

## 6种乔木和7种灌木树种叶片对光强和CO<sub>2</sub>浓度的响应

康华靖, 应苗苗\*, 戎建涛, 郑嘉玲, 毛静媛, 徐婷婷

(温州科技职业学院 园林水利工程系, 浙江 温州 325006)

**摘要:** 2015年7-8月, 对浙江省温州市绿化的6种乔木树种和7种灌木树种叶片对光强和CO<sub>2</sub>浓度的响应差异进行监测和比较。结果表明, 乔木树种中, 樟(*Cinnamomum camphora*)的饱和光强最高, 其次依次为桉(*Eucalyptus robusta*)、雅榕(*Ficus concinna* var. *concinna*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)、白兰(*Michelia alba*)和木犀(*Osmanthus fragrans*); 光补偿点木犀最高, 之后依次为桉、鹅掌楸、雅榕、樟和白兰; 樟、雅榕和桉具有相对较高的最大羧化速率( $P<0.05$ )和相对较低的饱和胞间CO<sub>2</sub>浓度及胞间CO<sub>2</sub>补偿点。灌木树种中, 红花檵木(*Loropetalum chinense* var. *rubrum*)的饱和光强、最大光合速率、最大羧化速率和初始羧化效率均为最高( $P<0.05$ )。建议在温州市城市绿化中可优先考虑樟、雅榕、桉及红花檵木。

**关键词:** 绿化树种; 光合作用; 光饱和点; 光补偿点

中图分类号: S718.45

文献标识码: A

## Response of Some Tree and Shrub Speices Leaves on Light and CO<sub>2</sub>

KANG Hua-jing, YING Miao-miao\*, RONG Jian-tao, ZHENG Jia-ling, MAO Jing-yuan, XU Ting-ting

(Wenzhou Vocational College of Science and Technology, Wenzhou 325006, China)

**Abstract:** Determinations during July and August of 2015 and analysis were conducted on light and CO<sub>2</sub> response of leaves of 6 tree and 7 shrub species as greening plant in Wenzhou city, Zhejiang province. Results showed that light saturation point (LSP) of arbor species was ordered by *Cinnamomum camphora*, *Eucalyptus robusta*, *Ficus concinna* var. *concinna*, *Liriodendron chinense*, *Michelia alba* and *Osmanthus fragrans*, and light compensation point ordered by *O. fragrans*, *E. robusta*, *L. chinense*, *F. concinna* var. *concinna*, *C. camphora* and *M. alba*. *C. camphora*, *F. concinna* var. *concinna* and *E. robusta* had relative higher the maximum carboxylation rate, but lower saturated intercellular CO<sub>2</sub> concentration and compensation point of intercellular CO<sub>2</sub> concentration. Among tested shrub species, *L. chinense* var. *rubrum* had the highest LSP, the maximum photosynthetic rate, the maximum carboxylation rate initial carboxylation efficiendy. Experiment resulted that *C. camphora*, *F. concinna* var. *concinna*, *E. robusta* and *L. chinense* var. *rubrum* were proposed to be planted in Wenzhou.

**Key words:** greening tree species; photosynthesis; light saturation point; light compensation point

随着我国经济的快速发展和城市化进程的加快, 城市规模不断扩张, 城市环境面临着严峻的挑战。以“热岛效应”为代表的热环境变化, 已成为影响城市环境质量的重要因素, 尤其是夏季, 高温酷暑严重影响人们的生活质量。全球气候变暖导致全世界范围内“低碳”、“减排”的呼声越来越高, 城市森林因其潜在的碳吸存能力而受到广泛关注<sup>[1]</sup>。树木的生长是碳素化合物的积累过程, 这些碳素化合物最终来自光合作用所固定的CO<sub>2</sub>。目前, 城市园林树木的生理特性, 特别是光合特性受到众多学者的关注<sup>[2~4]</sup>, 通过对园林树木光合特性的测定与

收稿日期: 2016-06-17; 修回日期: 2016-08-09

基金项目: 浙江省科技厅项目(2014C25039); 浙江省哲学社会科学规划课题(16NDJC138YB); 温州市科技计划项目(S20130003); 温州市2015年公益性科技计划项目(S20150023); 温州市重点科技创新团队项目(C20150008); 博士科研启动项目

