

## 七子花幼苗光合特性的温度响应

柯世省 金则新

(台州学院生物系, 浙江 临海 317000)

**摘要:** 对七子花苗期光合特性的温度响应的研究表明: (1)净光合速率的最适温度为 26-30℃。在 19-40℃之间,暗呼吸速率与温度呈乘幂关系,蒸腾速率与温度呈线性关系。(2)饱和光强、表观量子效率和净光合速率在 29℃时最高,在 39℃时最低,但光补偿点和蒸腾速率升高,光抑制加剧。(3)高温使七子花叶片的羧化效率下降,CO<sub>2</sub> 补偿点上升,从而引起光合能力下降。

**关键词:** 净光合速率; 蒸腾速率; 温度响应; 七子花苗期; 浙江

中图分类号: Q945.11 文献标识码: A 文章编号: 1005-3395(2002)04-0328-07

## Photosynthetic Response to Temperature in *Heptacodium miconioides* Seedlings

KE Shi-sheng JIN Ze-xin

(Department of Biology, Taizhou College, Linhai 317000, China)

**Abstract:** *Heptacodium miconioides* Rehd. (Caprifoliaceae) is a monotypic and endangered species endemic to China. Mature leaves of 3-year-old seedlings of this species were used to determine the photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal resistance in response to light intensity and temperature. Optimum temperature for net photosynthetic rate was 26-30℃. There was a power equation between dark respiration rate and temperature at 19-40℃, and a linear relationship between transpiration rate (Tr) and temperature. Highest saturated light intensity, apparent quantum yield, and Pmax appeared in the seedlings at 29℃, but they were the contrary at 39℃. Light compensation point and Tr increased obviously and the photoinhibition was enhanced at 39℃. High temperature decreased carboxylation efficiency and increased CO<sub>2</sub> compensation point, which led to a significant decrease of photosynthetic capacity. It is suggested that mild shading culture of *H. miconioides* seedlings is beneficial to the reduction of leaf temperature and photoinhibition in the summer.

**Key words:** Net photosynthetic rate; Transpiration rate; Response to temperature; *Heptacodium miconioides* seedlings; Zhejiang

温度是光合作用的重要影响因子, 植物光合作用与环境温度的关系表现在两方面,

收稿日期: 2001-11-06 接受日期: 2002-03-01

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

一方面植物光合作用要求一定的温度范围, 温度对植物的区系分布有着决定性的作用, 另一方面植物光合机构对环境温度有一定的适应能力<sup>[1]</sup>。环境温度对植物光合作用的影响已有不少研究报道, 如温度逆境锻炼<sup>[2-4]</sup>、自然条件下光合作用的温度响应<sup>[5-10]</sup>及对温度的适应<sup>[11-13]</sup>等, 从这些研究结果看来, 不同植物的光合作用对温度的敏感性有一定的差异。本文研究七子花苗期光合特性的温度响应, 旨在加深对珍稀濒危植物对环境变化的响应和适应性的认识和理解。

七子花 (*Heptacodium miconioides*) 为落叶小乔木, 属忍冬科的单型种植物, 为我国特有种, 是国家首批重点保护的 2 级植物, 1992 年列入中国生物多样性保护行动计划优先保护物种名录, 分布于湖北省兴山县, 浙江省天台山、四名山、义乌北山、昌化汤家湾及安徽省泾县和宣城等地<sup>[14]</sup>。它们多生于悬崖峭壁、沟谷和山坡灌丛, 分布范围窄, 现有资源极少。曾有学者对浙江天台山七子花群落特征及种群结构等进行了研究<sup>[15, 16]</sup>, 在该群落林内很少见到七子花实生苗, 幼苗储备严重不足, 种群年龄结构属衰退型, 濒危程度日益加深, 急需对其进行有效的保护。人工栽培管理七子花幼苗, 是复壮七子花种群的一条切实可行的途径。浙江天台山七子花一般从三月底开始展叶, 十一月陆续落叶, 一年中生长期约 7 个月。我们的研究曾表明, 七子花在夏天叶片成熟后, 日均净光合速率在整个生长期中最高, 此时是物质积累、植株生长最重要的时期, 但由于夏天光照强烈, 日温差大, 中午叶片表面的极端温度可达 40℃ 以上, 对七子花的光合特性有很大的影响<sup>[17]</sup>。本文报道在实验室条件下, 保持其它环境因子的基本恒定, 探讨温度对七子花苗期光合特性的影响, 为苗期的栽培管理和种群保护提供参考。

