官中的分配状况, 进而推算出林分对太阳能的利用率。

2.3.1 华山松林乔木层生物能量 根据森林植物群落光能利用率的计算方法, 仅考虑以乔木层为基础的光能利用率进行研究。利用表达式 $Y = AX^b$ 估算的华山松乔木层各器官的总生物量 R_a 、测定的热值 $U^{[10]}$ 和计算出能量 E 如表4。样地1华山松乔木层总生物量为 10.30 kg/m²; 样地2为 6.87 kg/m²。在地上部分中乔木器官生物量中, 干材最大, 其次为枝和根, 生殖器官(果)的比重最小。

· a⁻¹ 和 4.121×10^3 kJ/m² · a⁻¹; 生长季内华山松群落获得的总太阳辐射能 1.68×10^3 kJ/m², 净辐射 1.10×10^3 kJ/m²。以生长季内接受的太阳总辐射为基础, 群落乔木层的光能利用率分别为0.434%和0.246%; 以生长季内接受的太阳净辐射为基础, 其光能利用率则分别为0.663%和0.375%。

样地1的光能利用率大于样地2, 说明在相同面积条件下密度较大的林分光能利用率高。样地1和样地2的平均光能利用率为0.52% (以净辐射为

基础),这一数值低于丁宝永等对落叶松人工林乔木层能量利用率的测定结果(1.58%)^[4];亦低于红松人工林在生长季内以净辐射为基础的光能利用率(1.55%)^[1];接近于(尤其是样地1)充分郁闭的日本扁柏人工林的光能利用率(0.64%)^[8];与一般森林植物群落的光能转化率0.5%~1.5%(以净生产量计)相比,秦岭火地塘林区华山松林的光能利用率较低。

3 结论与讨论

3.1 结论

太阳辐射能在华山松林内垂直分布呈现乔木层>草本层>灌木层的变化规律。

生长季内,华山松群落接受的太阳总辐射为 $1.68 \times 10^6 \text{ kJ/m}^2$;太阳总辐射经过林冠再次被分配时,林冠所得的净辐射为 $1.10 \times 10^6 \text{ kJ/m}^2$ 。

2个样地中,华山松乔木层以生长季内接受的太阳总辐射为基础,群落乔木层的光能利用率分别为0.434%和0.246%;以生长季内接受的太阳净辐射为基础,其光能利用率则分别为0.663%和0.375%。

样地1的光能利用率大于样地2,说明了在一定范围内,密度较大的林分光能利用率高。

3.2 讨论

华山松群落光能利用率较低,一方面其计算是以乔木层(种群)为基础,未包括灌木、草本、凋落物及其他分量;另一方面则与样地部分林木被伐有关。在森林经营过程中应合理调节林分密度,提高林分光能利用率。

参考文献:

[1] 张彦东,卢伯松,丁冰.红松人工林能量环境与光能利用率的

研究[J].东北林业大学学报,1993,21(1):35-41.

- [2] 孙雪峰,陈灵芝.暖温带阔叶林能量环境初步研究[J].生态学报,1995,15(3):277-185.
- [3] 郭明辉,李晓敏,李英,等.天然三大硬阔林的能量环境及光能利用率研究[J].东北林业大学学报,1996,24(4):56-61.
- [4] 丁宝永,陈大珂,刘自强.落叶松人工林不同群落结构光能利用规律的研究[J].东北林业大学学报,1985,13(3):28-37.
- [5] 李俊清,柴一新,张东力.人工阔叶红松林的结构与生产力[J].林业科学,1990,26(1):1-7.
- [6] 肖文发.油松林的能量平衡[J].生态学报,1992,12(1):16-25.
- [7] 刘世荣,柴一新,蔡体久.兴安落叶松人工群落生物量与净初级生产力的研究[J].东北林业大学学报,1990,18(2):40-45.
- [8] 吴增志,矢幡久,须崎民雄,等.关于日本扁柏人工林光能利用率的研究(1)群落生产结构与现存量、生长量和光能利用率[J].植物生态学与地植物学学报,1989,13(3):208-217.
- [9] 陈存根.秦岭华山松生产力的研究[J].西北林学院学报,1984,1(1):1-17.
- [10] 王得祥,雷瑞德,尚廉斌,等.秦岭林区主要乔、灌木种类能量背景值测定分析[J].西北林学院学报,1999,14(1):54-58.
- [11] 王得祥,陈海滨,刘建军,等.秦岭华山松种群分布格局及动态研究[J].西北植物学报,1998,18(4):622-628.
- [12] 王得祥,刘建军,陈海滨.秦岭林区华山松种群结构与动态研究[J].西北林学院学报,1999,14(1):56-61.
- [13] 贺庆棠.气象学[M].北京:中国林业出版社,1988.201-206.
- [14] 董立民,刘淑明,辛继红.秦岭火地塘林场气候随海拔高度的变化[J].水土保持通报,1995,15(3):16-19.
- [15] 祖元刚.能量生态学引论[M].长春:吉林科学技术出版社,1990.
- [16] 陈明荣.秦岭气候与农业[M].西安:陕西人民出版社,1983.25-53.