作者简介: 康华靖(1982-), 男, 讲师, 博士, 从事植物光合生理生态; \*通讯作者。

分析,探讨不同树种间的光合特性差异及其对城市环境的适应性,可为城市园林树木的栽培管理、配置等提供理论依据与指导<sup>[5]</sup>。

近年来,浙江省温州市因创建国家园林城市而大力推进城市绿化。然而,部分绿化树种长势较差。应用气体交换技术来测定和计算植物光合速率、蒸腾速率及光能利用率、水分利用效率等生理生态指标,在基础上可用于分析不同树种之间的差异和对环境的适应能力<sup>[6]</sup>。为此,选择温州行道树或公园主要绿化树种,比较其叶片对光强和  $\text{CO}_2$  浓度的响应差异,探讨不同树种间的差异及其对温州城市环境的适应性,以期城市绿化树种的选择与经营管理提供理论基础。

## 1 材料和方法

### 1.1 树种的选择

对温州主要行道树以及市区公园调查后,选择了 6 个乔木树种:樟(*Cinnamomum camphora*)、雅榕(*Ficus microcarpa* var. *pusillifolia*)、木犀(*Osmanthus fragrans*)、桉(*Eucalyptus robusta*)、白兰(*Michelia alba*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*); 7 种灌木树种:锦绣杜鹃(*Rhododendron pulchrum*)、山茶(*Camellia japonica*)、红花檵木(*Loropetalum chinense* var. *rubrum*)、红叶石楠(*Photinia* × *fraseri*)、大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、日本珊瑚树(*Viburnum odoratissimum* var. *awabuki*)、海桐(*Pittosporum tobira*)。

### 1.2 数据的测量

绿化树种具有固碳释氧、增湿降温等生态效应,夏秋季体现最明显。因此,2015 年 7–8 月的晴天采用美国 Licor 公司生产的 Licor-6400 型便携式光合作用测定系统进行测量。具体测量条件设置参考叶飞英等<sup>[7]</sup>方法。

在自然光活化至少 30 min 后,应用 Li-6400-40 探头提供不同光强(PAR),分别为 2 000, 1 800, 1 600, 1 400, 1 200, 1 000, 800, 600, 400, 200, 150, 100, 80, 50 和  $0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,应用  $\text{CO}_2$  小钢瓶(配套的  $\text{CO}_2$  注入系统)提供  $400 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$  的  $\text{CO}_2$  浓度,采用自动测量程序进行数据记录。运用直角双曲线的修正模型拟合光响应曲线<sup>[8–9]</sup>,得到饱和光强等相关光合参数。 $\text{CO}_2$  曲线的测量时,应用  $\text{CO}_2$  注入系统提供不同的  $\text{CO}_2$  梯度(Ca),分别为 1 000, 800, 600, 400, 380, 200, 150, 100, 80, 50 和  $0 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;应用 Li-6400-40 探头提供饱和光强,采用自动测量程序进行数据记录。运用直角双曲线的修正模型拟合光响应曲线<sup>[8–9]</sup>,得到最大羧化速率等相关光合参数。

### 1.3 数据统计分析

测定数据均重复 5 次,求其平均值。采用 SPSS 11.5 进行方差差异显著性分析,Excel2010 作图。

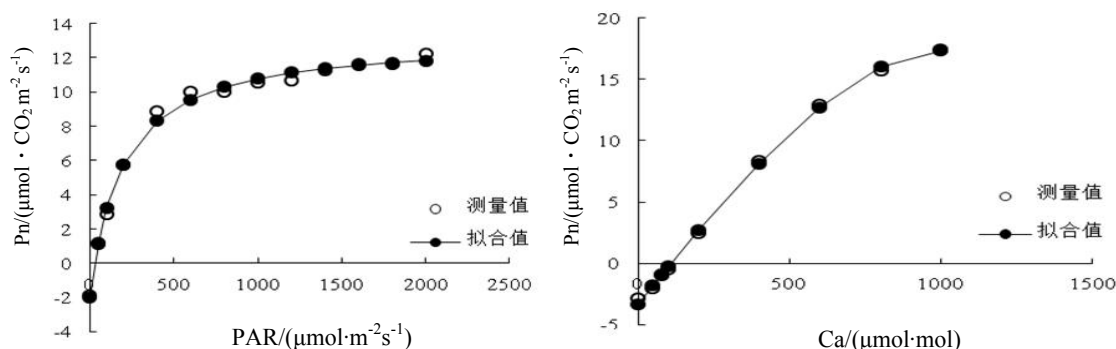


图 1 樟叶片光响应曲线(左)和  $\text{CO}_2$  响应曲线(右)的拟合效果  
Figure 1 Fitting result of light response curve (left) and  $\text{CO}_2$  response curve (right) of *C. camphora* leaves

