

浙江天台山七子花群落主要植物种类的光合特性

金则新, 柯世省

(台州师范专科学校, 浙江临海 317000)

摘要:对分布在浙江天台山的七子花群落主要植物种类的光合生理生态特性进行了研究。结果表明:夏季,位于群落冠层上层、林窗、林缘的七子花及主要伴生植物叶片的光合日进程均呈“双峰”曲线,有明显的光合“午休”现象。而位于冠层中、下层以及林下的七子花、草本植物,其光合日进程曲线平缓。从冠层上层到下层,七子花叶片的日均净光合速率(P_n)呈下降趋势。林窗、林缘的七子花小树叶片日均 P_n 比林下大,冠层上层的七子花中树叶片与林窗、林缘的小树叶片日均 P_n 差异不显著。七子花在不同生境中与伴生植物相比,日均 P_n 较低,光合能力较弱。同一植株七子花冠层上层叶片叶绿素含量最低,下层次之,中层最高。阴生草本植物在弱光下仍有很高的叶绿素含量。植物叶片的光合能力大小与叶绿素含量高低不呈正相关。相对常绿树种而言,七子花光补偿点较高、光饱和点较低,对光适应的生态幅度较窄。

关键词:七子花群落;主要种类;光合特性;天台山

The Photosynthetic Characteristics of the Main Species of the *Heptacodium miconioides* Community in Tiantai Mountain of Zhejiang Province, China

JIN Ze-Xin, KE Shi-Sheng (Taizhou Teachers College, Linhai, Zhejiang 317000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(10): 1645~1652.

Abstract: In the last tenday period of July 2001, by using the Leaf Chamber Analyzer (type LCA-4) manufactured by ADC Bioscientific Ltd. in England, we studied the photosynthetic characteristics of the main accompanying species of *Heptacodium miconioides* community in Tiantai Mountain in Zhejiang Province. Their chlorophyll content, light compensation points (*LCP*) and light saturation points (*LSP*) were also ascertained by measuring. The results are as follows:

In summer, the curves of the diurnal photosynthetic variations in the leaves of *Heptacodium miconioides*, which is in the upper layer of the canopy, as well as those in its main accompanying species such as *Lithocarpus harlandii*, *Rhododendron fortunei*, *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* and *Fraxinus insularis*, are of the double-peak type, and show obvious “midday- depression” of the net photosynthetic rate (P_n). The curves of the diurnal photosynthetic variations in the leaves of *Heptacodium miconioides* saplings, which are in the canopy gap or the forest edge, as well as those of shrub species in the canopy gap such as *Lindera relexa* and *Camellia cuspidated*, are also of the double-peak type because of the high photosynthetic active radiation (*PAR*). The curves of the diurnal photosynthetic variations in the leaves of *Heptacodium miconioides*, which is in the middle or the lower layer of the canopy, as well as in *Heptacodium miconioides*, *Aster ageratoides* and *Althyrium niponicum* which are in the under-story, are quite level because of the low *PAR*, showing little difference between the peak and the bottom.

The daily average P_n in the leaves of the middle tree of *Heptacodium miconioides* in the upper layer of

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(399203);浙江省教育厅科研计划资助项目(19990367)

收稿日期:2001-12-10 万方数据 日期:2002-01-20

作者简介:金则新(1960~),男,浙江临海人,硕士,副教授。从事植物生态学研究。

the canopy is higher than that in the middle or lower layer of the canopy, showing extremely conspicuous variation. The daily average P_n in the leaves of *Heptacodium miconioides* saplings which are in the canopy gap and forest edge is higher than that of those in the under-story, showing extremely conspicuous variation. But the daily average P_n in the leaves of *Heptacodium miconioides* in the canopy gap and that in the forest edge are relatively close to each other, showing little variation. The variances of daily average P_n between the middle tree of *Heptacodium miconioides* in the upper layer of the canopy and the *Heptacodium miconioides* sapling in the canopy gap or the forest edge are not conspicuous. This shows that P_n is little affected by the age of the tree but greatly affected by PAR.

