

生长环境光强对夏蜡梅子叶显微形态 结构和光合参数的影响

陈模舜, 柯世省

(台州学院 生命科学学院, 浙江 临海 317000)

摘要: 夏蜡梅子叶在一年生幼苗的成苗和生长过程中具有重要作用。为了解夏蜡梅子叶的光适应能力和机制, 采用不同层数遮阳网遮光的方式, 研究四种生长环境光强(4%、22%、50%和100%全光照)对夏蜡梅子叶显微形态结构和光合参数的影响。结果表明, 随着生长环境光强的减弱, 夏蜡梅子叶光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、叶片厚度降低, 叶绿素含量升高。在50%全光照下, 子叶结构发育完全, 细胞排列紧密, 维管组织发达, 最大净光合速率(P_{max})和暗呼吸速率最高(R_d); 而低于22%全光照下子叶趋向于阴生叶结构。因此, 夏蜡梅子叶具有较强的耐荫能力。

关键词: 夏蜡梅; 子叶; 光照强度; 显微结构; 光合参数

中图分类号: Q944.5, 945.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2009)03-0366-06

Effect of environmental light intensity on the morphological microstructure and photosynthetic parameters in the cotyledons of *Calycanthus chinensis*

CHEN Mo-Shun, KE Shi-Sheng

(School of Life Science, Taizhou College, Linhai 317000, China)

Abstract: The cotyledons of *Calycanthus chinensis* played critical roles in forming annual seedlings. In order to investigate the mechanism of light adaption of *C. chinensis* cotyledons, different layer adumbral nets were used in this experiment, the light intensity were 4%, 22%, 50% and 100% of full sunlight, respectively. The results indicated that with the increasing of shade, the cotyledons showed lower light saturation point(LSP), lower light compensation point(LCP), thinner blade thickness and higher chlorophyll contents. The cotyledons developed fully with the compactness cells and the upgrowth vascular tissues, consequently, the maximal net photosynthetic rate (P_{max}) and dark respiration rate (R_d) were highest under 50% full sunlight. When the light intensity was below 22% of full sunlight, the cotyledons trended towards the shade-leaved structure. The present study indicated that the cotyledons of *Calycanthus chinensis* were tolerant to canopy.

Key words: *Calycanthus chinensis*; cotyledon; light intensity; microstructure; photosynthetic parameter

光是影响植物生长和种类分布的主要环境因子之一(Aleric & Kirkman, 2005), 光照不足限制了植物的光合作用, 导致碳获取的减少, 使生长受阻, 而光照过强则会损伤光合器官(Hua 等, 2007)。因此

植物发展了多种策略来应付这种环境胁迫, 如叶片为适应光强度产生可塑性变化(Rozendaal 等, 2006)、形成耗散过剩光能的保护机制等(Krause 等, 2001)。已有大量研究表明植物可通过形态学、

收稿日期: 2008-02-30 修回日期: 2008-12-08

基金项目: 浙江省教育厅计划科研项目(20070511); 浙江省自然科学基金(Y504256)[Supported by Scientific Research Project of Education Department of Zhejiang Province(20070511); Natural Science Foundation of Zhejiang Province(Y504256)]

作者简介: 陈模舜(1962-), 男, 浙江台州人, 高级讲师, 主要研究方向为植物解剖学和植物生理生态学, (E-mail)cmsloh@tzc.edu.cn.

解剖学和生理学上的变化来适应阳生或阴生环境 (Monaco 等, 2005; Cavagnaroa & Trioneb, 2007)。观察光合作用和形态学对一定程度光照强度的响应可以提供植物的光耐受性和生长状况的相关信息 (Wang 等, 2006)。