## 1 材料和方法

2000 年 3 月在浙江省天台山狮子岩坑七子花林林缘挖取部分 3 年生七子花实生苗, 移栽到花盆中, 运回实验园地, 常规管理。2001 年 7 月中旬用英国 ADC 公司生产的 LCA-4 型便携式光合测定系统对七子花苗期连体叶片进行测试, 采用开放式气路。以生长状况相似的 5-6 株幼苗的成熟叶片重复测试各项指标, 结果取平均值。测试前每天傍晚浇水一次, 连续一周, 保持土壤水分充足。

**叶片净光合速率、暗呼吸速率及蒸腾速率对温度的响应的测定** 碘钨灯作为光源。光线透过装水的玻璃水箱, 使叶片表面光合有效辐射保持在  $700 \pm 20 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。CO<sub>2</sub> 浓度为  $350 \pm 10 \mu \text{mol mol}^{-1}$ , 空气相对湿度为  $40 \pm 3\%$  (因天台山夏季晴天空气相对湿度常在 40% 左右), 利用光合测定系统的控温装置调节叶室温度在 19-40℃ 之间, 2-3℃ 为一个测试梯度, 每个梯度停留 5 min。用黑布完全遮光测定暗呼吸速率。

**叶片光合作用光响应的测定** 用控温装置设定某个温度, CO<sub>2</sub> 浓度和相对湿度的设定同上。通过改变光源光线强弱和多层纱布均匀遮光相结合的方法调节光合有效辐射从  $1100 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  直到 0, 强光下每梯度变化为  $100-300 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、弱光下 (小于  $160 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 为  $20-30 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 每梯度遮光持续 3 min, 测出从高到低一系列光合有效辐射下叶片的净光合速率、蒸腾速率、气孔阻力和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度等。实测某一温度下叶片的饱和光强。从净光合速率 - 光合有效辐射曲线的初始斜率求得表观量子效率

(AQY)<sup>[18, 19]</sup>, 计算光补偿点。

**不同温度下叶片光合作用对 CO<sub>2</sub> 浓度响应的测定** 设定某个温度, 保持光合有效辐射为 700±20 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 相对湿度 40±3%, 用光合测定系统设定不同的进气 CO<sub>2</sub> 浓度, 测定净光合速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度, 以净光合速率对系列胞间 CO<sub>2</sub> 浓度进行线性回归求得羧化效率 (CE), 计算 CO<sub>2</sub> 补偿点<sup>[18, 19]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 CO<sub>2</sub> 交换速率和蒸腾速率对温度的响应

从图 1A 可以看出, 700 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 下叶片净光合速率 (Pn) 最适温度在 26-30℃ 之间, 低于或高于最适温度, 净光合速率都降低。在 19-40℃ 之间, 随着温度的升高暗呼吸速率 (Rd) 增大。净光合速率与暗呼吸速率相加即为植物真正的光合速率 (Pr), Pr 的最适温度为 26-31℃, 在高温段其下降幅度低于净光合速率。可见, 温度对叶片的 CO<sub>2</sub> 交换速率有较大的影响。经拟合, 得到下列 CO<sub>2</sub> 交换速率 (y) 与叶片温度 (x) 的回归方程:

$$Pn: y = -8 \times 10^{-5} x^3 - 0.0325 x^2 + 1.6147 x - 14.938 \quad (n=8, R^2=0.9827)$$

$$Rd: y = 0.0028 x^{1.8612} \quad (n=8, R^2=0.9503)$$

$$Pr: y = 0.0007 x^3 - 0.0852 x^2 + 3.0949 x - 27.84 \quad (n=8, R^2=0.9431)$$

如图 1B 所示, 在 19-40℃ 之间, 随着叶温的升高, 叶片蒸腾速率增大, 但在光合有效辐射 (PAR) 为 700 和 0 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 的条件下, 它们增加的幅度和趋势是不同的, 经拟合, 得到下列蒸腾速率 (y) 与叶片温度 (x) 的回归方程:

$$PAR=700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}: y = 0.147x - 2.4689 \quad (n=8, R^2=0.9862)$$

$$PAR=0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}: y = 0.0092 e^{0.124x} \quad (n=8, R^2=0.9786)$$

蒸腾速率在光照下比在暗中高, 与叶温呈线性关系, 在暗中, 蒸腾速率在低温段增加幅度不大, 在高温段则增加幅度较大, 其与叶温的关系呈现指数方程。

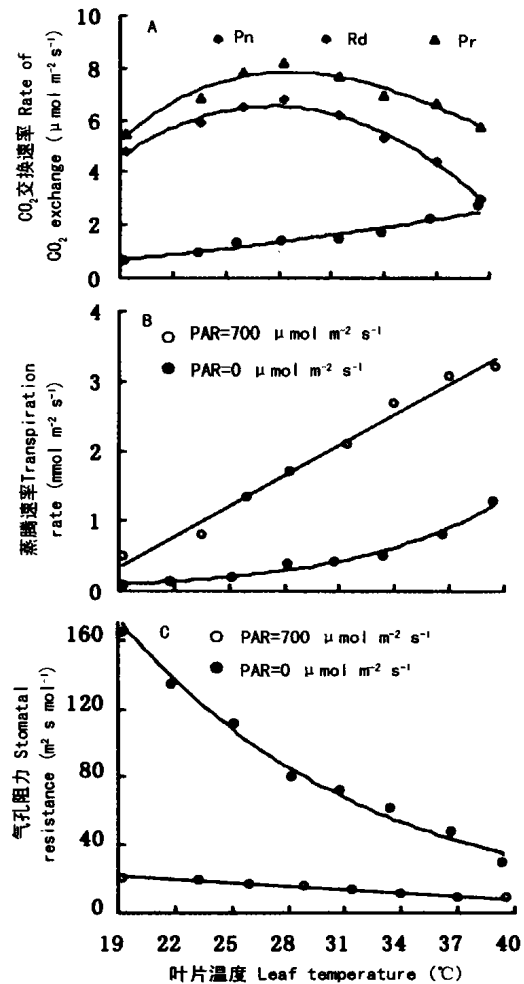


图 1 CO<sub>2</sub> 交换速率、蒸腾速率和气孔阻力对叶片温度的响应

Fig. 1 Photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal resistance in response to leaf temperature

PAR: 光合有效辐射 Photosynthetically active radiation; Pn: 净光合速率 Net photosynthetic rate; Rd: 暗呼吸 Dark respiration; Pr: 光合速率 Photosynthetic rate

从图 1C 还可以看出, 在 PAR=700 和 PAR =0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  两种光照下, 气孔阻力与温度的关系是不同的, 前者符合直线方程, 后者符合指数方程:

$$\text{PAR} = 700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}: y = -1.1516x + 51.759$$

(n=8, R<sup>2</sup> = 0.9297)

$$\text{PAR} = 0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}: y = 751.71e^{-0.0775x}$$

(n=8, R<sup>2</sup> = 0.9756)