## 2 结果与分析

### 2.1 光响应曲线的拟合

由图 1 可看出,直角双曲线修正模型可很好地拟合樟叶片的光响应曲线和  $\text{CO}_2$  响应曲线,根据拟合的结果

显示, 其相关系数均大于 0.99 (见表 1、表 2)。

表 1 6 种乔木树种叶片光响应曲线拟合结果  
Table 1 Fitting result of light response curves of 6 arbor species

树种	初始量子效率 $\alpha$	最大光合速率	饱和光强	光补偿点	暗呼吸速率
		$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
雅榕	$0.078 \pm 0.011\text{b}$	$13.041 \pm 1.599\text{b}$	$1\,350.314 \pm 125.617\text{c}$	$27.359 \pm 5.536\text{c}$	$1.912 \pm 0.170$
樟	$0.100 \pm 0.014\text{a}$	$14.155 \pm 2.810\text{b}$	$2\,370.150 \pm 303.203\text{a}$	$26.928 \pm 4.807\text{c}$	$2.394 \pm 0.746$
木犀	$0.080 \pm 0.033\text{b}$	$3.593 \pm 0.629\text{d}$	$989.919 \pm 219.289\text{d}$	$54.133 \pm 13.845\text{a}$	$2.300 \pm 0.294$
白兰	$0.083 \pm 0.030\text{b}$	$8.368 \pm 2.144\text{c}$	$1\,014.922 \pm 200.188\text{d}$	$24.057 \pm 2.906\text{c}$	$1.702 \pm 0.418$
鹅掌楸	$0.090 \pm 0.017\text{ab}$	$8.614 \pm 2.119\text{c}$	$1\,221.783 \pm 500.442\text{c}$	$34.774 \pm 3.920\text{b}$	$2.527 \pm 0.536\text{a}$
桉	$0.088 \pm 0.004\text{ab}$	$22.177 \pm 4.070\text{a}$	$1\,664.837 \pm 69.638\text{b}$	$35.450 \pm 2.635\text{b}$	$2.860 \pm 0.091\text{a}$

注: 字母表示同一物种同一指标间的显著性比较 ( $P < 0.05$ )。下同。

由表 1 可知, 6 种乔木树种最大光合速率 ( $P_{\max}$ ) 以桉最高, 之后依次为樟、雅榕、鹅掌楸、白兰, 木犀最低。这与桉为速生树种的特性相一致。饱和光强 ( $LSP$ ) 则以樟最高, 其次依次为桉、雅榕、鹅掌楸、白兰和木犀; 光补偿点 ( $LCP$ ) 以木犀为最高, 之后依次为桉、鹅掌楸、雅榕、樟和白兰。这与树种的生长习性相吻合, 如木犀性喜温暖、湿润。强日照和隐蔽对其生长均不利。而暗呼吸速率 ( $R_d$ ) 整体上差异较小 ( $P < 0.05$ ), 分析认为这与暗呼吸速率本身相对较小, 且测量时温度均较高有关。

表 2 7 种灌木树种叶片光响应曲线拟合结果  
Table 2 Fitting result of light response curves of 7 shrub species