夏蜡梅 (*Calycanthus chinensis*) 是浙江省特有的被列为国家二级保护的第三纪孑遗濒危物种, 在我国是夏蜡梅属的唯一代表, 资源极少, 仅间断分布于浙江省临安市西部狭小的范围内和浙江省天台县大雷山 (郑朝宗, 2005; Mao 等, 2007)。夏蜡梅花朵美丽, 分类地位独特, 分布区狭窄, 居群数目少。从该种被发现以来的近 40 年间, 人们在花粉形态 (李林初, 1990)、分类地位 (郑万钧等, 1964)、群落学 (徐耀良等, 1997; 张方钢等, 2001)、染色体 (李林初, 1986; 刘洪涛等, 1996)、植物化学 (倪士峰等, 2003; 李钧敏等, 2007)、遗传多样性 (周世良等, 2002; 金则新等, 2007) 及胁迫生理 (柯世省等, 2007a, b, 2008) 等方面进行过研究。夏蜡梅表现出典型的阴生特点, 强光下生长不良 (周世良等, 2002), 一般分布于林下。自然条件下, 夏蜡梅种子在 4 月初萌发, 萌发后长出的子叶宽大肥厚, 生长期长, 一直至 10 月底或 11 月初与真叶一起脱落, 子叶在一年生夏蜡梅幼苗的成苗和生长过程中具有重要作用, 但对夏蜡梅子叶解剖结构和生理特性的研究尚未见报道。本文研究不同光强处理对夏蜡梅子叶形态结构与光合特性的影响, 进一步了解夏蜡梅子叶的光适应能力, 以为夏蜡梅种群的保护和复壮提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 植物材料与处理

夏蜡梅种子于 10 月初采自浙江省天台县大雷山, 第 2 年 3 月初播种于校内生物园地, 4 月中旬子叶展开后将幼苗移植到塑料花盆 (直径 23 cm) 中, 每盆 3 株, 分别置于不同光强的遮阳棚内生长。遮阳棚覆盖不同层数黑色遮阳网获得下列光照强度: 100% 全光照 (不盖遮阳网, 晴天正午光合有效辐射最高约为 $1\,900\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、50% 全光照 (盖一层遮阳网, 类似于稀疏的林下光强)、22% 全光照 (盖二层遮阳网, 类似于稍密的林下光强) 和 4% 全光照 (盖三层遮阳网, 类似于浓密的林下光强), 每种光强处理 5 盆。45 d 后测定各项指标。

1.2 指标测定

取不同光强处理夏蜡梅子叶各 3 片, 在主脉两侧距主脉和基部约 1 cm 处, 取 $1\ \text{cm}\times 1.5\ \text{cm}$ 的小块, FAA 迅速固定, 石蜡包埋, 采用 Rotary Microtome HM 315 切片机石蜡切片, 切片厚 $8\ \mu\text{m}$, 酒精脱水, 二甲苯透明, 固绿番红对染, 中性树脂封片, 制成永久装片 (李景秀等, 2007)。Leica DFC 480 及 IM50 观察采集图像, 利用 Leica QWin V3 图像分析系统软件进行图像分析, 显微图像经 Adobe Photoshop 9.0 图像处理系统处理制版。每片子叶各取装片 5 张, 每张装片测量 10 个视野, 结果取平均值。

将不同光环境下生长的夏蜡梅幼苗搬至室内随即进行光合参数的测定。用 LCA4 型 (ADC, UK) 光合测定仪控温装置设定叶室温度为 $(27\pm 1)\ ^\circ\text{C}$ 、进气 CO_2 浓度和相对湿度分别为 $(370\pm 10)\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $(40\pm 3)\%$, 通过改变人工光源光强和多层纱布均匀遮光相结合的方法调节光合有效辐射从 $1\,500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 直到 0, 强光下每间隔为 $100\sim 300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、弱光下 (小于 $160\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 为 $20\sim 30\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 每间隔光照持续 3 min 待仪器读数稳定, 测得从高到低一系列光合有效辐射下叶片的净光合速率, 按照曹建新等 (2008) 的方法拟合净光合速率—光合有效辐射曲线方程, 计算光补偿点 (LCP)、光饱和点 (LSP)、最大净光合速率 (P_{max}) 和表观量子效率 (AQY)。完全遮光下测定暗呼吸速率 (R_d)。比较 $27\ ^\circ\text{C}$ 叶室温度、 $400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光合有效辐射下的气孔阻力 (R_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i)。摘取测定光合参数后的子叶用丙酮提取比色法测定子叶叶绿素鲜重含量 (张志良, 1990)。取不同光强处理下每盆各 3 张夏蜡梅子叶共 9 张重复测定上述指标。

