

文章编号: 1000-5692(2002)03-0247-04

湿地松等 3 种树种的光合特性 及其与环境因子的关系

岳春雷, 高智慧, 陈顺伟

(浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 采用红外线二氧化碳分析仪闭路气流法于夏季晴天测量湿地松、杜英和杨梅等的光合特性和光合日进程, 并同步测定光合有效辐射强度、气温和空气相对湿度对光合日进程的影响。研究结果如下: 湿地松、杜英和杨梅的光补偿点分别为 86, 34 和 45 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 饱和点分别为 1 200, 760 和 1 050 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 表观量子产额分别为 0.020 3, 0.053 1 和 0.038 8; 最大净光合速率分别为 7.15, 12.50 和 7.85 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。根据对光补偿点、饱和点、表观量子产额和最大净光合速率的分析, 湿地松、杜英和杨梅均为阳性植物, 湿地松对光强的生态适应范围最广, 对强光的适应性最强, 杜英对光强的生态适应范围偏窄, 对弱光的利用效率最高; 它们的光合日进程曲线为双峰曲线类型, 存在“光合午休”现象, 光合午休可能是高温和低湿造成的。通径分析表明, 对湿地松和杨梅光合日变化直接影响最大的生态因子是气温, 其次是空气相对湿度和光合有效辐射强度; 对杜英的光合日变化影响较大的生态因子是空气相对湿度和气温。图 2 表 3 参 10

关键词: 湿地松; 杜英; 杨梅; 光合作用; 环境因子

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A

树木光合作用对碳的同化积累是树木生长和生产力形成的基础。由于不同树种具有不同的光合特征, 因此在造林时, 应根据立地条件选择适宜树种和合理的配置模式。在沿海岩质海岸防护林体系建设中, 湿地松 *Pinus elliottii*、杨梅 *Myrica rubra* 和杜英 *Elaeocarpus sylvestris* 常被用作造林树种^[1,2], 但对它们的光合生理生态学特征尚缺乏了解。对其光合特性、光合日进程及与环境因子关系的研究, 可为确定合理的配置模式和林木生产力估算提供科学的理论依据。

1 实验材料与方法

供试材料为 2 年生的盆栽湿地松、杜英和杨梅植株。花盆放置于浙江大学生命科学学院的实验地上, 花盆直径 20 cm, 土壤厚度为 15 cm。植株在自然条件下正常生长, 适量补充水分。

光合日进程测试在 7 月中旬晴天进行, 测试连续进行 3 d。从 8:00 至 17:00 每隔 1 h 测定光合速率, 重复 3 次, 并同步测定光合有效辐射强度、气温和空气相对湿度。测试时尽可能保持叶片在植株上的自然受光态势。光合速率采用红外线二氧化碳分析仪 (GHX305 型) 闭路气流法测定, 叶面积用光电式叶面积仪测定。

收稿日期: 2001-10-18; 修回日期: 2002-02-20

基金项目: “九五”国家攻关项目(96-007-03-003); “十五”国家攻关项目(2002BA516A16-14)

作者简介: 岳春雷(1969-), 男, 河南永城人, 助理研究员, 博士, 从事环境工程研究。

在实验室,以碘钨灯作为光源,通过改变光源与被测植株的距离来控制光合有效辐射强度,在不同光照强度下测试瞬时净光合速率。每次测试前,根据预测试结果,用适宜光强进行光诱导,诱导时间为30 min。对光响应曲线的直线部分进行线性回归分析,求得表观量子产额,方法参考文献[3]。

为便于深入分析环境因子对光合日变化的直接影响、环境生态因子之间的相互作用及其对光合日变化的间接效应,本文除采用相关分析外,还引入了通径系数分析的方法。通径系数能够有效地表示相关变量间原因对结果的直接影响效应,估计出原因因素对效应因素的间接效应,从而能直接比较各原因因素的相对重要性,使多变量资料的统计分析更符合实际^[4]。