树种	初始量子效率 $\alpha$	最大光合速率	饱和光强	光补偿点	暗呼吸速率
		$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
锦绣杜鹃	$0.060 \pm 0.013\text{c}$	$7.146 \pm 0.471\text{b}$	$683.602 \pm 30.712\text{d}$	$25.755 \pm 2.952\text{c}$	$1.360 \pm 0.225\text{b}$
红花檵木	$0.074 \pm 0.019\text{b}$	$12.836 \pm 1.278\text{a}$	$1\,706.292 \pm 675.962\text{a}$	$38.895 \pm 1.100\text{a}$	$1.951 \pm 0.865\text{a}$
山茶	$0.048 \pm 0.007\text{d}$	$4.072 \pm 0.804\text{c}$	$856.284 \pm 172.187\text{c}$	$42.925 \pm 8.798\text{a}$	$1.365 \pm 0.653\text{b}$
红叶石楠	$0.079 \pm 0.008\text{ab}$	$11.371 \pm 1.824\text{a}$	$1\,128.324 \pm 68.062\text{b}$	$33.985 \pm 5.272\text{b}$	$2.374 \pm 0.310\text{a}$
大叶黄杨	$0.303 \pm 0.058\text{e}$	$6.724 \pm 1.782\text{b}$	$624.750 \pm 70.171\text{d}$	$27.884 \pm 4.609\text{c}$	$2.205 \pm 1.576\text{a}$
海桐	$0.066 \pm 0.017\text{c}$	$7.636 \pm 1.887\text{b}$	$1\,154.039 \pm 214.567\text{b}$	$23.898 \pm 5.877\text{d}$	$1.336 \pm 0.345\text{b}$
日本珊瑚树	$0.085 \pm 0.005\text{a}$	$6.025 \pm 0.694\text{b}$	$861.389 \pm 48.287\text{c}$	$30.897 \pm 1.944\text{b}$	$2.107 \pm 0.202\text{a}$

由表 2 可知, 7 种灌木树种  $P_{\max}$  以红花檵木最高, 之后依次为红叶石楠、海桐、锦绣杜鹃、大叶黄杨、日本珊瑚树和山茶。这也许与树种的萌枝特性相关, 除山茶外其余树种均具有较强的萌枝能力, 生长相对较快, 需要的光合产物也相应较多。 $LSP$  也是红花檵木最高, 其次依次为海桐、红叶石楠、日本珊瑚树、山茶、锦绣杜鹃和大叶黄杨;  $LCP$  则以山茶为最高, 之后依次为红花檵木、红叶石楠、日本珊瑚树、大叶黄杨、锦绣杜鹃和海桐; 锦绣杜鹃、山茶和海桐的  $R_d$  整体上无差异, 而红花檵木、红叶石楠、大叶黄杨和日本珊瑚树的暗呼吸速率差异较大。综合来看, 山茶的光合特性表现稍差。

2.2 CO<sub>2</sub> 响应曲线的拟合

表 3 6 种乔木树种叶片 CO<sub>2</sub> 曲线响应拟合结果  
Table 3 Fitting result of CO<sub>2</sub> response curves of 6 arbor species

树种	初始羧化效率	饱和胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	最大羧化速率	胞间 CO <sub>2</sub> 补偿点	光下呼吸
		$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$
雅榕	$0.035 \pm 0.006\text{b}$	$955.824 \pm 124.350\text{b}$	$19.913 \pm 4.565\text{a}$	$103.115 \pm 9.889\text{b}$	$3.513 \pm 0.519\text{a}$
樟	$0.038 \pm 0.011\text{b}$	$998.072 \pm 78.939\text{b}$	$20.131 \pm 2.210\text{a}$	$100.652 \pm 21.158\text{b}$	$3.656 \pm 0.409\text{a}$
木犀	$0.028 \pm 0.008\text{c}$	$1\,178.906 \pm 123.089\text{a}$	$12.374 \pm 4.698\text{b}$	$112.531 \pm 31.023\text{a}$	$3.110 \pm 0.574\text{a}$
白兰	$0.022 \pm 0.004\text{c}$	$1\,034.546 \pm 158.805\text{a}$	$17.358 \pm 3.973\text{a}$	$111.523 \pm 8.808\text{a}$	$2.458 \pm 0.317\text{b}$
鹅掌楸	$0.025 \pm 0.006\text{c}$	$1\,026.251 \pm 41.720\text{a}$	$17.870 \pm 4.206\text{a}$	$114.910 \pm 16.030\text{a}$	$3.272 \pm 0.350\text{a}$
桉	$0.044 \pm 0.028\text{a}$	$822.342 \pm 41.031\text{c}$	$18.751 \pm 1.360\text{a}$	$63.013 \pm 5.885\text{c}$	$2.326 \pm 0.783\text{b}$

表 4 7 种灌木树种叶片 CO<sub>2</sub> 曲线响应拟合结果  
Table 4 Fitting result of CO<sub>2</sub> response curves of 7 shrub species