In the upper layer of the canopy, the daily average P_n in the leaves of *Heptacodium miconioides* is lower than that in the leaves of evergreen species such as *Lithocarpus harlandii* and *Rhododendron fortunei*. The variances between *Heptacodium miconioides* and *Lithocarpus harlandii* are extremely conspicuous, and those between *Heptacodium miconioides* and *Rhododendron fortunei* are conspicuous. The variances of daily average P_n are not conspicuous between *Heptacodium miconioides* and deciduous species such as *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* and *Fraxinus insularis*. In the shrub layer, the daily average P_n in the leaves of *Heptacodium miconioides* is lower than that in *Lindera reflexa*, with conspicuous variances; but the variances between *Heptacodium miconioides* and *Camellia cuspidated* are not conspicuous. In the under-story, the daily average P_n of *Heptacodium miconioides* is lower than that of herb species such as *Aster ageratoides* and *Althyrium niponicum*, showing extremely conspicuous variation. In the various habitats, the daily average P_n in the leaves of *Heptacodium miconioides* is of less value than that of its accompanying species.

In the same *Heptacodium miconioides* tree, the chlorophyll content in the canopy leaves in the upper layer is lowest, that in the lower layer is second lowest, and that in the middle layer is highest. The variations among them are conspicuous or extremely conspicuous. The chlorophyll content of the middle layer and that of the lower layer is 63% and 20.7% higher than that in the upper layer respectively. The changes of chlorophyll a/b ratio among them are not conspicuous. The chlorophyll content in the leaves of *Heptacodium miconioides* saplings in the canopy gap and forest edge is 60.1% and 51.6% higher than that in the under-story respectively. This indicates that the chlorophyll content in the leaves in appropriate shady habitats is higher, but at the same time the chlorophyll content is reduced in forests of little transparency and weak light. Shade herb species still have very high chlorophyll content in forests of very weak light. Among the different species in the upper layer of the canopy, the chlorophyll content in *Lithocarpus harlandii* is highest, whereas that in *Heptacodium miconioides* and *Rhododendron frotunei* is relatively low. Among the different species in the shrubs, the chlorophyll content in *Camellia cuspidated* is relatively high, and that in *Heptacodium miconioides* and *Lindera reflexa* is relatively low. The chlorophyll content in the leaves of the different layers of the same plant is not positively correlated to P_n , and neither is the chlorophyll content in the leaves of different species.

The LCP and LSP in *Heptacodium miconioides* leaves in the upper layer of the canopy are higher than that in the middle and lower layers. The LCP and LSP in the canopy gap or forest edge are both higher than those in the under-story. The LCP and LSP of herbs such as *Aster ageratoides* and *Althyrium niponicum* are lower than those in other plants. Compared with evergreen species, *Heptacodium miconioides* has high LCP and low LSP, which shows that *Heptacodium miconioides* likes light, does not endure either shade or strong light, and therefore has a narrow ecological scope to adapt to light.

Key words: 万寿菊 *Heptacodium miconioides* community; main species; photosynthetic characteristics; tiantai mountain

文章编号:1000-0933(2002)10-1645-08 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

七子花(*Heptacodium miconioides*)为我国特有的落叶小乔木,属忍冬科的单种属植物,是国家首批 2 级重点保护植物,也是我国生物多样性保护行动计划中优先保护物种。它在研究忍冬科系统发育方面有科学价值,又是优良的观赏树种。它们多生于悬崖峭壁、沟谷和山坡灌丛,分布范围窄,现资源极少。作者曾对分布在浙江省天台山的七子花群落特征和种群结构作了初步研究^[1, 2],对该群落结构、种群动态以及濒危现状有了初步的认识;七子花种群的龄级不完整,年龄结构为衰退型,在样地中天然更新困难等。但是由于缺少生理生态工作,无法了解造成七子花濒危的原因。七子花如此狭窄的地理分布与其自身的生理生态学特点必定有着密不可分的关系。由于植物生理生态学是把植物生长的环境因子与生理过程有机地结合起来,所以对濒危植物进行生理生态学的研究能够从一个侧面揭示植物濒危的原因和机理,而光合作用又是植物最重要的生理过程,是评价植物第一生产力的标准之一。本文从光合生理生态入手,对同一植株不同层次、不同生境的七子花叶片净光合速率、叶绿素含量、光补偿点和光饱和点等进行测定,并与伴生植物相比较,探讨七子花的光合特性及致濒机理,为濒危植物七子花的保护与持续利用提供依据。

1 研究地区自然概况

研究地区位于浙江省天台山主峰华顶山,地理位置为 29°15'N、121°06'E。有关其自然概况已有报道^[1, 2],这里不再重复。样地位于华顶山黄经洞附近,海拔 930 m,年降水量为 1 700 mm,平均相对湿度达 85%以上,年平均气温 13 ℃,无霜期约 230 d。