2.2 温度对光响应的影响

2.2.1 温度对光合作用光响应的影响

在低温 (19℃)、最适温 (29℃) 和高温 (39℃) 三种温度下观察温度对光合作用光响应的影响 (图 2)。对其数据进行回归分析, 得到表 1 的光合参数。

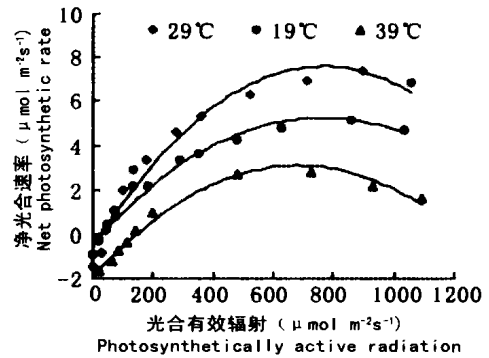


图 2 不同温度下净光合速率的光响应  
Fig.2 Response of net photosynthetic rates to light intensity at different temperatures

表 1 不同温度下光合作用的参数比较

Table 1 The comparison of photosynthetic parameters at different temperatures

光合参数 Photosynthetic parameters	19℃	29℃	39℃
净光合速率光响应直线 Linear equation of Pn-light curve	$y = 0.0223x - 0.8241$ (n=5, R <sup>2</sup> =0.9894)	$y = 0.0325x - 1.4311$ (n=6, R <sup>2</sup> =0.9885)	$y = 0.0167x - 2.1553$ (n=6, R <sup>2</sup> =0.9903)
暗呼吸速率 Dark respiration rate ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.82	1.43	2.16
饱和光强 Saturated light intensity ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	850	890	630
光补偿点 Light compensation point ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	37	44	129
表观量子效率 Apparent quantum yield	0.0223	0.0325	0.0167

从表 1 和图 2 看出, 在 19℃、29℃、39℃ 三种温度下, 温度升高, 导致光补偿点增高, 暗呼吸速率增大。在 29℃ 时饱和光强、表观量子效率最高, 饱和光强下的净光合速率也最高, 而在 39℃ 时饱和光强、表观量子效率最低, 饱和光强下的净光合速率也最低。七子花的表观量子效率与自然条件下一般植物的 0.03-0.05 值<sup>[20]</sup>相比处于下限, 表明七子花利用光能的能力较弱, 因而植株生长缓慢。从图 2 还可看出, 当光合有效辐射超过饱和光强后, 净光合速率下降, 而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度却上升 (图 3A), 表明此时净光合速率的下降不是由于 CO<sub>2</sub> 供应不足而是由于叶肉细胞光合活性下降即光抑制引起的<sup>[21,22]</sup>。随着叶片温度的升高, 光抑制加剧。由于晴天的光合有效辐射很强, 中午前后可达 2 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 而七子花苗期叶片的饱和光强在 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下, 因此在栽培管理中, 需适当遮荫, 以降低叶片表面温度, 减小水分蒸腾和提高光能利用率, 减轻光抑制。

2.2.2 温度对气孔阻力和蒸腾速率光响应的影响

气孔是一个对内部和外部因子敏感性都极高、具有调节作用的阀口, 气孔开放有利于叶片光合作用的碳固定, 并由于蒸腾的降温作用使叶片在高温的情况下避免热损伤。气孔关闭能减少水分的消耗, 降低由于过分失水而导致植物出现极度水分亏缺的危险。气孔行为总是以优先获得最大的碳收益, 尽量减少水分消耗为特点<sup>[23]</sup>。在 19℃、29℃ 和 39℃ 下, 气孔阻力