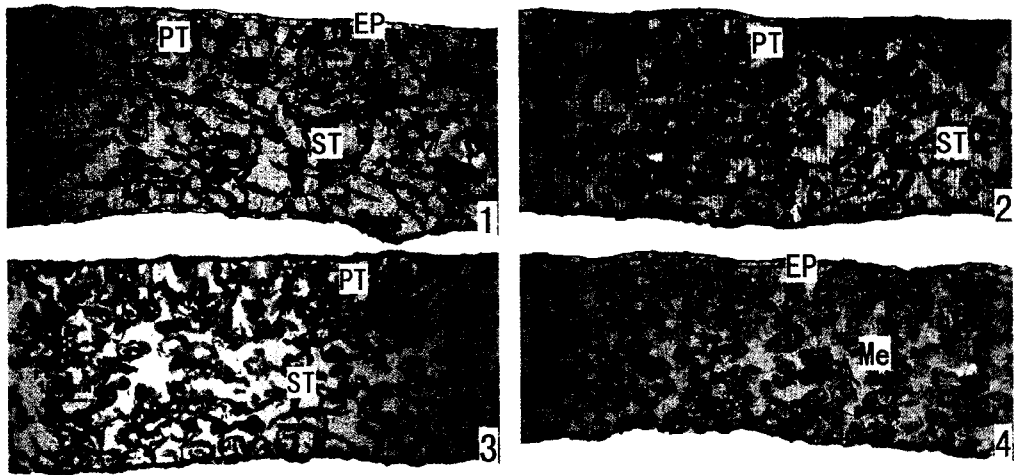
1.3 数据处理

不同生长环境光强下夏蜡梅子叶各指标用 SPSS 11.5 软件进行方差分析 (ANOVA), 差异显著性 ($P<0.05$) 运用 Duncan's 检验进行多重比较。

2 结果与分析

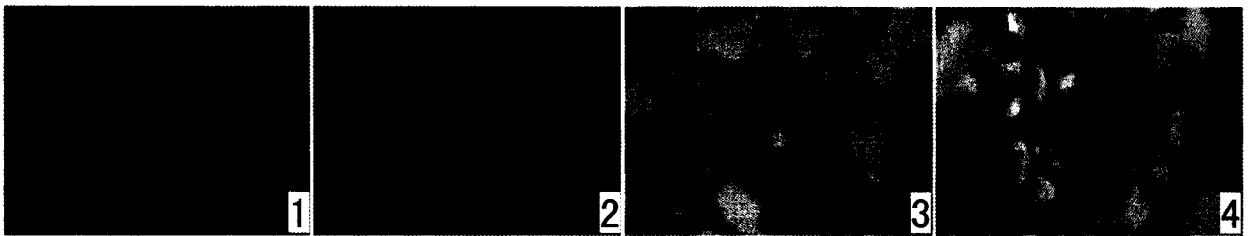
2.1 生长环境光强对夏蜡梅子叶显微结构的影响

夏蜡梅子叶的叶性结构特征表现为典型的异面叶, 由表皮、叶肉和叶脉所构成, 子叶的上、下表皮面由一层近长方形的细胞组成, 外被薄的角质层, 栅栏组织 1~2 层细胞, 海绵组织 3~6 层细胞, 叶绿体分



图版 I 生长环境光强对夏蜡梅子叶组织结构的影响 (×100) 1. 全光照; 2. 50%全光照; 3. 22%全光照; 4. 4%全光照; EP. 表皮细胞; PT. 栅栏组织; ST. 海绵组织; Me. 叶肉。

Plate I Effects of the environmental light intensities on cotyledon microstructure of *Calycanthus chinensis* (×100) 1. 100% full sunlight; 2. 50% full sunlight; 3. 22% full sunlight; 4. 4% full sunlight; EP. Epidermis cell; PT. Palisade tissue; ST. Spongy tissue; Me. Mesophyll.



图版 II 生长环境光强对夏蜡梅子叶主脉结构的影响 (×1 000) 1. 全光照; 2. 50%全光照; 3. 22%全光照; 4. 4%全光照; Xy. 木质部; Ph. 韧皮部。

Plate II Effects of the environmental light intensities on main vein microstructure of cotyledon of *Calycanthus chinensis* (×1 000) 1. 100% full sunlight; 2. 50% full sunlight; 3. 22% full sunlight; 4. 4% full sunlight; Xy. Xylem; Ph. Phloem.