2 材料和方法

用作测定光合特性的材料 (1)在七子花群落内选择生长正常的七子花中树(*dbh*. 13cm),对其树冠分上、中、下 3 层进行测定;(2)选取树龄相似、高度 1.5 m 左右、分布在不同生境中的七子花小树,测定冠层上层叶片的光合特性;(3)选取与七子花伴生的落叶树种苦枥木(*Fraxinus insularis*)、短柄 (*Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*),常绿树种东南石栎(*Lithocarpus harlandii*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*),灌木层优势种尖连蕊茶(*Camellia cuspidatd*)、山 (*Lindera reflexa*),草本层三脉紫菀(*Aster ageratoides*)、华东蹄盖蕨(*Althyrrium niponicum*)等进行测定。

叶绿素含量测定 取与测定光合作用相同位置和发育阶段叶片,应用 Arnon 法^[3],岛津 UV2401PC 型紫外分光光度计测定,每次各测 5 个样叶,每个样叶重复测 3 次,结果取平均值。

光补偿点(*LCP*, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)和光饱和点(*LSP*, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)测定 在实验室控制条件下,以碘钨灯作为光源,使用英国 ADC 公司生产的 LCA-4 型便携式全自动光合测定系统进行测定。采用开放式气路,通过改变光源光照强弱控制光合有效辐射(*PAR*, $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)。为防止温度过高,让光线透用过有机玻璃制成的装水的水箱再照射到叶室上。每次测定前,根据预测试结果用适宜光强进行诱导,时间约为 30 min。每次测试 5 个样叶。

净光合速率(*P_n*, $\mu\text{molCO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)测定 自然条件下不离体用 LCA-4 型光合测定系统进行测定。为有效减少因叶室而改变了测定叶周围的水气条件而造成的实验误差,用其开放系统测定。于 2000 年 7 月下旬选择晴朗天气进行光合作用测定,从 6:00~18:00 每隔 1 h 测定 1 次,持续测定 2 min 稳定后记录数据,每次测定 5 个样叶,每个样叶各测 3 次,结果取平均值。并同步测定 *PAR*、空气温度(*T*, ℃)、空气相对湿度(*RH*, %)。

3 结果与分析

3.1 七子花冠层不同层次叶片净光合速率日变化

七子花冠层不同层次叶片 *P_n* 日进程见图 1,从中可以看出,上层叶片的光合日进程呈典型的“双峰”曲线。第 1 峰出现在上午 10:00,谷底出现在 13:00,其值仅为第 1 峰的 29.3%,第 2 峰出现在 15:00,其值为第 1 峰的 74.2%。中层叶片 *P_n* 日进程为“单峰”曲线,峰值出现于 12:00~13:00,但曲线平缓,峰值不明显。下层叶片 *P_n* 日进程很平缓,近似一直线。比较它们的日均 *P_n*(图 3),其大小顺序为上层>中层>下层。并利用成组数据平均数 *t* 检验法^[4]来检验各层次日均 *P_n* 平均数差异的显著性,结果 3 层之间的差异均

极显著,上层比中层高 3.17 倍,比下层高 9.53 倍。从七子花树冠 3 个层次叶片 P_n 日变化来看,随着高度的降低,郁闭度增大, PAR 下降,各时刻 P_n 有递减趋势,光合作用时间也逐渐缩短,光合产物积累和能量转化效率减少。

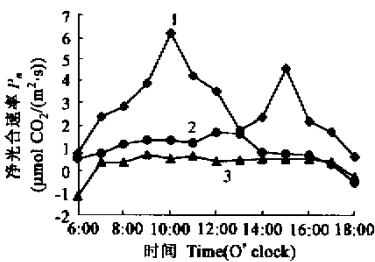


图 1 七子花冠层不同层次叶片净光合速率日变化
Fig. 1 The diurnal variations of net photosynthetic rates in leaves of *Heptacodium miconioides* in different layers of canopy
1. 上层 Upper layer 2. 中层 Middle layer 3. 下层 Lower layer

