

几种亚热带树苗叶片光合作用对生长光强的适应性^①

林植芳 孔国辉 梁春 林桂珠 温达志

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要 本文研究了生长于 100%、40% 和 16% 自然光下代表森林群落演替早、中、后期的马尾松、荷木、鬃蕨和黄果厚壳桂幼苗叶片的田间光合作用的变化动态, 光合色素和形态结构特性。强光提高了四种植物的光合速率, 7 月测定的结果有明显的差别, 8 月的光合速率较低且 100% 光与 40% 的数值相近。一天中上午 9AM 的光合速率最高, 随后下降。16% 光下叶片有较高的上午/下午光合比。100% 强光下叶片绿素含量低但类胡萝卜素/叶绿素比高。提高生长光强增加叶片厚度, 密度和叶肉密度, 降低比叶面积和叶内气体空隙体积/叶体积比。试验植物对光强的改变皆表现一定的适应性, 但后期演替种黄果厚壳桂对强光和高温较为敏感。

关键词: 亚热带树苗, 生长光强, 光合作用, 光适应性, 叶结构特性。

森林群落的形成和演替过程中, 光是重要的影响因子之一。植物对光强和光质的适应性与其生态分布, 生存竞争能力, 生长发育速度和生物生产量密切相关。在复杂多变的森林光环境中, 不同物种叶片的形态和生理生态特性皆有相应的调整, 出现不同的光驯化或适应的表现型。一些阴生的植物可以利用短期的高光, 如森林空隙的强光斑来提高光合作用, 晴天时热带森林林下植物每天增加的碳素量中 30%~60% 是利用树荫下光斑的结果^[1]。耐阴的 Chinese tallotree (*sapium sebiferum*) 和海芋 (*Alocasca macrorhiza*) 可在很荫蔽条件或强光下生长且有较高的净光合速率^[2]。对森林不同演替阶段代表植物光合作用适应特性的一些研究指出, 热带雨林的胡椒属中演替早期和后期植物对林间空隙地带光环境的驯化在质与量上皆有所不同^[3]。Thompson 等报告雨林树苗对光和营养条件的生长和光合能力响应的不同与其演替状态有关, 演替早期的不耐阴植物 *Toona australia* 对光强变化的响应比其他演替中期和后期的耐阴植物较明显和广泛^[4]。然而, Turnbull 认为演替早期种类的光合作用并非总有最大的可塑性^[5]。由于迄今对此方面的研究仍相当有限, 且多数研究结果是在人为调控的生长条件下得出的, 在自然条件下进行比较研究的不多。人工稳态光强下生长植物的光驯化研究结果往往难以反映自然条件下叶片对经常和持续变化着的光强与不同光辐射总量的适应性。因此, 大量深入的研究需要继续开展。

对广东鼎湖山亚热带自然林植物一些与光合作用有关的生理特性研究, 我们已有过一些报道^[6,7]。通过遮阴棚调控不同生长光强, 以氧电极法研究了离体叶片光合放氧对光强的响应曲线, 发现不同生长光强下生长的植物叶片光合作用速率, 光饱和点, 光补偿点, 光合作用量子效率等有明显的差异, 并对光合生理特性与树木演替状态的联系作了初步讨论^[8]。本文则在田间条件下进一步研究了叶片光合作用的光适应特性, 以及叶片一些结构特性的变化, 为了解自然林一些优势建群种的光合适应潜势, 探讨其在加速退化植被恢复中的可能作用提供依据。

① 中国科学院广州分院台站基金资助项目。

1 材料和方法

1.1 四种优势乔木植物即荷木 (*Schima superba*), 黧蒴 (*Castanopsis fissa*), 黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*) 和马尾松 (*Pinus massoniana*) 幼苗, 采自鼎湖山阔叶林和针叶林下, 单株盆栽。其中, 马尾松为早期先锋树种, 荷木和黧蒴为演替中期种, 黄果厚壳桂属演替顶极树种。幼苗栽后置于阴蔽处成活后, 进行不同生长光强处理。光强控制和管理方法同前文^[6], 植物置于田间条件。处理始于 1992 年 4 月, 1993 年夏季测定田间下的光合速率, 光合色素含量和作叶片结构特征分析。