布于叶肉组织细胞中(图版 I)。叶脉横切面维管束呈圆环状,属外韧维管束,维管束鞘细胞一层(图版II)。

2.1.1 生长环境光强对夏蜡梅子叶表皮组织结构的影响 夏蜡梅子叶无表皮毛,表皮细胞排列较为平整,大小也较为一致;遮荫处理后,虽然夏蜡梅子叶的上、下表皮细胞形状及排列方式没有改变,但其厚度均变薄,夏蜡梅子叶表皮未发现明显的角质层,其中4%全光照处理下其表皮细胞变薄更为明显(图版 I、表 1),这与有利于吸收更多的光照以适应弱光环境有关。

2.1.2 生长环境光强对夏蜡梅子叶叶肉组织结构的影响 全光照下夏蜡梅子叶小而厚,叶肉组织分化明显,含有较多的细胞,子叶横切结构有栅栏组织 1~2

层,细胞均比较细长,呈长条形或圆柱形,其中贴近上表皮的一层细胞较长,向内的各层细胞较短,海绵组织 3~6 层排列疏松(图版 I:1),木质部导管较大,呈 3~5 列纵行排列,但韧皮部结构分化不完整,维管束较发达(图版 II:1)。50%全光照夏蜡梅子叶,出现明显的栅栏组织和海绵组织分化,栅栏组织 2 层细胞排列紧密,海绵组织细胞间隙少(图版 I:2),叶脉近轴面有 1~2 层厚角细胞,木质部导管较大,呈 5~8 列纵行排列,维管束的木质部和韧皮部结构分化完整,维管束最发达(图版 II:2)。低、弱光强对夏蜡梅子叶结构影响均较大,22%全光照夏蜡梅子叶栅栏组织 1 层,内层栅栏组织有向海绵组织转化的趋势,层数也减少,变得更像海绵组织,海绵组织也明显稀疏(图版

I.3), 维管束的木质部和韧皮部结构简单, 维管束也不发达(图版 II:3)。在 4% 全光照下夏蜡梅子叶横切结构栅栏组织与海绵组织分化不明显, 叶肉细胞排列疏松, 细胞间隙变大, 细胞呈现又短又圆, 子叶也较薄(图版 I:4), 维管束不发达(图版 II:4)。

就子叶厚度而言, 遮荫后子叶厚度明显变薄, 夏蜡梅子叶在全光照下的子叶厚度是 4% 全光照处理下的 1.12 倍左右, 其栅栏组织海绵组织比均小于 1, 海绵组织排列都较为疏松, 不同光强处理之间子叶栅栏组织海绵组织比存在差异(表 1)。

表 1 生长环境光强对夏蜡梅子叶形态结构参数的影响
Table 1 Effects of the environmental light intensities on the morphological microstructure parameters of *Calycanthus chinensis* cotyledons

参数 Parameter	生长环境光强 Environmental light intensity (%)			
	100	50	22	4
上表皮厚度 Thickness of upper epidermis (μm)	13.39 \pm 1.75a	14.36 \pm 1.93a	12.85 \pm 2.13a	12.74 \pm 2.97a
栅栏细胞长度 Length of palisade cell (μm)	34.34 \pm 4.70b	46.5 \pm 4.96a	42.33 \pm 6.04a	41.36 \pm 5.24a
栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue (μm)	85.4 \pm 10.52a	79.38 \pm 5.51ab	72.57 \pm 6.74bc	61.56 \pm 20.70c
海绵细胞长度 Length of spongy cell (μm)	46.93 \pm 8.15ab	52.16 \pm 6.78a	43.84 \pm 8.58b	43.41 \pm 5.37b
海绵组织厚度 Thickness of spongy tissue (μm)	291.6 \pm 16.22a	295.3 \pm 14.14a	267.5 \pm 11.26b	296.46 \pm 7.79a
栅栏海绵组织厚度比 Ratio of palisade tissue/spongy tissue (%)	0.29	0.26	0.24	0.2
下表皮厚度 Thickness of lower epidermis (μm)	12.74 \pm 1.82a	11.23 \pm 2.28ab	10.90 \pm 1.56bc	9.18 \pm 1.63c
子叶厚度 Thickness of cotyledon (μm)	388.26 \pm 9.85a	378.8 \pm 9.08b	357.37 \pm 5.07c	346.89 \pm 9.07d
主脉厚度 Thickness of major vein (μm)	72.27 \pm 20.35a	65.17 \pm 15.00b	64.26 \pm 8.03b	61.84 \pm 9.07b