2 结果与分析

2.1 湿地松、杜英和杨梅的光合特点

湿地松、杜英和杨梅的光合特点如表1所示。根据对光饱和点、光补偿点和最大光合速率分析,并参考前人的研究资料^[5],湿地松、杜英和杨梅均属于阳生植物,适宜于在强光下生长。但它们在光补偿点、光饱和点、表观量子产额和最大光合速率之间存在明显的差异。杜英的光补偿点和光饱和点均最低,表观量子产额最大,说明它对光强的生态适应范围偏窄,但对弱光的利用效率较高,对弱光的忍耐程度大于湿地松和杨梅;湿地松的光补偿点和光饱和点最高,表观量子产额最低,说明湿地松对光强的生态适应范围较广,对强光的适应性最强,对弱光的利用效率小于杜英和杨梅。

2.2 湿地松、杜英和杨梅的光合日进程特点

在夏季晴天,湿地松、杜英和杨梅的光合日进程均为午间降低型(图1),但它们的光合日进程有差异。杜英的光合日进程曲线属于典型的双峰曲线类型,光合午休现象明显。湿地松和杨梅的光合速率在

午间降低幅度却较小。它们的光合峰值出现的时间也不完全一致,湿地松和杨梅的第1次光合峰值出现在9:00左右,杜英的第1次光合峰值出现在10:00左右。在12:00至13:00左右,它们的光合速率降到最低,在14:00~15:00点左右出现第2次光合峰值。第2次光合峰值低于第1次峰值,15:00以后光合速率随着光合有效辐射强度的下降而下降。

光合作用的午间降低是自然界普遍存在的现象,不同的学者对此有不同的解释^[6,7]。但绝大多数人认为,光合作用的午间降低主要是外界生态因子的影响而引起的^[8]。湿地松、杜英和杨梅“光合午休”是高温和低湿导致的。在夏季晴天,中午气温高达37℃以上,空气相对湿度下降到40%左右(图2),导致叶-气水汽浓度差增大。为减少水分过度消耗,气孔将随之收缩,使得光合速率下降。

2.3 生态因子对光合日进程的影响

湿地松、杜英和杨梅的光合速率与光合有效辐射、气温和空气相对湿度之间的相关关系如表2所示。湿地松光合速率与光合有效辐射有显著正相关关系;与气温有正相关关系,与湿度有负相关,但其关系没有达到

表1 湿地松、杜英和杨梅的光合特性

Table 1 The photosynthetic characteristics of *Pinus ellittii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra*

树种	光补偿点/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	表观量子产额	最大净光合速率/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
湿地松	86	1 200	0.020 3	7.15
杜英	34	760	0.053 1	12.50
杨梅	45	1 050	0.038 8	7.85

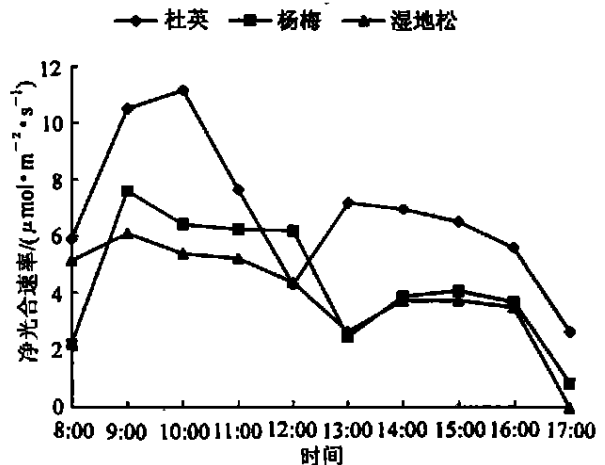


图1 湿地松、杜英和杨梅的光合日进程

Figure 1 The photosynthetic diurnal development of *Pinus ellittii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra*

显著性水平。根据通径系数分析结果 (表 3), 光合有效辐射对光合速率日变化的直接效应是较大的, 它通过气温对光合速率的间接效应是负效应, 这说明随着光合有效辐射的增加, 温度的增加, 导致了高温抑制。湿度对光合速率的作用也为负效应。由湿地松净光合速率日变化与环境因子的直接通径系数看, 对光合速率直接影响最大的因子是气温, 其次是空气相对湿度, 最后才是光合有效辐射强度。