1.2 光合作用和呼吸作用速率 以便携式红外线 CO₂ 测定装置 (Li-cor 6200) 在白天的不同时间直接测定田间植株顶端成熟叶片的气体交换速率。暗呼吸测定时将叶室以黑布遮光。同时记录叶面入射光强和叶温。每个光强处理选三盆植物, 共测定 3~5 片叶。马尾松则用二片塑料网将中部 20 个松针串接成具有一定面积的叶面而进行测定。叶面积由 Li-cor 3000 叶面积仪测定。

1.3 光合色素含量 在成熟叶片中部用钻孔器取 12~15 片 0.47cm² 的小圆片, 90% 丙酮提取, 663nm、645nm 和 440nm 测定吸光值, 计算叶绿素和类胡萝卜素含量及比值^[6]。

1.4 入射光强和叶温 从 Li-cor 6200 光合装置的光量子数和温度探头同步获得。

1.5 叶片结构特性 比叶面积是取一定数量的叶片用 Li-cor 3000 叶面积仪测定总的叶面积, 接着将叶片烘干, 计算叶面积与干重的比率 cm² · g⁻¹。参照 Rashin^[9] 和钟广炎的方法^[10], 取 10 个叶园片放入盛蒸馏水的比重瓶中, 称重, 随后将叶片取出真空渗水至下沉, 重新放入比重瓶称重。求得 W₀ (比重瓶重), W₁ (W₀ + H₂O 重), W₂ (W₁ + 叶圆片重), W₃ (W₁ + 渗水叶圆片重), W_L (叶圆片重), 并按下列公式求叶片结构特征参数。

$$V_L (\text{叶片体积}) = (W_1 + W_L - W_2) / \rho_{H_2O}$$

$$V_{\text{air space}} (\text{叶片中空部分体积}) = (W_3 - W_2) / \rho_{H_2O}$$

$$P_L (\text{叶片密度}) = W_L / V_L$$

$$T_L (\text{叶片厚度}) = V_L / A_L$$

$$P_{\text{nogas}} (\text{叶肉密度}) = W_L / V_{\text{nogas}}$$

2 实验结果

2.1 不同生长光强下几种树苗叶温和叶面入射光强的变化

表 1 是 1993 年夏季 7~8 月部分时间测定叶面实际受光和温度状况。4 种植物叶面在 100% 自然光下, 晴天上午 8~11 AM 之间平均的入射光强在 824~1167 μmol · m⁻² · s⁻¹ 之间, 7 月与 8 月的数据相近, 不同种植物叶面光强也无明显差别。中度遮光的植物叶片的入射光强为 309~425 μmol · m⁻² · s⁻¹, 相当于自然光下入射光强的 40% 左右。重度遮光下生长植物叶面光强约 100~160 μmol · m⁻² · s⁻¹, 约为自然光的 16% 左右。弱光下不同植物种类和不同月分之入射光强同样甚为近似。

7~8 月是华南地区的高温季节, 历年的月均温在 28℃ 以上。本试验条件下 7~8 月上旬的平均叶温达 34~37℃, 8 月的叶温略高于 7 月 0.6℃。黄果厚壳桂的叶温比荷木, 黧蒴和马尾松高 0.2~0.5℃。叶温随入射光强而变化, 自然光下叶温最高, 40% 光下的叶温降低 0.5~1.6℃, 16% 光下叶温可降低 0.3~3.2℃。可见, 生长光强对植物光合作用的影响包括了由光引起的叶温的差别。C₃ 植物光合作用的最适温度一般为 20~25℃, 高于此温度则光合速率下

降, 34~37℃的夏季高温显然不利于一般的 C₃植物光合作用的进行。

表 1 不同生长光强下叶面的光、温状况

Table 1 Incident light and temperature of leaves growing under different irradiances