注: 数值为平均值 \pm 标准误, 同行数值标记不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 检验)。下同。

Note: Data were mean \pm SE. Different lowercase within the same line indicate significant differences among four light intensities ($P < 0.05$, Duncan's test). The same below

2.2 生长环境光强对夏蜡梅子叶光合作用的影响

2.2.1 生长环境光强对夏蜡梅子叶叶绿素含量的影响

叶片是植物进行光合作用的重要器官, 而叶绿素是植物光合作用最重要的色素。遮荫条件下夏蜡梅子叶的叶绿素含量明显高于全光照条件下(图 1), 其中在 22% 全光照下叶绿素含量最高, 可能是叶绿素含量的提高可以增加用于吸收光能的集光色素蛋白的相对含量, 从而保证叶片在弱光强环境中吸收更多的光能用于光合作用, 这是处于弱光环境的植株叶片维持正常的光合作用所必需的。

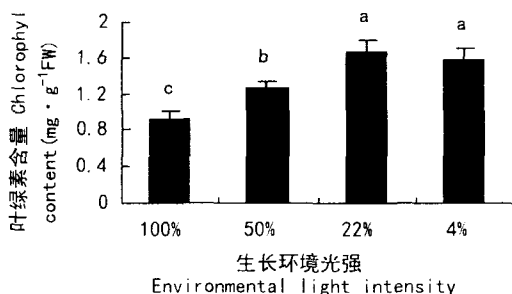


图 1 不同生长环境光强下夏蜡梅子叶叶绿素含量
Fig. 1 Chlorophyll contents in the cotyledons of *Calycanthus chinensis* under different environmental light intensities

2.2.2 生长环境光强对夏蜡梅子叶气体交换参数的影响

影响 图 2 表明, 50% 全光照下生长的夏蜡梅子叶最大净光合速率(饱和净光合速率)最高, 是全光照下的 2.6 倍; 4% 全光照下的最大净光合速率最低, 仅为全光照下的 49%。此外, 50% 全光照下暗呼吸速率最高, 表明其代谢活跃, 植物生长明显优于其他光照条件。随着光强的减弱, 光补偿点和光饱和点依次降低, 这说明夏蜡梅子叶能够适应弱光环境, 在较低光强下仍然能够利用弱光, 从而可以保证进行正常的光合作用。50% 全光照下气孔阻力和胞间 CO_2 浓度最小, 过高或过低的光强均使气孔阻力和胞间 CO_2 浓度增大。遮荫使光合作用的表观量子效率明显增大, 净光合速率对弱光敏感性增强。

3 讨论

子叶由顶端分生组织形成的原基所产生。原基形成以叶性结构为主的侧生结构, 子叶原基不断生长、分化, 开始执行贮藏营养物质的功能; 夏蜡梅幼苗属于子叶出土的类型, 在真叶未形成前担负着进行光合作用为植物体提供营养的功能。子叶的形态比较稳定, 但叶性结构明显受到生长环境光强的影响, 在子叶原基发生的早期阶段, 其内部细胞比较均匀, 随着子叶原基的进一步发育, 表皮细胞、叶肉组