树种	初始羧化效率	饱和胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	最大羧化速率	CO <sub>2</sub> 补偿点	光下呼吸
		$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	$/ (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$
锦绣杜鹃	$0.026 \pm 0.006\text{c}$	$878.133 \pm 34.591\text{b}$	$16.776 \pm 2.077\text{c}$	$132.873 \pm 18.341\text{b}$	$3.406 \pm 0.899\text{b}$
红花檵木	$0.043 \pm 0.011\text{a}$	$1\,084.134 \pm 169.017\text{a}$	$35.069 \pm 5.042\text{a}$	$96.837 \pm 9.078\text{d}$	$4.153 \pm 1.022\text{a}$
山茶	$0.022 \pm 0.012\text{c}$	$894.639 \pm 133.920\text{b}$	$11.958 \pm 1.800\text{d}$	$96.659 \pm 13.438\text{d}$	$2.006 \pm 0.815\text{d}$
红叶石楠	$0.034 \pm 0.007\text{b}$	$972.809 \pm 39.787\text{a}$	$26.005 \pm 3.332\text{b}$	$114.659 \pm 5.388\text{c}$	$3.654 \pm 0.376\text{ab}$
大叶黄杨	$0.020 \pm 0.006\text{cd}$	$785.146 \pm 23.103\text{c}$	$9.521 \pm 0.714\text{e}$	$141.808 \pm 16.291\text{b}$	$2.730 \pm 0.504\text{c}$
海桐	$0.023 \pm 0.007\text{c}$	$991.298 \pm 201.549\text{a}$	$17.456 \pm 6.073\text{c}$	$109.555 \pm 20.261\text{c}$	$2.479 \pm 0.301\text{c}$
日本珊瑚树	$0.016 \pm 0.009\text{d}$	$1\,173.890 \pm 108.362\text{a}$	$13.636 \pm 3.145\text{d}$	$210.142 \pm 40.628\text{a}$	$3.386 \pm 0.983\text{b}$

由表 3 可知, 6 种乔木树种除木犀树外, 其余几种的最大羧化速率相对较高, 整体上差异不明显; 饱和胞间  $\text{CO}_2$  浓度和胞间  $\text{CO}_2$  补偿点均则以桉较低, 与其余几种乔木树种有显著差异 ( $P<0.05$ ); 初始羧化效率以桉最高, 其次依次为樟、雅榕、木犀、鹅掌楸和白兰。这与光响应曲线的拟合结果相一致。

由表 4 可知, 7 种灌木树种红花檵木的最大羧化速率远远高于其他几种灌木树种 ( $P<0.05$ ), 其次依次为红叶石楠、海桐、锦绣杜鹃、日本珊瑚树、山茶和大叶黄杨。饱和胞间  $\text{CO}_2$  浓度除大叶黄杨较低外, 其余树种较为接近; 而胞间  $\text{CO}_2$  补偿点则以红花檵木和山茶较低 ( $P<0.05$ )。初始羧化效率以红花檵木最高 ( $P<0.05$ ), 其次依次为红叶石楠、锦绣杜鹃、海桐、山茶、大叶黄杨及日本珊瑚树。

### 3 结论与讨论

绿色植物通过光合作用与蒸腾作用发挥固碳放氧、降温增湿等多重生态效应, 可大幅改善城市环境。不同植物有不同的光适应特性, 研究植物对光的响应有助于明确其适宜的光照强度, 从而为绿化种植、养护等提供理论依据。本试验结果表明, 6 种乔木树种饱和光强樟最高, 其次依次为桉、雅榕、鹅掌楸、白兰和木犀; 光补偿点木犀最高, 之后依次为桉、鹅掌楸、雅榕、樟和白兰。综合乔木树种的光饱和点和光补偿点可以看出, 樟对光能的利用能力较高, 木犀对光能的利用能力较低, 这与初始量子效率的拟合结果较为一致。结合最大光合速率数据, 从对城市高光强环境的固碳效率来看, 木犀较其他树种相比处于劣势。这与木犀的生物学习性一致。灌木树种中, 红花檵木的饱和光强和最大光合速率均最高, 且初始量子效率也相对较高, 说明红花檵木较适宜城市高光强环境。而山茶的光补偿点较高, 而最大光合速率最低, 说明山茶对高光强环境的适应性较差, 这与山茶喜半阴、忌烈日的习性一致。