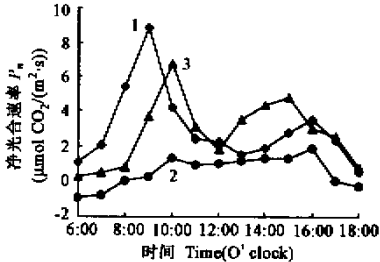


图 2 不同生境七子花净光合速率日变化
Fig. 2 The diurnal variations of net photosynthetic rates in leaves of *Heptacodium miconioides* in different habitats
1. 林窗 Canopy gap 2. 林下 Understory 3. 林缘 Forest edge

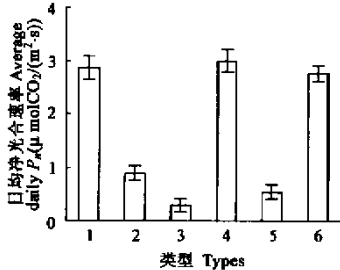


图 3 不同类型七子花日均净光合速率
Fig. 3 The average daily P_n in leaves of *Heptacodium miconioides* in different types
1. 上层 Upper layer 2. 中层 Middle layer 3. 下层 Lower layer 4. 林窗 Canopy gap 5. 林下 Understory 6. 林缘 Forest edge

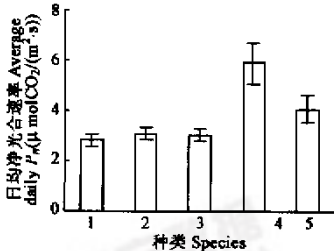


图 4 七子花及伴生植物冠层上层日均净光合速率
Fig. 4 The average daily P_n in leaves of *Heptacodium miconioides* and its accompany species in upper layer of canopy
1. 七子花 *Heptacodium miconioides* 2. 短柄 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* 3. 苦枥木 *Fraxinus insularis* 4. 东南石栎 *Lithocarpus harlandii* 5. 云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*

3.2 不同生境七子花净光合速率日变化

对分布在不同生境中的七子花小树冠层上层叶片 P_n 进行测定,结果如图 2 所示。林窗中的七子花,其 P_n 日进程为“双峰”曲线,第 1 峰在 9:00,谷底在 13:00,第 2 峰在 16:00。林缘中的七子花,其 P_n 日进程也表现为“双峰”曲线,但在 9:00 前由于部分遮荫, P_n 值较低,以后迅速提高,到 10:00 出现第 1 峰,谷底在 12:00,到 15:00 出现第 2 峰。林下七子花的 P_n 很低,曲线平缓。从日均 P_n 的大小可以看出(图 3),分布在林窗、林缘的七子花,由于有较强的 PAR ,它们的日均 P_n 大于林下,差异均极显著,林窗、林缘分别比林下大 5.56 倍、5.13 倍。而分布在林窗和林缘的日均 P_n 较接近,差异不显著。此外,中树冠层上层的叶片与分布在林窗、林缘的小树叶片,由于都有较强的 PAR ,其日均 P_n 差异不显著。说明 P_n 大小受树龄影响很小,受 PAR 影响更明显。

3.3 七子花与主要伴生植物净光合速率比较

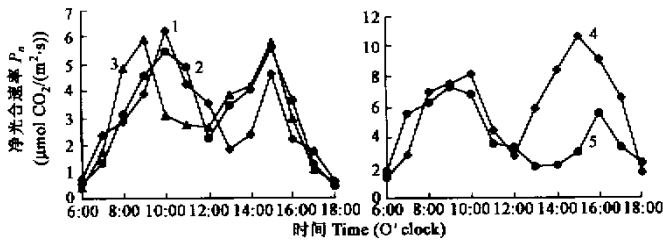


图 5 七子花及伴生植物冠层上层净光合速率日变化

Fig. 5 The diurnal variations of net photosynthetic rates in leaves of *Heptacodium miconioides* and its accompany species in upper layer of canopy

1. 七子花 *Heptacodium miconioides* 2. 短柄 *Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata* 3. 苦枥木 *Fraxinus insularis* 4. 东南石栎 *Lithocarpus harlandii* 5. 云锦杜鹃 *Rhododendron fortunei*

3.3.1 七子花与伴生植物冠层上层叶片净光合速率比较 比较七子花与其伴生植物冠层上层叶片日均 P_n (图 4) 可以看出, 东南石栎、云锦杜鹃等常绿树种的日均 P_n 均比落叶树种大, 其中东南石栎与七子花等落叶树种差异极显著, 云锦杜鹃与落叶树种差异显著。常绿树种中东南石栎显著大于云锦杜鹃, 落叶树种中七子花与短柄、苦枥木的差异不显著。从图 5 可以看出, 七子花及伴生植物短柄、苦枥木、东南石栎、云锦杜鹃等植物冠层上层叶片的 P_n 日进程均表现为“双峰”曲线, 第 1 峰出现在 9:00~10:00, 第 2 峰出现在 15:00~16:00, 谷底在正午前后。第 1 峰峰值最高的是东南石栎, 最低的是短柄; 第 2 峰也是东南石栎最高, 最低的是七子花。