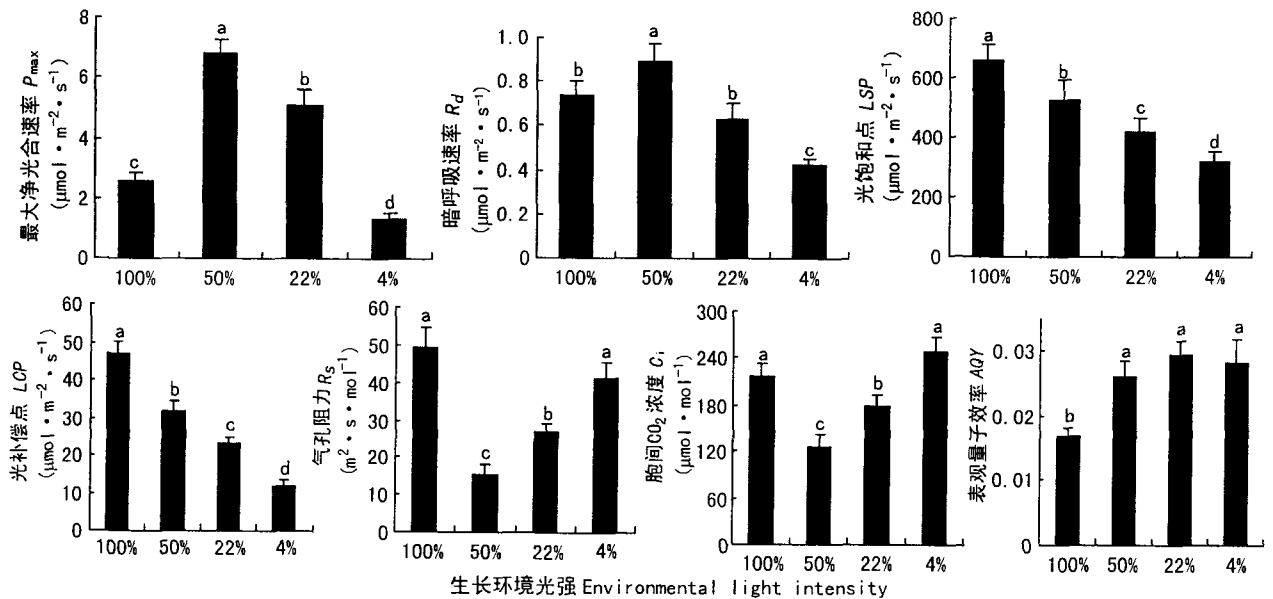


图 2 不同生长环境光强下夏蜡梅子叶光合作用的气体交换参数

Fig. 2 Photosynthetic gas-exchanged parameters in the cotyledons of *Calycanthus chinensis* under different environmental light intensities

织和维管系统将出现明显的分化(白书农, 2003)。本文研究结果表明, 夏蜡梅子叶在全光照下叶肉组织含有较多的细胞, 维管系统较发达; 在 50% 全光照条件下, 子叶的叶肉组织细胞排列紧密、叶脉密集, 维管系统发达。22% 全光照下夏蜡梅子叶细胞排列疏松, 间隙较大; 4% 全光照下叶肉分化不完全, 子叶面积较大, 光合能力较弱。以上结果表明, 在弱光环境下夏蜡梅子叶的结构发生了适应性变化, 但光强过弱(如 4% 全光照)对夏蜡梅子叶生长不利, 造成弱光胁迫, 影响子叶的形态发育与功能。

光照是植物进行光合作用的能源, 同时影响植物光形态建成, 黑暗条件下子叶不能完成其形态建成, 叶绿体也不能正常发育(崔克明, 2007)。夏蜡梅子叶在较高光强下加厚, 叶肉组织细胞数目增加, 而在弱光下其叶肉组织分化不完全, 细胞排列疏松, 子叶变薄, 但栅栏组织与海绵组织叶绿素含量升高, 这说明夏蜡梅子叶能够适应弱光环境, 即使在 4% 全光照条件下, 夏蜡梅子叶叶绿素含量也与 22% 全光照下差异不显著, 说明子叶可通过改变光的捕获和利用能力来适应光环境的变化(杨兴洪等, 2005)。在本试验中所有处于弱光处理下的夏蜡梅子叶光合色素含量均比全光照处理下高, 表明夏蜡梅子叶具备了一定的阴生特征(艾希珍等, 2004)。

光合参数随着生长环境光强的改变发生了较大的变化, 较低光强下(22% 和 4% 全光照)夏蜡梅子叶

的暗呼吸速率降低, 可能是由于适应了低光环境的植物具有相对较低的呼吸速率以减少碳的损耗(郭玉华等, 2004)。夏蜡梅子叶的表观量子效率在 22% 全光照下达到最大值, 而全光照下的表观量子效率在所有处理中最低, 表明夏蜡梅幼苗在弱光环境下, 捕获光量子用于光合作用的能力较强。重度遮荫下(4% 全光照)夏蜡梅子叶光合能力降低时, 虽然气孔阻力有所增大, 但胞间 CO_2 也增高, 所以其光合能力的降低不是由于气孔限制造成的, 可能是由于过度遮荫引起光合有效辐射显著减少使同化力形成减弱和 Rubisco 活性降低引起的(Olesinski 等, 1989)。