的光响应行为是不同的 (图3B)。在低温和中温段,随着光合有效辐射的增强,气孔阻力减小,净光合速率同时增高(图2),19℃下光合有效辐射在 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右,29℃下光合有效辐射在 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 左右,气孔阻力基本上不再随着光合有效辐射的进一步增强而减小,而是维持在一定的大小,当光合有效辐射超过 $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以后,才稍有增大,此时光合作用的光抑制加强(图2,表1)。在39℃的高温下,气孔阻力较低,且变化比较平缓。有研究表明,在湿润季节影响气孔阻力变化的主要环境因子是空气相对湿度<sup>[24]</sup>,但本文在空气相对湿度基本不变的情形下,光合有效辐射和温度明显地影响气孔阻力。

蒸腾速率随着温度的升高而增大(图3C)。在19℃、29℃、39℃下的光响应过程中,蒸腾速率与气孔阻力的相关系数分别为 $r_1=-0.8961(n=12)$ 、 $r_2=-0.9789(n=13)$ 、 $r_3=-0.8317(n=11)$ ,气孔阻力与蒸腾速率高度负相关,表明苗期七子花可通过调节气孔开度来达到调节蒸腾速率的目的。高温下,如果土壤水分充足,植物可以利用较强的蒸腾进行降温,减轻热伤害。

### 2.3 温度对光合作用 CO<sub>2</sub> 响应的影响

CO<sub>2</sub> 补偿点和羧化效率是衡量植物光合能力的重要参数。温度影响 CO<sub>2</sub> 溶解度、Rubisco (RuBP 羧化酶) 对 CO<sub>2</sub> 的亲合力以及光合机构关键成分的热稳定性<sup>[25]</sup>,引起 CO<sub>2</sub> 补偿点和羧化效率发生变化。不同温度下光合作用 CO<sub>2</sub> 响应见表2。29℃时羧化效率最高,CO<sub>2</sub> 补偿点最低;39℃时羧化效率最低,CO<sub>2</sub> 补偿点最高。表明高温使羧化效率下降,CO<sub>2</sub> 补偿点上升,从而引起光合能力的下降。

表 2 不同温度下光合作用对胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的响应

Table 2 Response of photosynthesis to intercellular CO<sub>2</sub> concentration (C<sub>i</sub>) at different temperatures

羧化参数 Carboxylation parameters	19℃	29℃	39℃
回归方程 Regression equation (Pn-C <sub>i</sub> )	$y=0.0313x-6.4165$ (n=9, R <sup>2</sup> =0.9623)	$y=0.0346x-6.4356$ (n=8, R <sup>2</sup> =0.9745)	$y=0.0279x-7.3656$ (n=8, R <sup>2</sup> =0.8912)
羧化效率 Carboxylation efficiency	0.0313	0.0346	0.0279
CO <sub>2</sub> 补偿点 CO <sub>2</sub> compensation point ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	205	186	264

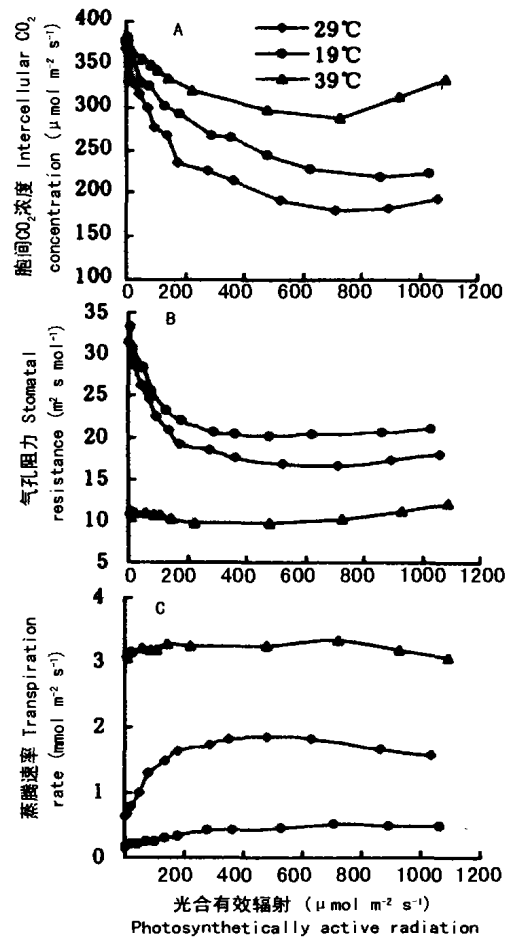


图 3 不同温度下胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、气孔阻力和蒸腾速率的光响应

Fig. 3 Response of intercellular CO<sub>2</sub> concentration, stomatal resistance and transpiration rate to light intensity at different temperatures