3.3.2 七子花与灌木种类净光合速率比较 在良好 PAR 的林窗生境, 七子花、山、尖连蕊茶的光合日进程均为“双峰”型 (图 6), 第 1 峰在 9:00, 第 2 峰在 15:00~16:00, 与乔木冠层上层相似。比较它们的日均 P_n (图 7), 七子花小树比山低, 差异显著。虽然比尖连蕊茶高, 但差异不显著, 加上七子花是落叶树种, 到 10 月下旬以后叶片开始衰老并逐渐脱落, 在晚秋到早春期间完全没有光合产生, 而尖连蕊茶是常绿植物, 冬天也有一定的净光合, 因而七子花全年的光合量并不比尖连蕊茶高。

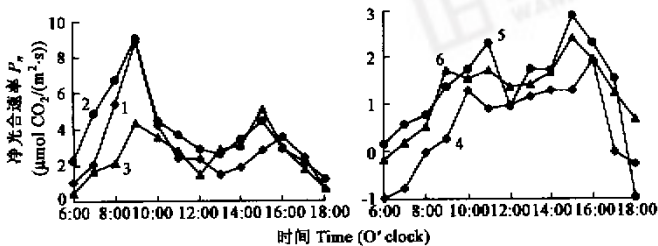


图 6 灌木层、草本层植物净光合速率日变化

Fig. 6 The diurnal variations of net photosynthetic rates in leaves of the species in shrub layer or herb layer

1. 七子花 *Heptacodium miconioides* 2. 山 *Lindera reflexa* 3. 尖连蕊茶 *Camellia cuspidatd* 4. 七子花 *Heptacodium miconioides* (林下 Understory) 5. 三脉紫菀 *Aster ageratoides* 6. 华东蹄盖蕨 *Althyrrium niponicum*

3.3.3 七子花与草本植物净光合速率比较 在 PAR 较弱的林下生境, 七子花小树及草本植物三脉紫菀、华东蹄盖蕨的光合日进程虽然也表现为“双峰”曲线 (图 6), 但曲线较平缓, 峰和谷差值不大。在林下, 七子花日均 P_n (图 7) 比三脉紫菀、华东蹄盖蕨均低, 差异极显著。

3.4 七子花与伴生植物叶绿素含量比较 对七子花及主要伴生植物叶绿素含量进行测定 (表 1), 从中可知, 七子花冠层中层叶绿素含量最高, 下层次之, 上层最低, 中层与上层、下层间的差异均极显著, 下层

与上层间的差异显著,中层和下层分别比上层高 63.1%和 20.7%。上、中、下 3 层之间的叶绿素 a/b 值差异不显著。同样,林窗、林缘的七子花小树的叶绿素含量显著高于林下,它们分别比林下高 60.1%、51.6%。这表明适度遮荫的生境叶绿素含量高,但如果在郁闭度很高,透光率很小的林下,叶绿素含量反而下降。阴生草本植物即使在林下也有较高的叶绿素含量。

树冠上层不同种类叶绿素含量也有较大变化(表 1),东南石栎的叶绿素含量较高,七子花、云锦杜鹃较低。植物叶片光合能力大小与叶绿素含量高低不呈正相关,叶绿素含量低的种类光合能力不一定弱,如云锦杜鹃的叶绿素含量较低,但日均 P_n 较高。

3.5 光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)

表 2 表明,七子花植株冠层上层叶片 LCP、LSP 均比中层、下层高,差异显著或极显著。同样,分布于林窗、林缘处的七子花 LCP、LSP 均比林下高,差异极显著。三脉紫菀、华东蹄盖蕨的 LCP、LSP 均低于其它植物,属于耐阴植物。阴生叶的呼吸一般要比阳生叶小,其光合作用在相当低的光强下就可得到补偿;此外,阴生叶能更好地利用弱光,并且迅速地达到其 LSP。对于位于冠层上层的不同种类叶片,其 LCP、LSP 存在较大的差异(表 2),相对常绿树种而言,七子花的 LCP 较高,LSP 较低,表明其光能利用能力较弱,对光适应的生态幅度较窄。同在林窗下,常绿植物尖连蕊茶比七子花、山对光适应的生态幅宽。由于七子花 LCP 较高,在光照较弱的林下,七子花种苗常因光照不足而死亡,故一般在林下很少见到低于 1 m 的幼苗。同样,短柄、苦槠木等种类由于 LCP 较高,在林内也很少见到幼苗,而常绿树种东南石栎等因 LCP 较低,其种苗在林内能发育成幼苗,并进一步发育成幼树。