夏蜡梅幼苗具有较强的耐荫性, 但对强光的适应性较差。自然光照条件很容易导致 PS II 反应中心的失活而出现光合作用的光抑制。本试验表明, 50% 全光照下夏蜡梅子叶叶脉厚度增加, 叶肉组织分化完全, 饱和光强下净光合速率最大。弱光下夏蜡梅子叶通过增加叶绿素含量、降低光饱和点和光补偿点适应弱光环境并提高光合生产力。从本试验结果来看, 50% 全光照对夏蜡梅子叶的生长发育最为有利, 因此在进行夏蜡梅种子繁殖和幼苗管理中, 应提供适宜的光照条件。

参考文献:

- 白书农. 2003. 植物发育生物学[M]. 北京: 北京大学出版社, 60-65
 崔克明. 2007. 植物发育生物学[M]. 北京: 北京大学出版社,

- 65—68
- 郑朝宗. 2005. 浙江种子植物检索鉴定手册[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 92—93
- 张志良. 1990. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 88—91
- Ai XZ(艾希珍), Guo YK(郭延奎), Ma XZ(马兴庄), et al. 2004. Photosynthetic characteristics and ultrastructure of chloroplast of cucumber under low light intensity in solargreenhouse(弱光条件下日光温室黄瓜需光特性及叶绿体超微结构)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **37**(2): 268—273
- Aleric KM, Kirkman KL. 2005. Growth and photosynthetic responses of the federally endangered shrub, *Lindera melissifolia* (Lauraceae), to varied light environments[J]. *Am J Bot*, **92**: 682—689
- Cao JX(曹建新), Zhang GF(张光飞), Zhang L(张磊), et al. 2008. Acclimation of photosynthesis and growth to different growth light conditions for seedlings of *Cyclobalanopsis glaucoides*(滇青冈幼苗的光合和生长对不同生长光强的适应)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(1): 126—129
- Cavagnaro JB, Trioneb SO. 2007. Physiological, morphological and biochemical responses to shade of *Trichloris crinita*, a forage grass from the arid zone of Argentina[J]. *J Arid Environ*, **68**: 337—347
- Guo YH(郭玉华), Cai ZQ(蔡志全), Cao KF(曹坤芳), et al. 2004. Leaf photosynthetic and anatomic acclimation of four tropical rainforest tree species to different growth light conditions(四种热带雨林树种光合和形态解剖特征对不同生长光强的适应)[J]. *J Wuhan Bot Res*(武汉植物学研究), **22**(3): 240—244
- Hua YB, Sun GY, Wang XC. 2007. Induction characteristics and response of photosynthetic quantum conversion to changes in irradiance in mulberry plants[J]. *J Plant Physiol*, **164**: 959—968
- Jin ZX(金则新), Li JM(李钧敏). 2007. ISSR analysis on genetic diversity of endangered relic shrub *Sinocalycanthus chinensis*(珍稀濒危植物夏蜡梅遗传多样性的 ISSR 分析)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **18**(2): 247—253
- Ke SS(柯世省), Jin ZX(金则新). 2007a. Effect of drought stress and water recovering on physiological characteristics of *Sinocalycanthus chinensis* seedlings(干旱胁迫和复水对夏蜡梅幼苗光合生理特性的影响)[J]. *Plant Nut Fertilizer Sci*(植物营养与肥料学报), **13**(6): 166—172
- Ke SS(柯世省), Jin ZX(金则新). 2007b. Effects of drought stress on lipid peroxidation and antioxidant system in leaves of *Calycanthus chinensis*(干旱胁迫对夏蜡梅叶片脂质过氧化及抗氧化系统的影响)[J]. *Sci Silv Sin*(林业科学), **43**(10): 28—33
- Ke SS(柯世省), Jin ZX(金则新). 2008. Effects of water stress and temperature on gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Sinocalycanthus chinensis* leaves(水分胁迫和温度对夏蜡梅叶片气体交换和叶绿素荧光特性的影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **19**(1): 43—49
- Krause GH, Koroleva OY, Dalling JW, et al. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps[J]. *Plant, Cell Environ*, **24**: 1345—1352
- Li JM(李钧敏), Jin ZX(金则新), Zhu XY(朱小燕). 2007. Comparison of the total tannin in different organs of *Calycanthus chinensis*(夏蜡梅营养器官总鞣质含量的比较)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(6): 944—947