### 3 讨论

七子花分布范围狭窄,种群日趋缩小,濒危程度日益加重,后来在模式标本产地湖北兴山未能采到七子花标本就是一例<sup>[29]</sup>。造成濒危的原因可能是多方面的,如过度的樵采导致个体数的减少等,此外也与其自身的生存能力较弱有关。落叶树种七子花在生长季节平均净光合速率比伴生常绿树种低<sup>[17]</sup>,加上生长期短,且树冠比较稀疏,叶量不大,使得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。因而植株多居乔木层第2亚层,少量分布于灌木层中,仅个别个体进入乔木层第1亚层<sup>[15,16]</sup>。由于七子花光合能力低,竞争能力弱,在水热条件优越的地段,往往被竞争能力强的常绿树种所占据,不得不退到土层浅薄、岩石裸露的沟谷等恶劣的生境中<sup>[27]</sup>,人类活动的进一步加剧,很有可能导致该种的灭绝。因此,急需对七子花进行切实有效的保护。

光合适温下七子花苗期光补偿点约为  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,比典型阳生性植物高<sup>[28]</sup>,表明七子花不耐荫,在郁蔽度很高的林内其幼苗生长处于不利地位,常因光照过弱造成光合不足而饥饿死亡,并且种子休眠期长,萌发率极低<sup>[29]</sup>,在群落中缺乏幼苗,幼树也极少,天然更新困难,种群的年龄结构属衰退型<sup>[15,16]</sup>,这可能也是导致成为濒危物种的原因。

对七子花幼苗进行人工栽培管理是种群复壮的一条可行途径。七子花是落叶树种,夏季是它主要的生长季节,但夏季光照强烈,日温差很大,在高光强和高温的午间净光合速率下降很大,有严重的光合“午休”现象,对其生长发育带来严重的影响<sup>[29]</sup>。光合作用最适温度在  $26\text{--}30^\circ\text{C}$ ,超过  $30^\circ\text{C}$ 后,净光合速率下降很快。进一步研究表明,高温引起光补偿点、 $\text{CO}_2$  补偿点升高,饱和光强、表观量子效率和羧化效率下降,光抑制加强,使得光合能力下降,同时蒸腾速率升高,光合作用的水分利用效率降低,因此,高温成为光合作用的重要限制因子。夏季高温由高光强引起,由于七子花苗期的饱和光强在  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下,而夏季的光合有效辐射大部分时间里都在  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上,所以在苗期的栽培管理中可以适当遮荫,降低叶片温度,减轻光抑制,以提高净光合速率,促进植株生长。

