

# 红壤区受损湿地松林下 6 树种光合特性

吴统贵<sup>1</sup>, 曾广泉<sup>2</sup>, 周晓萍<sup>2</sup>, 欧阳向东<sup>2</sup>, 虞木奎<sup>1\*</sup>, 成向荣<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 江西省吉安县林业科学研究所, 江西 吉安 343100)

**摘要:** 以红壤区湿地松林下种植的 6 种乔灌木为研究对象, 系统分析种间光合特性的差异, 以期为红壤区植被恢复与重建物种材料筛选和种间配置提供理论依据。结果表明, 地带性建群种 黧朔锥 (*Castanopsis fissa*)、木荷 (*Schima superba*) 具有相对较高的最大净光合速率  $P_{max}$ 、光补偿点  $LCP$ 、光饱和点  $LSP$  和相对较低的表观量子效率  $AQE$ , 说明两树种利用强光能力较强, 属阳生树种; 胡枝子 (*Lespedeza bicolor*) 具有最大的  $P_{max}$  [ $20.15 \pm 2.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ], 但其  $LCP$  和  $LSP$  并不高, 说明其光能转化率高、生长速度快, 比较适合林下生长; 山茶 (*Camellia japonica*) 的  $AQE$  最低, 仅  $(0.023 \pm 0.002) \text{ mol/mol}$ , 说明该树种在遮阴条件下很难生存; 而杨桐 (*Adinandra millettii*) 和十大功劳 (*Mahonia fortunei*) 的  $P_{max}$ 、 $LCP$ 、 $LSP$  分别是木荷的 51.87%、66.99%、50.52% 和 20.66%、31.23%、42.45%, 说明两物种利用弱光的能力较强, 属阴生植物。根据各物种的光合特性可以看出, 地带性建群种木荷、黧朔锥可迅速成长形成亚乔木层, 胡枝子、杨桐、十大功劳可以形成灌木层, 最终在湿地松林内形成立体复式结构, 提高系统结构和功能。

**关键词:** 红壤; 湿地松; 林下植物; 光合特性

中图分类号: S718.52<sup>+</sup>1.2; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)02-0318-04

## Photosynthetic Characteristics of 6 Trees under *Pinus elliotii* Forest in Red Soil Regions

WU Tong-gui<sup>1</sup>, ZENG Guang-quan<sup>2</sup>, ZHOU Xiao-ping<sup>2</sup>,  
OUYANG Xiang-dong<sup>2</sup>, YU Mu-kui<sup>1\*</sup>, CHENG Xiang-rong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Sub-tropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, China; 2. Research Institute of Forestry in Ji'an County, Ji'an 343100, China)

**Abstract:** The photosynthetic light response curves of 6 cultivated trees and shrubs under *Pinus elliotii* forest in red soil regions in Jiangxi Province were determined using Li-cor 6400 portable photosynthesis systems. *Schima superba* and *Castanopsis fissa*, with higher maximum photosynthesis rate ( $P_{max}$ ), dark respiration ( $R_d$ ), light compensation point ( $LCP$ ), light saturation point ( $LSP$ ) and lower apparent quantum efficiency ( $AQE$ ), showed higher ability for high radiation, and expressed faster growth to sub-tree layer. While, *Lespedeza bicolor* had the highest light utilization owing to highest  $P_{max}$  [ $20.15 \pm 2.18 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ] and medium  $LCP$ ,  $LSP$ . While *Camellia japonica*, with medium lowest  $AQE$ , showed weaker ability for low radiation to reside under *Pinus elliotii* forest. The  $P_{max}$ ,  $LCP$ ,  $LSP$  of *Adinandra millettii*, *Mahonia fortunei* were 51.87%, 66.99%, 50.52% and 20.66%, 31.23%, 42.45% of *C. fissa*, separately, and showed higher ability for low radiation and belonged to shade plants. *S. superba*, *C. fissa*, *L. bicolor*, *C. fissa*, *A. millettii* and *M. fortunei* were chosen to build multi-layer *P. elliotii* forest, including tree, sub-tree and shrub layers, in red soil regions.