表 1 七子花及主要伴生植物叶片叶绿素含量

Table 1 Chlorophyll content in leaves of <i>Heptacodium miconioide</i> and its main accompany species					
层次 Layer	种类 Species	叶绿素含量 Chlorophyll content(mg/g FW)			
		叶绿素 a Chl. a	叶绿素 b Chl. b	叶绿素 a+b Chl. a+b	叶绿素 a/b Chl. a/b
冠层上层 Upper layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	1.65±0.12	0.76±0.04	2.41±0.14	2.17±0.14
	东南石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	2.90±0.22	1.44±0.13	4.43±0.34	2.01±0.04
	云锦杜鹃 <i>Rhododendron fortunei</i>	1.51±0.13	0.70±0.11	2.21±0.20	2.16±0.08
	短柄 <i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	1.98±0.16	0.82±0.11	2.80±0.26	2.41±0.13
	苦槠木 <i>Fraxinus insularis</i>	1.92±0.12	0.86±0.10	2.78±0.22	2.23±0.13
冠层中层 Middle layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	2.64±0.15	1.29±0.12	3.93±0.27	2.05±0.07
冠层下层 Lower layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	1.96±0.19	0.95±0.14	2.91±0.32	2.06±0.12
灌木层(林窗) Shrub layer in canopy gap	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	1.69±0.11	0.76±0.08	2.45±0.19	2.22±0.14
	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidatd</i>	1.93±0.14	0.95±0.14	2.88±0.27	2.03±0.15
	山 <i>Lindera reflexa</i>	1.70±0.13	0.78±0.10	2.48±0.23	2.18±0.13
灌木层(林下) Shrub layer in understory	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	1.07±0.15	0.46±0.09	1.53±0.24	2.33±0.17
灌木层(林缘) Shrub layer in forest edge	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	1.59±0.12	0.73±0.09	2.32±0.20	2.18±0.12
草本层 Herb layer	三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	2.96±0.14	1.62±0.15	4.58±0.29	1.83±0.09
	华东蹄盖蕨 <i>Althyrrium niponicum</i>	2.65±0.15	1.27±0.11	3.92±0.26	2.09±0.06

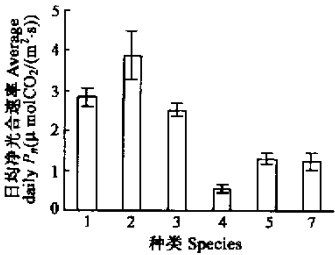


图 7 灌木层、草本层植物日均净光合速率

Fig. 7 The average daily net photosynthetic rates in leaves of the species in shrub layer or herb layer

1. 七子花 *Heptacodium miconioide* 2. 山 *Lindera reflexa* 3. 尖连蕊茶 *Camellia cuspidatd* 4. 七子花 *Heptacodium miconioide* (林下 Understory) 5. 三脉紫菀 *Aster ageratoides* 6. 华东蹄盖蕨 *Althyrrium niponicum*

表 2 七子花及主要伴生植物的光补偿点和光饱和点

Table 2 Light compensation point and light saturation point in leaves of *Heptacodium miconioides* and its main accompany species

层次 Layer	种类 Species	光补偿点 Light compensation point ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	光饱和点 Light saturation point ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)
冠层上层 Upper layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	28±3.03	1445±41.99
	东南石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	12±2.86	1690±52.02
	云锦杜鹃 <i>Rhododendron fortunei</i>	20±2.55	1582±54.22
	短柄 <i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>	41±4.47	1427±31.80
	苦枥木 <i>Frazinus insularis</i>	30±4.64	1377±38.12
冠层中层 Middle layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	23±2.39	1356±24.65
冠层下层 Lower layer of canopy	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	22±1.92	1319±20.91
灌木层(林窗) Shrub layer in canopy gap	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	33±3.35	1561±39.97
	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidatd</i>	25±1.92	1658±38.75
	山 <i>Lindera reflexa</i>	39±2.39	1500±46.75
灌木层(林下) Shrub layer in understory	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	19±1.87	949±20.67
灌木层(林缘) Shrub layer in forest edge	七子花 <i>Heptacodium miconioides</i>	30±2.78	1339±26.43
草本层 Herb layer	三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	13±1.48	882±23.95
	华东蹄盖蕨 <i>Althyrium niponicum</i>	12±1.22	733±19.61