#### 参考文献:

- [1] Berry J, Bjorkman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1980, 31:491-543.
- [2] 杨盛昌, 林鹏, 李振基, 等. 夜间低温对红树幼苗光合特性的影响 [J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1999, 35 (4): 617-622.
- [3] 郭延平, 张良诚, 沈允钢. 低温胁迫对温州蜜柑光合作用的影响 [J]. *园艺学报*, 1998, 25 (2):111-116.
- [4] 马德华, 庞金安, 李淑菊, 等. 温度逆境锻炼对高温下黄瓜幼苗生理的影响 [J]. *园艺学报*, 1998, 25 (4): 350-355.
- [5] 林伟宏, 白克智, 匡廷云. 大气  $\text{CO}_2$  浓度和温度升高对水稻叶片及群体光合作用的影响 [J]. *植物学报*, 1999, 41(6): 624-628.
- [6] 李双顺, 庞成发. 香瓜梨对温度响应的生理特性研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 1995, 3 (1):59-63.
- [7] 王邦锡, 王辉, 黄久常. 沙拐枣同化枝的光合作用和呼吸作用对生长季节、光照强度、高温和干旱的响应 [J]. *林业科学*, 1997, 33 (1):18-23.
- [8] 胡新生, 王世绩. 温度和湿度对杨树无性系光合机构  $\text{CO}_2$  瞬间响应分析 [J]. *林业科学研究*, 1996, 9 (4):368-375.
- [9] 艾希珍, 张振贤, 王绍辉, 等. 温度对生姜叶片光合特性的影响 [J]. *中国蔬菜*, 1998, (3):1-3.

- [10] 张目清, 吕建林, 陈如凯. 甘蔗光合速率的日变化及其对光温的响应 [J]. 福建农业大学学报, 1998, 27 (4): 397-401.
- [11] 蔡惟涓, 屠曾平, 李小林, 等. 杂种稻在不同温度条件下的光合适应性和光合生产力的研究 [J]. 中国水稻科学, 1994, 8 (3): 145-150.
- [12] 陈志辉, 张良诚. 柑桔光合作用对环境温度的适应 [J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20 (4): 389-392.
- [13] 刘殊, 廖镜思, 陈华芳, 等. 龙眼光合作用对环境温度的响应和适应 [J]. 中国南方果树, 1998, 27 (1): 7-10.
- [14] 中国科学院植物志编辑委员会. 中国植物志 第七十二卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1988. 110.
- [15] 金则新. 浙江天台山七子花群落研究 [J]. 生态学报, 1998, 18(2): 127-132.
- [16] 金则新. 浙江天台山七子花种群结构和分布格局研究 [J]. 生态学杂志, 1997, 16(4): 15-19.
- [17] 柯世省, 金则新, 陈贤田. 浙江天台山七子花等 6 种阔叶树光合生态特性 [J]. 植物生态学报, 录用待发表.
- [18] 中国科学院上海植物生理研究所. 现代植物生理学实验指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 89-95.
- [19] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸 (*Liriodendron chinense*) 苗期光合特性研究 [J]. 生态学报, 1999, 19(2): 164-169.
- [20] 余叔文. 植物生理学和分子生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992. 236-243.
- [21] Xu D Q, Shen Y G. Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants [J]. Acta Phytophysiol Sin, 1997, 23 (4): 410-416.
- [22] Aro E-M, Virgin I, Andersson B. Photoinhibition of photosystem II. Inactive, protein damage and turnover [J]. Biochim Biophys Acta, 1993, 1143: 113.
- [23] 赵平, 曾小平, 彭少麟, 等. 海南红豆 (*Ormosia pinnata*) 夏季叶片气体交换、气孔导度和水分利用效率的日变化 [J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(1): 35-42.
- [24] Grace J, Okali U U, Faschun F E. Stomatal conductance of two tropical trees during the wet season in Nigeria [J]. J Appl Ecol, 1983, 19: 659-670.
- [25] Berry J A, Downton W J S. Photosynthesis Vol II. Development, Carbon Metabolism and Plant Productivity [M]. New York: Academic Press, 1982. 263.
- [26] 徐根娣, 刘鹏, 厉萍. 七子花种质资源保护方法探索 [J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 1998, 21(1): 71-76.
- [27] 金则新. 浙江天台山七子花群落种群分布格局研究 [J]. 广西植物 1999, 19(1): 47-52.
- [28] Larcher W. 翟志席, 郭玉海, 马永泽, 等译. 植物生态生理学 [M]. 第 5 版. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 78.
- [29] 柯世省, 金则新, 李钧敏, 等. 七子花苗期光合生理生态特性研究 [J]. 武汉植物学研究, 录用待发表.