- Li JX(李景秀), Guan KY(管开云), Ohmiya T, et al. 2007. Anatomy on leaf cross sections of *Begonia* from Yunnan, China(云南秋海棠属植物叶片横切面比较解剖研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(4): 543—550
- Li LC(李林初). 1986. Karyotype analysis of *Calycanthus chinensis*(Calycanthaceae)(夏蜡梅核型的研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **6**(3): 221—224
- Li LC(李林初). 1990. Study on the morphological anatomy of pollen of *Sinocalycanthus chinensis*(夏蜡梅属花粉形态的研究)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **10**(1): 93—98
- Liu HE(刘洪涛), Zhang RH(张若蕙), Huang SF(黄少甫), et al. 1996. Study on chromosomes of 8 species of Calycanthaceae(8种蜡梅的染色体研究)[J]. *J Zhejiang Fore Coll*(浙江林学院学报), **13**(1): 28—33
- Mao LZ, Lu HF, Wang Q, et al. 2007. Comparative photosynthesis characteristics of *Calycanthus chinensis* and *Chimonanthus praecox*[J]. *Photosynthetica*, **45**(4): 601—605
- Monaco TA, Johnson DA, Creech JE. 2005. Morphological and physiological responses of the invasive weed *Isatis tinctoria* to contrasting light, soil-nitrogen and water[J]. *Weed Res*, **45**: 460—466
- Ni SF(倪士峰), Pan YJ(潘远江), Fu CX(傅承新), et al. 2003. Study on naphtha of *Sinocalycanthus chinensis* by gas chromatography/mass spectrometry(夏蜡梅挥发油气相色谱—质谱研究)[J]. *Chin J Analytical Chem*(分析化学), **31**(11): 1405
- Olesinski AA, Wolf S, Rudich J, et al. 1989. Effect of leaf age and shading on photosynthesis in potatoes(*Solanum tuberosum*)[J]. *Ann Bot*, **64**: 643—650
- Rozendaal DMA, Hurtado VH, Poorter L. 2006. Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature[J]. *Functional Ecol*, **20**: 207—216
- Wang GG, Bauerle WL, Mudder BT. 2006. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth, and biomass allocation in American chestnut(*Castanea dentata*) seedlings[J]. *Fore Ecol Management*, **226**: 173—180
- Xu YL(徐耀良), Zhang RH(张若蕙), Zhou C(周骋). 1997. Study on communities of *Calycanthus chinensis*(夏蜡梅的群落学研究)[J]. *J Zhejiang Fore Coll*(浙江林学院学报), **14**(4): 355—362
- Yang XH(杨兴洪), Zou Q(邹琦), Zhao SJ(赵世杰). 2005. Photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in leaves of cotton plants grown in full light and 40% sunlight(遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物生态学报), **29**(1): 8—15
- Zhang DP(张大鹏), Huang CL(黄丛林), Wang XC(王学臣). 1995. Study of diurnal changes in photosynthetic rate and quantum efficiency of grapevine leaves and their utilization in canopy management(葡萄叶片光合速率与量子效率日变化的研究及利用)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **37**(1): 25—33
- Zhang FG(张方钢), Chen ZH(陈征海), Qiu YD(邱瑶德), et al. 2001. Distribution population number and main types of community of *Calycanthus chinensis*(夏蜡梅种群的分布数量及其主要群落类型)[J]. *Bull Bot Res*(植物研究), **21**(4): 620—623
- Zheng WJ(郑万钧), Zhang SY(章绍尧). 1964. New genus in the family Calycanthaceae-genus *Sinocalycanthus*(蜡梅科新属—夏蜡梅属)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), **9**(2): 135—136
- Zhou SL(周世良), Ye WG(叶文国). 2002. The genetic diversity and conservation of *Sinocalycanthus chinensis*(夏蜡梅的遗传多样性及其保护)[J]. *Biodiversity Sci*(生物多样性), **10**(1): 1—6