种类	处理	Jul 19		Aust 26~30	
		IL($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LT (°C)	IL($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	LT (°C)
荷木	1	1167.6	36.8	823.9	36.8
<i>Schima superba</i>	2	379.8	35.7	376.0	36.1
	3	155.0	34.1	146.7	34.9
黛蕨	1	864.2	34.8	871.3	36.6
<i>Castanopsis fissa</i>	2	401.3	35.8	424.8	35.9
	3	100.5	34.5	143.1	34.7
	1	909.5	37.2	862.6	36.1
<i>Cryptocarya concinna</i>	2	375.7	35.6	309.1	37.2
	3	128.5	34.0	160.1	35.5
马尾松	1			833.0	36.5
<i>Pinus massoniana</i>	2			309.8	36.0
	3			133.1	34.6

注: IL 入射光强; LT 叶温。表中数据为上午 9~11 时测定值的平均。

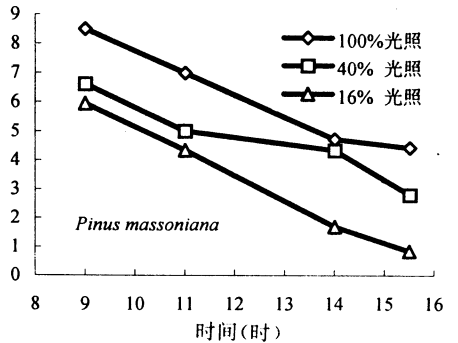
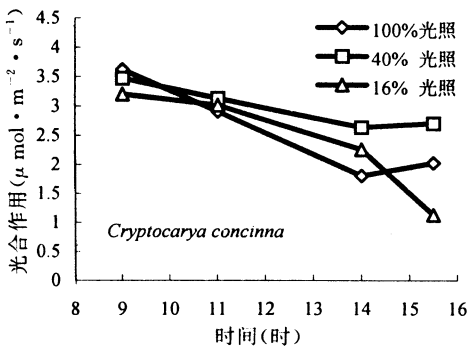
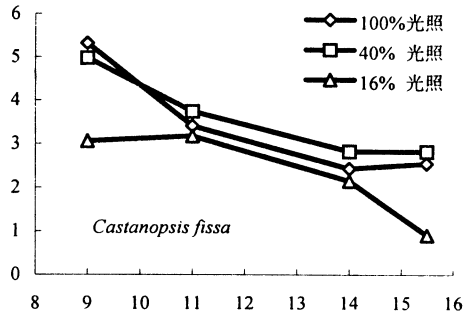
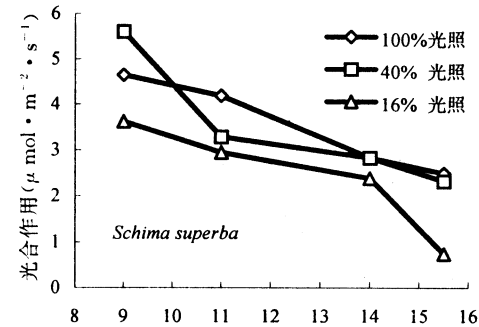


图 1 不同生长光强下四种树苗叶片的光合作用日进程

Fig. 1 The daily courses of photosynthesis in leaves of four tree seedlings growing under different irradiances

2.2 光合速率和光合色素含量的变化

叶片的光合速率呈日进程变化动态, 8月26日和8月30日测定的结果(图1)看出, 4种植物的光合速率一般在上午9时最高, 随后逐渐下降。上午9~11时的光合速率明显比下午14~15.5时高, 马尾松高出105.5%, 荷木高75.7%, 黧蒴高73.2%, 黄果厚壳桂高55.7%。光合速率的上午/下午比值变化与植物的演替状态相一致, 演替早期的马尾松的光合速率在下午的下降率最高, 演替中期的荷木和黧蒴的下降率居中, 演替后期的黄果厚壳桂的下降最低。光合速率随生长光强下降而降低, 马尾松的变幅较明显, 与其喜光性相符, 黄果厚壳桂光合速率的变幅较少, 且40%光下的光合速率与100%光下的相近或略大些。比较上午9时的最高光合速率与下午15.5时的低光合速率, 发现16%弱光下两者的差别达2.7~6.6倍, 40%光下为1.3~3.2倍, 而100%光下则只有1.8~2.1倍, 表明光合作用日进程动态也受到生长光强的影响。