城市中的机动车辆、工业生产以及大量的人群活动, 产生了大量的二氧化碳等气体, 从而产生众所周知的“温室效应”, 引起大气的进一步升温。而植物光合作用所需要的碳源则主要是空气中的  $\text{CO}_2$ 。植物光合作用对  $\text{CO}_2$  响应模型 (或  $\text{CO}_2$  响应曲线) 研究可估算植物的饱和  $\text{CO}_2$  浓度, 以及固定  $\text{CO}_2$  的最大潜能等。乔木树种的研究结果表明, 最大羧化速率以樟、雅榕和桉相对较高 ( $P<0.05$ ), 木犀最低 ( $P<0.05$ ); 而  $\text{CO}_2$  饱和点和  $\text{CO}_2$  补偿点均则以桉、樟和雅榕较低; 初始羧化效率则以桉最高, 说明桉具较强固碳能力。同样, 在灌木树种中, 红花檵木表现出羧化速率最高和  $\text{CO}_2$  补偿点 ( $P<0.05$ ) 最低, 且初始羧化效率也最高 ( $P<0.05$ ), 说明红花檵木的叶片具较强的固碳能力。

综合本次试验结果表明, 在温州夏季高温高光强的条件下, 常见的乔木绿化树种中, 樟、雅榕和桉对光强和  $\text{CO}_2$  的适应相对其他测试树种均具明显优势, 而木犀对光照和  $\text{CO}_2$  的利用效率较差。常见的灌木绿化树种中, 红花檵木对光强和  $\text{CO}_2$  的适应相比其他测试树种具有明显优势, 而大叶黄杨和山茶表现相对较差。因此, 从植物叶片尺度的固碳释氧能力来看, 建议在城市绿化中可优先考虑樟、雅榕、桉及红花檵木等树种。

仅了解绿化树种叶片的固碳释氧能力难以为城市森林生态效益的定量化研究和城市绿化树种的合理配置及其规划建设提供科学依据, 还需要定量研究城市绿化树种的固碳释氧与降温增湿能力。然而现有研究大都局限于单位叶面积上<sup>[10-12]</sup>, 没有考虑树种的整体绿量。结合叶面积指数, 定量研究植物的固碳增湿能力尚有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Mchale M R, Gregory M E, Burke I C. The potential of urban tree plantings to be cost effective in carbon credit markets[J]. Urban For Urban Green, 2007, 6: 49-60.
- [2] 刘弘, 马杰, 李保印. 2 种彩叶植物的光合特性日变化研究[J]. 河南职业技术学院学报, 2004, 32 (2): 33-35.
- [3] 刘桂林, 梁海永, 刘兴菊. 国槐光合特性研究[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26 (4): 68-70.
- [4] 蒋文伟, 刘彤, 温国胜, 等. 城市观赏树种木犀的光合特性初步研究[J]. 浙江林业科技, 2003, 23 (5): 18-21.
- [5] 谭瑶, 曹兵, 赖声谓. 3 个绿化树种的光合特性比较[J]. 农业科学研究, 2007, 28 (2): 82-84.

- 
- [6] 贾佳, 何兴华. 城市绿地植物固碳释氧及降温增湿能力研究[J]. 绿色科技, 2010, (6): 49-51.
- [7] 叶飞英, 陈子林, 郑伟成, 等. 不同光强下濒危植物伯乐树幼苗叶片光合生理参数比较[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(5): 716-721.
- [8] 叶子飘. 光合作用对光和 CO<sub>2</sub> 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [9] 叶子飘, 于强. 冬小麦旗叶光合速率对光强度和 CO<sub>2</sub> 浓度的响应[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2008, 29(3): 33-37.
- [10] 刘海荣, 宋力, 鲜靖苹. 5 种常用灌木固碳释氧能力的比较研究[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(2): 204-207.
- [11] 马维虎, 赵肖, 王晓峰, 等. 三种绿化树种固碳释氧和降温增湿效益比较[J]. 中国城市林业, 2010, 8(1): 55-58.
- [12] 郑朝晖, 马春霞, 马江林, 等. 6 种乔木树种固碳能力和能量转化效率分析[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(4): 7-11.