4 讨论

光合作用是一个十分复杂的生理过程,叶片光合效率与自身因素如叶绿素含量、叶片厚度、叶片成熟程度密切相关,又受光照强度、气温、空气相对湿度、土壤含水量等外界因子影响。夏季,七子花及伴生植物东南石栎、云锦杜鹃、短柄、苦枥木等植物冠层上层叶片光合日进程均呈“双峰”型,位于林缘、林窗的七子花小树以及灌木种类山、尖连蕊茶等植物的光合日进程也呈“双峰”型,中午出现了明显的光合“午休”现象。这是由于夏季亚热带地区的气温和光照强度都很高,但在上午气温相对较低,叶片含水量充足,随着环境 PAR 、温度的升高, P_n 也不断升高,到 9:00~10:00 左右出现第 1 峰,随着 PAR 、温度的继续升高, P_n 反而下降。中午时分,气温高、蒸腾强,叶片水分减少,气孔部分关闭,造成光合作用原料即胞间 CO_2 浓度降低^[5, 6], P_n 下降;也可能是在晴天长时间高光强下,发生光抑制^[7]和光呼吸加强^[8~10],从而导致 P_n 下降。午后随着温度下降、空气相对湿度上升, P_n 不断升高,到 15:00~16:00 左右出现第 2 峰。以后 PAR 减弱,温度继续降低, P_n 不断下降。在林内由于上层叶片的遮荫作用,到达冠层中层、下层以及林下的光线较弱,且温度较低,湿度较高,形成局部相对稳定的环境,因此它们的光合日进程曲线变化平缓,峰和谷差值不大。

P_n 决定着植物物质积累能力的高低,在一定程度上也决定着植物生长的快慢,在亚热带东部这样一个水热条件较为丰富的地区,植物生长的快慢是其在群落中占领空间取得优势地位的重要条件^[11]。从七子花与其它伴生植物光合能力的大小可以看出,七子花叶片日均 P_n 比常绿树种东南石栎、云锦杜鹃都要低,与落叶树种短柄、苦枥木差异不显著,表明七子花的光合能力比常绿树种弱。加上落叶树种生长期短,从晚秋到早春期间完全没有光合产生,而常绿树种在 8 月份达到一年中的光合高峰后, P_n 的下降幅度要低于落叶树种,即使在冬天,也有一定的 P_n ^[12],因而在亚热带地区,常绿阔叶树种有一定的生长优势。由于七子花在群落中 P_n 处于中下水平,且树冠比较稀疏,叶量不大,使得七子花植株的总光合量较小,物质积累能力低,生长速度慢,在群落中很难占领空间取得优势地位。

从冠层上层到下层,七子花的日均 P_n 呈下降趋势。叶片光合能力的差异与其所处的光环境有关,通常上层叶片光照条件优越,因而日均 P_n 较高;而中、下层叶片长期处于被遮荫状态,一天中很少时间能获得较高的辐射光,故日均 P_n 较低。

树冠的不同部位、不同生境以及不同种类植物叶绿素含量有较大差异,一般地适度遮荫的树冠中层叶

片的叶绿素含量比上层高,但如果在群落郁闭度很高、光线很弱的林下,则叶绿素含量反而下降。这是由于树冠上层强光照射的过剩能量使得部分激发态的叶绿素不能及时通过激发能传递和光化学反应予以猝灭,同环境中的分子氧反应,生成单线态氧,引起叶绿素的漂白^[6],因而叶绿素含量较低。陆生阳生植物在弱光环境下不利于叶绿素的合成和叶绿体的发育,使得林下七子花叶片叶绿素含量很低。但阴生草本植物长期光适应的结果,其叶绿素含量的变化规律与阳生植物不同,在弱光下仍有较高的叶绿素含量。叶绿素含量高低与 P_n 大小不呈正相关。