杜英的净光合速率与光合有效辐射、气温和空气相对湿度之间没有达到显著相关水平 (表 2)。通径系数分析结果 (表 3) 表明, 光合有效辐射对光合速率的直接效应是比较小的, 光合有效辐射主要是通过湿度和气温间接地影响杜英光合速率的日变化。气温和相对湿度对光合作用的效应为负效应, 二者对光合作用的直接效应几乎相等。通过比较生态因子的直接通径系数可以看出, 对杜英光合速率日变化影响较大的生态因子为空气相对湿度和气温, 光合有效辐射的影响居于次要地位。

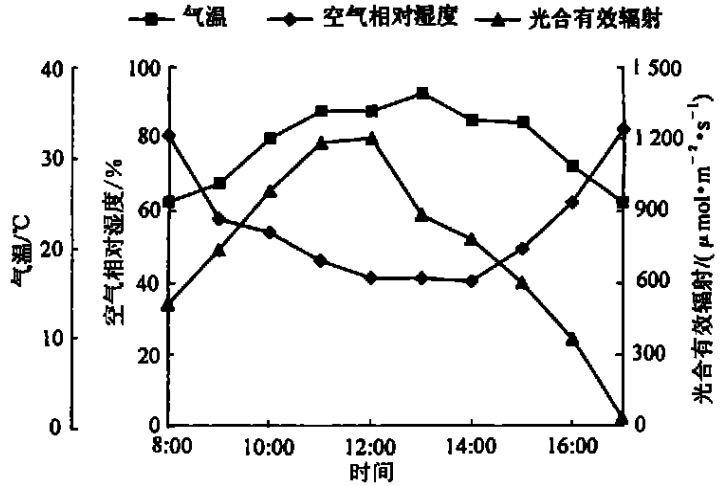


图 2 光合有效辐射强度、气温和相对湿度的日变化
Figure 2 Photosynthetic active radianca, air temperature and reative humidity

表 2 3 种树种光合速率与光合有效辐射强度、气温和相对湿度的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between net photosynthetic rate and photosynthetic active radianca, air temperature and relative humidity

树种	光合有效辐射强度	气温	空气相对湿度
湿地松	0.708 6*	0.203 2	-0.374 8
杜英	0.397 2	0.158 4	-0.310 8
杨梅	0.731 3*	0.274 6	-0.507 2

说明: *表示在 0.05 水平上显著相关

表 3 3 种树种光合速率日变化与生态因子的通径系数分析

Table 3 Path coefficient analysis of diurnal changes of photosynthesis

树种	生态因子	直接通径系数	间接通径系数		
			光强	气温	相对湿度
湿地松	光强	0.837 0		-0.724 9	0.596 6
	气温	-1.144 5	0.530 2		0.817 6
	相对湿度	-0.874 2	-0.596 5	1.070 4	
杜英	光强	0.337 2		-0.660 5	0.720 5
	气温	-1.042 8	0.213 4		0.987 6
	相对湿度	-1.055 9	-0.104 8	0.9753	
杨梅	光强	0.706 3		-0.992 9	1.107 2
	气温	-1.567 5	0.447 4		1.394 4
	相对湿度	-1.490 9	-0.481 9	1.4660 8	

杨梅的净光合速率与光合有效辐射有显著正相关 (表 2)。但通径系数分析 (表 3) 表明, 它对光合作用的直接效应小于通过空气相对湿度和气温而间接对光合速率的影响, 也小于气温和相对湿度对光合作用的直接效应。对杨梅光合速率日变化直接影响最大的生态因子是气温, 其次是相对湿度, 最后是光合有效辐射强度。

3 讨论

根据光补偿点和饱和点分析, 湿地松、杜英和杨梅均为阳生植物, 不宜在弱光生境下生长。因此, 在营建防护林时, 应选择光照比较充足的立地类型。选择混交模式时, 应充分考虑混交树种的光合特性。由于杨梅的成年植株的高度小于湿地松和杜英, 因此在营建湿地松和杨梅混交林和杜英杨梅混交林时, 应提倡块状混交, 保持杨梅与杜英或湿地松有较大株距。湿地松和杜英的高度相差不大, 相互之间不会产生庇荫, 可以进行株与株之间的混交。