由于上午是光合作用的高值期, 进一步利用9~11时的平均光合速率来表示和比较不同生长光强下4种植物的光合适应能力。图2是7月22日和8月26日及8月30日光合速率的比较。7月22日的光合速率与生长光强之间呈正相关性, 100%自然光下的叶片光合速率最大, 16%光下的叶片光合速率降低到原水平的54.4%(黧蒴), 40.8%(荷木)和46.2%(黄果厚壳桂)。三种植物的光合速率在不同光强下大小顺序为荷木>黧蒴>黄果厚壳桂。然而, 8月26日和30日两天测定的平均值显示与7月不同的变化趋势, 三种阔叶树在40%光下的光合速率与100%光下的近似或稍高, 16%光下的光合速率仅减少5%~26%, 只有针叶树马尾松在100%光下仍有光合速率的明显优势。另一方面, 8月分的100%自然光下荷木等三种植物叶片光合速率低于7月, 40%和16%弱光下的光合速率却高于7月。结果证明同一种植物的光合速率存在月分间的差异。8月在100%光下的较低光合速率可能是光合速率受到光、温与湿度等综合因子产生的限制, 出现了光抑制之故。

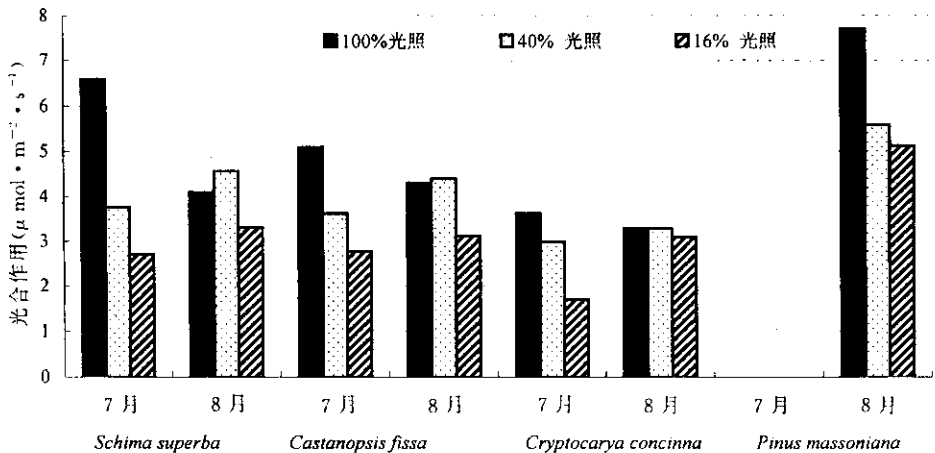


图2 生长光强对叶片光合作用速率的影响

Fig. 2 Effect of growing irradiance on leaf photosynthetic rate

表2是8月26日测定的暗呼吸速率及其与光合速率的比值。强光下生长的荷木等阔叶树叶片的暗呼吸速率及暗呼吸/光合作用比较高, 16%弱光下叶片暗呼吸下降59%~65%, 暗

呼吸/光合作用比下降 50%~68%，即强光下光合速率和暗呼吸速率皆增大，弱光下暗呼吸/光合作用比降低主要由于暗呼吸的减弱大于光合作用的下降。马尾松的暗呼吸与光强的关系与上述结果不同，40%光强下的暗呼吸及暗呼吸/光合作用比大于 100%光和 16%光者，后两种处理的暗呼吸绝对值有差别但暗呼吸/光合作用比值则相同。