植物的光补偿点(LCP)与光饱和点(LSP)反映了植物对光照条件的要求,一般地 LCP 、 LSP 均较低是典型的耐荫植物,反之是典型的阳性植物。 LCP 较低、 LSP 较高的植物对光环境的适应性很强,而 LCP 较高、 LSP 较低的植物对光照的适应范围相对较窄。相对常绿树种而言,七子花的 LCP 较高,表明七子花不耐荫,在林内其幼苗生长处于不利地位,常因光合不足而饥饿死亡,并且七子花种子休眠期长,萌发率极低^[13],因而群落中缺乏幼苗,幼树也极少,种群天然更新困难,这可能导致该种群成为濒危物种的原因之一。而 LSP 较低,可知七子花也不耐强光,对光适应的生态幅度较窄。七子花冠层上层叶片的 LCP 、 LSP 大于中层,下层最低,说明同一植物不同部位叶片对于光照强度有了适应和分化,冠层上层叶片具有强光利用能力,而中、下部具有弱光利用能力。此外同种植物由于分布在不同生境中对光照强度也出现了不同程度的适应和分化。

七子花分布范围狭窄,种群日趋缩小,濒危程度日益加重,在模式标本产地湖北兴山后来未能采到七子花标本就是一例子^[13]。造成七子花目前濒危状况的原因很多,既有由于人类的过度樵采使个体数锐减,也与其自身生存能力的强弱有关。在自然状况下,该种光合能力弱,植株生长缓慢;对生境的要求较为独特,性喜光,不耐荫蔽,也不耐强光,对光适应的生态幅度较窄,这些都从一个侧面反映了七子花在群落中的竞争能力较弱,在生存竞争中处于不利地位。此外,也与该种群对合适生境的扩散能力有关,有关这方面还将作进一步研究。

参考文献

- [1] Jin Z X(金则新). A study on *Heptacodium miconioides* community in the Tiantai Mountains of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报), 1998, **18**(2): 127~132.
- [2] Jin Z X(金则新). A study of population structure and distribution pattern of *Heptacodium miconioides* in Tiantai Mountain, Zhejiang. *Chinese Journal of Ecology*(in Chinese) (生态学杂志), 1997, **16**(4): 15~19.
- [3] Zhang Z L(张志良). *Experiment guide of photophysiology*(in Chinese). Beijing: Higher Education Press, 1990. 65~91.
- [4] Li C X(李春喜), Wang W L(王文林). *Biological statistics*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1997. 48~51.
- [5] Jiang G M(蒋高明), He W M(何维明). Species and habitat-variability of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of different plant species in Maowusu Sand Area. *Acta Botanica Sinica*(in Chinese)(植物学报), 1999, **41**(10): 1114~1124.
- [6] Farquhar S P and Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, **33**: 317~345.
- [7] Xu D Q(许大全), Shen Y G(沈允钢). Limited elements of photosynthesis. In: Yu S W(余叔文), Tang Z C(汤章城) ed. *Photophysiology and Molebiology*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 262~276.
- [8] Song J M(宋建明), Tian J C(田纪春), Zhao S J(赵世杰), et al. Photosynthetic characteristics in flag leaves of high protein wheat cultivars under strong irradiance stress around noon. *Acta Phytophysiological Sinica* (in Chinese)(植物生理学报), 1999, **25**(3): 209~213.
- [9] Zozaki A and Takeba G. Photorespiration protects C3 plant from photooxidation. *Nature*, 1996, **384**: 557~560.
- [10] Zelitch I. Control of plant production by regulation of photorespiration. *Bioscience*, 1992, **42**: 510~516.
- [11] Ding S Y(丁圣彦), Song Y C(宋永昌). The comparison of photosynthesis physi-ecology of evergreen broad-leaved forest of Tiantong National Forest Park in Zhejiang Province, China. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19**(3): 318~323.
- [12] Chang J(常杰), Ge Y(葛滢), Chen Z H(陈增鸿), et al. Characteristics of the leaf net photosynthesis of the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca* and their significance in coenology. *Acta Phytocologica Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1999, **23**(5): 393~400.
- [13] Xu G D(徐根娣), Liu P(刘鹏), Li P(厉萍). The explosion about the methods for protecting germ plasm source of *Heptacodium miconioides* Rehd. *Journal of Zhejiang Normal University (Net. Sci.)*(in Chinese)(浙江师大学报(自然科学版)), 1998, **21**(1): 71~76.