在自然条件下, 树木光合作用的日变化一般有 4 种类型: 正规曲线型、平坦型、变动型和午间降低型。光合作用日变化类型主要取决于光照、气温和空气湿度等环境因子的综合作用, 也与树种有关。湿地松等 3 种树种在夏季

晴天光合速率日变化为午间降低型, 在其他季节或夏季多云天气可能会呈现其他类型。

通径系数分析自提出以后, 被广泛用于分析多个因素对效应因素直接效应和间接效应。在植物生理生态学领域, 这种方法比相关分析法和多元回归分析法更能精确地分析光强、气温和空气相对湿度等生理生态因子对光合作用和蒸腾作用的影响^[9, 10], 因此值得在类似的研究中推广和应用。

参考文献:

- [1] 高智慧, 叶君王, 陈顺伟, 等. 沿海岩质海岸不同地形下湿地松生长的变异研究[J]. 浙江林业科技, 2000, 20(6): 16-20.
- [2] 康志雄, 高智慧, 陈顺伟. 杨梅在基岩海防护林体系中的应用技术研究[J]. 防护林科技, 1996, (2): 7-9, 12.
- [3] Long S P, Hallgren J E. Measurement for CO₂ assimilation by plants in the field and in the laboratory [A]. Hall D O, Scurluck J M, Bohar Nordenkamp H R. *Photosynthesis Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual* [C]. London: Chapman Hall, 1993. 129-154.
- [4] 张全德. 通径系数及其在农业研究中的应用[J]. 浙江农业大学学报, 1981, 7(3): 18-25.
- [5] 拉夏埃尔 W. 植物生理生态学[M]. 李博, 译. 北京: 科学出版社, 1980.
- [6] 杜占池, 杨宗贵. 土壤水分充足条件下羊草和大针茅光合速率午间降低的原因[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(2): 106-113.
- [7] Tenhunen D. Factors influencing carbon fixation and water use by mediterranean sclerophyll shrubs during summer drought [J]. *Oecologia*, 1990, 82: 381-293.
- [8] 唐鸿寿, 刘桐华, 余彦波. 小麦光合作用“午休”的生态因子研究[J]. 生态学报, 1986, 6(2): 128-132.
- [9] 阎秀峰, 孙国荣, 肖玮. 星星草光合蒸腾日变化与气候因子的关系[J]. 植物研究, 1996, 16(4): 477-484.
- [10] 葛滢, 常杰, 陈增鸿, 等. 石栎净光合速率与环境因子的关系[J]. 浙江林业科技, 1999, 19(2): 30-35.

Photosynthetic characteristics of *Pinus elliottii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra* and their relationship with ecological factors

YUE Chun-lei, GAO Zhi-hui, CHEN Shun-wei

(Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: The photosynthetic rate and diurnal changes of *Pinus elliottii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra* were measured by closed-circuit airflow method with carbon dioxide infrared analyzer in sunny days of July, 2000. Photosynthetic active radiance, air temperature and relative humidity were determined. The results was as follows: Light compensation points of *Pinus elliottii*, *Elaeocarpus sylvestris* and *Myrica rubra* were 86, 34 and 45 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. Their light saturation points were 1 200, 760 and 1 050 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. Their apparent quantum yields were 0.020 3, 0.053 1 and 0.038 8, respectively. Their maximum net photosynthetic rates were 7.15, 12.50 and 7.85 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. By analysis on light compensation point and saturation point, *Pinus elliottii*, *Elaeocarpus sylvestris*, and *Myrica rubra* were thought of as heliophilous plant, of which, *Pinus elliottii* was the highest in adaptability to strong light, and *Elaeocarpus sylvestris* was the highest in use efficiency for weak light. Their curves of diurnal changes in photosynthetic rate were double-peaked, and the photosynthetic depression at midday was caused by high temperature and low relative humidity. Path analysis showed that the most significant ecological factor directly affecting photosynthetic diurnal changes of *Pinus elliottii* and *Myrica rubra* was air temperature, followed by air relative humidity and photosynthetic active radiance. The more significant ecological factors affecting photosynthetic diurnal changes of *Elaeocarpus sylvestris* were air relative humidity and air temperature.

Key words: *Pinus elliottii*; *Elaeocarpus sylvestris*; *Myrica rubra*; photosynthesis; environmental factors