表 2 不同生长光强下树苗暗呼吸及暗呼吸/光合作用比值的变化

Table 2 Changes of respiration and respiration/photosynthesis ratio of tree seedlings growing under different irradiances

种类	光	光合速率		呼吸速率		Rd/Pn	
		Pn($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	(%)	Rd($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	(%)		
黛菊	1	4.54	100.0	-0.78	100.0	0.172	
<i>Castanopsis fissa</i>	2	5.12	112.8	-0.54	69.2	0.105	
	3	4.37	96.3	-0.32	41.0	0.073	
荷木	1	4.92	100.0	-0.85	100.0	0.173	
<i>Schima superba</i>	2	4.79	97.4	-0.86	101.2	0.180	
	3	3.88	78.9	-0.34	40.0	0.088	
黄果厚壳桂	1	3.40	100.0	-0.62	100.0	0.182	
<i>Cryptocarya concinna</i>	2	3.52	103.5	-0.37	59.7	0.105	
	3	3.80	111.8	-0.22	35.5	0.058	
马尾松	1	8.04	100.0	-0.37	100.0	0.170	
<i>Pinus massoniana</i>	2	6.35	78.9	-2.04	148.9	0.321	
	3	5.26	65.4	-0.89	64.9	0.169	

注:1,2,3 分别为 100%, 40%和 16%自然光, Pn 和 Rd 于 8 月 26 日测定。

表 3 不同光强下生长的树苗叶片光合色素的变化

Table 3 Changes of photosynthetic pigments of leaves in tree seedlings growing under different irradiances

种类	光	叶绿素含量		类胡萝卜素含量		Chla/b	Car/Chl
		mg · g ⁻¹ FW	μg · cm ⁻²	mg · g ⁻¹ FW	μg · cm ⁻²		
荷木	1	1.0959	23.14	0.3113	6.20	2.60	0.269
<i>Schima superba</i>	2	1.6249	31.03	0.3769	7.19	2.55	0.232
	3	1.3666	22.15	0.2949	4.79	2.49	0.216
黛菊	1	0.6388	11.42	0.2414	4.34	2.40	0.378
<i>Castanopsis fissa</i>	2	1.3159	21.06	0.3462	5.54	2.29	0.263
	3	1.7777	28.34	0.4355	7.63	2.23	0.245
黄果厚壳桂	1	0.7329	18.84	0.3259	8.29	2.28	0.445
<i>Cryptocarya concinna</i>	2	1.1043	26.42	0.3015	7.81	2.25	0.297
	3	1.5363	35.31	0.4107	9.61	2.21	0.267

注:1,2,3 代表光强为 100%, 40%, 16%自然光。

表4 生长光强对三种植物幼苗叶片结构的影响
 Table 4 Effects of growth irradiance on leaf structural
 feature of three woody seedlings

种类	光强 <i>LI</i> (%)	叶面积 <i>LA</i> (cm ²)	比叶面积 <i>SLA</i> (cm ² /g)	叶密度 <i>LD</i> (g/cm ³)	叶肉密度 <i>MD</i> (g/cm ³)	叶厚 <i>LT</i> (mm)	叶空隙 /叶体积 <i>Vair/VL</i>
荷木	100	24.9	102.9	0.851	1.109	0.0135	0.235
<i>Schima superba</i>	40	26.6	116.0	0.815	1.171	0.0115	0.330
	16	35.6	130.7	0.791	1.091	0.0118	0.294
黧蒴	100	86.4	101.8	0.821	1.072	0.0134	0.239
<i>Castanopsis fissa</i>	40	146.5	128.0	0.787	1.074	0.0116	0.371
	16	165.5	143.9	0.618	0.985	0.0126	0.345
黄果厚壳桂	100	15.9	130.9	0.814	1.159	0.0126	0.217
<i>Cryptocarya concinna</i>	40	16.9	144.3	0.836	1.141	0.0115	0.285
	16	19.4	150.2	0.790	1.038	0.0119	0.351

叶绿素和类胡萝卜素含量不论以鲜重或叶面积为基数而计算的结果与光强关系的规律性皆相同(表3)。黧蒴与黄果厚壳桂的叶绿素和类胡萝卜素含量以16%光下最高,40%光下次之,100%光下最低。在强自然光下生长的单位鲜重叶片的叶绿素含量约为16%光下的36%(黧蒴)和48%(黄果厚壳桂),类胡萝卜素含量则分别为55%和79%。但是强光提高了Chl a/b比和类胡萝卜素/叶绿素比,光合色素中类胡萝卜素比例增大可能是植物适应于强光而提高了防止叶绿素光破坏的抗氧化能力的表现。荷木的叶绿素和类胡萝卜素含量则以40%光下者最高,且光合色素的最大值与最小值的变幅比黧蒴和黄果厚壳桂要小,然而,Chl a/b和Car/Chl仍为100%光下有较高的比值。

高的生长光强使叶面积变小,比叶面积及叶内空隙/叶片体积比值降低。与生长于16%光下的叶片相比,三种阔叶树在100%自然光下的叶面积只有52%~82%,比叶面积为71%~87%,叶内空隙/叶片体积比为62%~80%。黧蒴的这几个参数的变幅比荷木和黄果厚壳桂大。反之,叶片密度,叶肉组织(除去叶间空隙)密度和叶厚度随生长光强增高而增大(表4),三种树苗的变化趋势一致。强光下比16%弱光的叶片增厚6%~14%,叶片密度增大8%~33%。三种树苗中,黧蒴的叶面积最大,密度较低,黄果厚壳桂叶面积最小,比叶面积最大,荷木的叶片结构特性介于两者之间。

将图2中7月份三种植物的光合速率与表3和表4的数据作相关关系分析,结果发现光合速率与光强呈正相关性, $r=0.8850$,而与比叶面积呈负相关, $r=-0.9050$,光强也与叶面积成负相关性 $r=-0.7542$ 。这表明三种阔叶树苗在不同光强下叶片光合速率的变化与比叶面积变化和气孔开度有密切的关系,而与叶片厚度、密度、叶面积、叶绿素含量等之间的关系则不显著。

3 讨论

光合成的有机物占植物干物质量的90%,光是植物的能源和生理活动的重要刺激与调节因子。森林结构的特殊性使一些冠层树种的幼苗处于阴蔽条件而成年时则暴露于高光强之下,即耐阴的树苗可成为耐阳的成年树^[4],因此,只有具有高的光合作用可塑性,能适应不同光环境及其伴随的变化因子的植物种才得以生存和发展。

我们对鼎湖山森林几种建群种树苗在不同生长光强下田间光合作用动态与暗呼吸研究的结果,与前文用氧电极在无气孔限制条件下的离体测定^[6]相比,绝对值差别较大但趋势基本一致。三种阔叶树苗在100%自然光下生长,叶片的光合速率比16%光下提高84%~144%(7月)或5%~140%(8月),而马尾松幼苗在16%弱光下的光合速率降至100%自然光的67%。强光刺激了耐阴的黄果厚壳桂和中性偏于喜光的荷木及黧蒴的光合作用,而在低至16%光下的阳生马尾松仍能保持近70%的光合作用能力,这表明试验树种皆有一定的光合作用调节和驯化能力,对光强的变化表现了不同程度的适应性。值得注意的是,在叶片连体的自然条件下测定时,黄果厚壳桂的光合速率在夏季的7~8月多以40%~100%光下的高(除表2外),这是与氧电极离体测定结果(16%光下的光合放氧速率最高)^[6]的不同之处。通常连体的测定更能精确反映植物的生理活动对环境因子的响应。

光强影响叶片光合色素不同组分含量和比率,也影响叶片的形态建成。自然强光下荷木、黧蒴和黄果厚壳桂幼苗以 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 表示的叶绿素含量降低20%~64%,类胡萝卜素含量除荷木外,也下降21%~64%,而类胡萝卜素/叶绿素比在100%自然光下增高25%~67%(表3)。类胡萝卜素具有猝灭高氧化性的单线态氧($^1\text{O}_2$)和在强光下耗散过剩激发能保护光系统Ⅱ的功能,因此,较高的类胡萝卜素/叶绿素比反映这些植物可通过提高类胡萝卜素的比率来防护强光下叶绿素的氧化漂白与光系统Ⅱ的损伤。幼苗的这种调节能力可能是其成长为大树的过程中对逐渐增大的光强的适应性的必要条件之一。Boadman对阳生与阴生植物的光合作用的评述中指出,光强改变植物的解剖和生理特性,从而影响大多数植物种类的驯化^[11]。大豆叶片的厚度和比叶重随光强降低而明显下降^[12];棉花和Velveleaf在高光下叶片变厚,叶肉体积增大^[13];亚州热带雨林的一个冠层树种*Bischofia javanica*受高光的驯化,叶片增厚45%,叶组织致密,栅栏组织/海绵组织比提高80%^[14]。本文中,荷木等三种植物在100%光下形成的叶片有低的比叶面积和叶内气间空隙/叶体积比,并增大了叶厚度,密度和叶肉密度(表4)。厚叶有较多的叶肉面积,导致低的叶肉阻抗,从而提高了光合速率,对高光的利用能力比薄叶强^[15]。从本文的叶片形态,光合色素和前文的光合作用的光补偿点及饱和光强^[6]随生长光强而变化的结果看来,弱光下生长的幼苗以降低光合作用补偿点和饱和光强,增加吸收光能的叶绿素含量和叶面积,尽可能利用有限的阳光进行光合成作用,强光下生长的幼苗则通过降低叶肉阻抗,减少强光对光合器的损伤等来有效地利用光能。

演替后期种黄果厚壳桂在三种光强下生长皆有较低的光合速率和Chl a/b比(表3),较高的叶温和比叶面积(表1,4),下午时光合速率的下降比率也比其他树种明显(图1),说明黄果厚壳桂对光能的利用能力和光强变化的适应性低于演替中期种荷木和黧蒴以及演替早期种马尾松。这几种树苗光合速率大小顺序(马尾松>荷木>黧蒴>黄果厚壳桂)与Ehleringer和Lin等对自然林中成年树叶片稳定同位素比($\delta^{13}\text{C}$)的分析结果,即黄果厚壳桂 $\delta^{13}\text{C}$ 为-34.86%,荷木-31.55%,马尾松-26.4%^[16]相一致。稳定碳同位素比也是叶片水分利用效率和植物喜光性的一种指标,低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值显示黄果厚壳桂的低水分利用效率和耐阴性。9月份测定的气孔导度和蒸腾速率表明黄果厚壳桂的这三种水分关系参数只为其它试验植物的32%~48%之间(另文报道),而叶温即比荷木等高0.2~0.5℃(表1),看来,其高叶温和低的气孔开度可能限制了有效的气体交换和水分交换速率。另一方面,在强光与冬季低温下黄果厚壳桂出现光合作用光抑制现象^[6]。因此,推测黄果厚壳桂的低光合速率和有限的光适应能力,可能与其对温度的敏感性和较低的水分关系调节特性有关。

参 考 文 献

- 1 Pearcy RW, Chazdon RL, Kirschbaum MUF. Photosynthetic utilization of lightflecks by tropical forest plants. In: J. Biggins (ed). "progress in Photosynthesis Research". Martinus nijhoff; Dordrecht. 1987, Vol 4: 257~260
- 2 Jones Rh, Mcleod KW. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallowtree and Cardina ash seedlings. Forest Sci, 1990, 851~862
- 3 Chazdon RL. Photosynthetic plasticity of two rain forest shrubs across natural gap transects. Oecologia, 1992, 92: 586~595
- 4 Thompson WA, Huang LK, Kriedemann PE. Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees I. leaf gas exchange and component processes of photosynthesis. Aust J Plant Physiol, 1992, 19: 19~42
- 5 Turnbull MH. The effect of light quantity and quality during development on the photosynthetic characteristics of six Australian rainforest tree species. Oecologia, 1991, 87: 110~117
- 6 林植芳等. 生长光强和冬季低温对三种亚热带木本植物生理特性的影响. 热带亚热带植物学报, 1994, 2(3): 54~61
- 7 林植芳等. 生长光强对亚热带自然林两种木本植物稳定碳同位素比, 细胞间 CO₂浓度和水分利用效率的影响. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(2): 77~82
- 8 梁春, 林植芳, 孔国辉. 不同光强下生长的亚热带树苗的光合光响应特性的比较. 应用生态学报, 1997, 8(1): 7~11
- 9 Rashin I. A method for measuring leaf volume, density, thickness and internal gas volume. HortSci, 1983, 18: 698~699
- 10 钟广炎. 一种快速测定植物器官体积的方法. 植物生理通讯, 1990, 5: 58~60
- 11 Boardman NK. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. Ann Rev Plant Physiol, 1977, 28: 355~377
- 12 Torisky RS, Servaites JC. Effect of irradiance during growth of glycinemax on photosynthetic capacity and percent activation of ribulose 1.5-bisphosphate carboxylase. Photosynt Res, 1984, 5: 251~261
- 13 Patterson DT, Duke SO, Hoagland RE. Effect of irradiance during growth on adaptive photosynthetic characteristics of velvetleaf and cotton. Plant Physiol, 1978, 61: 402~405
- 14 Ramaluddin M, Grace J. Photoinhibition and light acclimation in seedlings of *Bischofia javanica*, a tropical forest tree from Asia. Ann Bot, 1992, 69: 47~52
- 15 Vidal D et al. Anatomical and physiological acclimation of *Fatsia japonica* leaves to irradiance. Amer J Bot, 1990, 77(9): 1149~1158
- 16 Ehleringer JR et al. Leaf carbon isotope ratios of plants from a subtropical monsoon forest. Oecologia, 1987, 72: 109~114

The Photosynthesis Acclimation to Growing Irradiance in Several Subtropical Tree Seedlings

Lin Zhifang Kong Guohui Liang Chun Lin Guizhu Wen Dazhi

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)

ABSTRACT Seedlings of *Schima superba*, *Castanopsis fissa*, *Cryptocarya concinna* and *Pinus massoniana*

from a natural subtropical monsoon forest were grown at three irradiances, which were 100, 40 and 16% of ambient daylight corresponding to the light incident upon the leaf of $904 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $368 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and $138 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ during the summer season.

Plants grown under higher light showed higher net photosynthetic rate and dark respiratory rate than plants grown under lower light. The difference of field photosynthesis—growing light dependence among test species were altered with time, significant difference of photosynthetic rates in three broad-leaved species under different irradiance levels were found in July but not in August. Maximum photosynthesis exhibited at 9 AM for all species in August. The ratio of morning/afternoon photosynthesis increased with decreasing growing irradiance. Chlorophyll content on a fresh weight basis or on a leaf area basis was great under 16% daylight condition, while carotenoid/chlorophyll ratio was the smallest in the same case. Leaf thickness, the densities of whole leaf and mesophyll in 100% light grown plants were 6%~14% and 8%~33% higher than that in 16% light grown plants, respectively. Specific leaf area decreased with growing irradiance and showed a negative correlation with photosynthetic rate. Leaf area and ratio of internal gas space to leaf volume were reduced under high light. All test plants showed certain photosynthesis acclimation to the changes of growing irradiance, but *Cryptocarya concinna*, a later successional shade-tolerant species, showed more sensitive to high light and high temperature.

Key word Subtropical tree seedlings, Growing irradiance, Photosynthesis, Light acclimation, Leaf structural feature.