收稿日期: 2010-05-12 修回日期: 2011-02-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑子课题(2006BAD03A1603)和浙江省林业科技项目(06A01)

作者简介: 吴统贵(1980—),男,助理研究员,博士,主要从事植物生理生态学方面的研究, E-mail: wutonggui@126.com; \* 通讯作者: 虞木奎, 研究员, 博士, E-mail: yumukui@sina.com。

**Key words:** red soil; *Pinus elliotii* forest; trees under forest; photosynthetic characteristics

在我国,红壤主要分布于长江以南的低山丘陵区,具有淋溶性强、矿质养分少、酸性大、保肥性能差和质地粘重等不良性状<sup>[1]</sup>,导致该土壤类型植被覆盖差、生物多样性低和水土流失严重等诸多问题<sup>[2]</sup>。红壤区人工植被恢复与重建措施可以显著增加物种数量、提高生物多样性<sup>[3]</sup>;提高土壤有机质,改良土壤物理化学性质<sup>[4-5]</sup>,增加土壤动物和微生物种类与数量等<sup>[6]</sup>,最终在红壤区形成稳定的生态系统结构,充分发挥系统的各种服务功能。

针对红壤地区退化生态系统现状和存在的主要问题,结合2008年湿地松林雨雪冻害,在典型红壤湿地松林开展退化生态系统恢复与重建技术,人工种植和栽培了大量乔木和灌木树种,调控林分结构和配置,维护生物多样性,恢复和提高林地地力,提升湿地松森林质量、控制水土流失。在自然群落中,植物的生理生态学特性决定其在群落中的垂直和水平分布<sup>[7]</sup>,因此在人工植被恢复工程中,了解植物的生理特性,并应用到植被恢复技术中是件非常有意义的工作;本研究以红壤区受损湿地松林下栽植的几种主要乔灌木为研究对象,系统分析了各物种的光合作用光响应曲线及光合特性,为本区域植被恢复与重建、多植物材料复层林构建的物种筛选提供生理生态学方面的理论依据。

## 1 试验区概况

试验区位于吉安县林科所试验林场(26°59'N, 114°49'E),年均气温18.3℃,年平均降水量1458mm,平均日照时间1814h,海拔88m,地势相对平坦,坡度小于10°,林下草本植物和地表枯落物稀少,受2008年雨雪冰冻灾害的影响,湿地松林受害严重,现保留密度为375株/hm<sup>2</sup>,平均胸径(14.8±2.1)cm,平均树高(11.2±1.3)m,平均枝下高(6.6±0.7)m,平均树冠高度(4.6±0.6)m。林分叶面积指数变幅在0.50~2.68,平均为1.10。土壤为红壤,有机质含量0.92%。

2008年,结合雨雪冰冻灾害恢复重建,保留没有受损湿地松,清理受损湿地松,选择鬃朔锥(*Castanopsis fissa*)、木荷(*Schima superba*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、山茶(*Camellia japonica*)、杨桐(*Adinandra millettii*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、椴木石楠(*Photinia davidsoniae*)、撒金珊瑚(*Aucuba japonica* var. *variegata*)、南天竹(*Nandina domestica*)、柳叶栎(*Quercus salicina*)、美国枫香(*Liquidambar styraciflua*)以及多种杂交松等乔灌木树种在湿地松林下种植,以期构建多植物材料的针阔混交复层林,增加群落生物多样性和稳定性,减少红壤水土流失。

## 2 试验方法

2009年8月,以生长较好的鬃朔锥、木荷、胡枝子、山茶、杨桐、十大功劳为研究对象,其生长状况具体见表1,各物种分别选择5株平均木的功能叶片测定其光合作用光响应曲线。

表1 湿地松林下各物种生长状况

Tab.1 Growth of each tree under *Pinus elliotii* forest

树种 Tree	鬃朔锥 <i>C. fissa</i>	木荷 <i>S. superba</i>	胡枝子 <i>L. bicolor</i>	山茶 <i>C. japonica</i>	十大功劳 <i>M. fortunei</i>	杨桐 <i>A. millettii</i>
地径/cm Diameter	0.83 ± 0.27	1.13 ± 0.22	0.47 ± 0.29	0.85 ± 0.26	0.73 ± 0.04	0.82 ± 0.19
树高/cm Height	74.14 ± 25.33	95 ± 13.36	58.15 ± 37.93	65.80 ± 16.93	43.75 ± 11.09	71 ± 11.27

光响应曲线测定:采用LI-6400红蓝光源,使用开路系统测定叶片的净光合速率( $P_n$ ),空气流速为0.5L/min,温度控制在(36±1)℃,相对湿度60%左右,CO<sub>2</sub>浓度为365μmol/mol。测定从2000μmol/(m<sup>2</sup>·s)光强开始,依次降为1800,1500,1200,1000,800,600,400,200,100,50,20,10,0μmol/(m<sup>2</sup>·s),在09:00—10:30(叶片已经充分活化,处于生理活动活跃时段,同时还未出现“午休”现象),选择各物种功能叶片测定,重复6次。

数据处理:以光量子通量密度(*PPFD*)为横轴, $P_n$ 为纵轴绘出光合作用光响应曲线,并依据非直角双曲线拟合曲线方程:

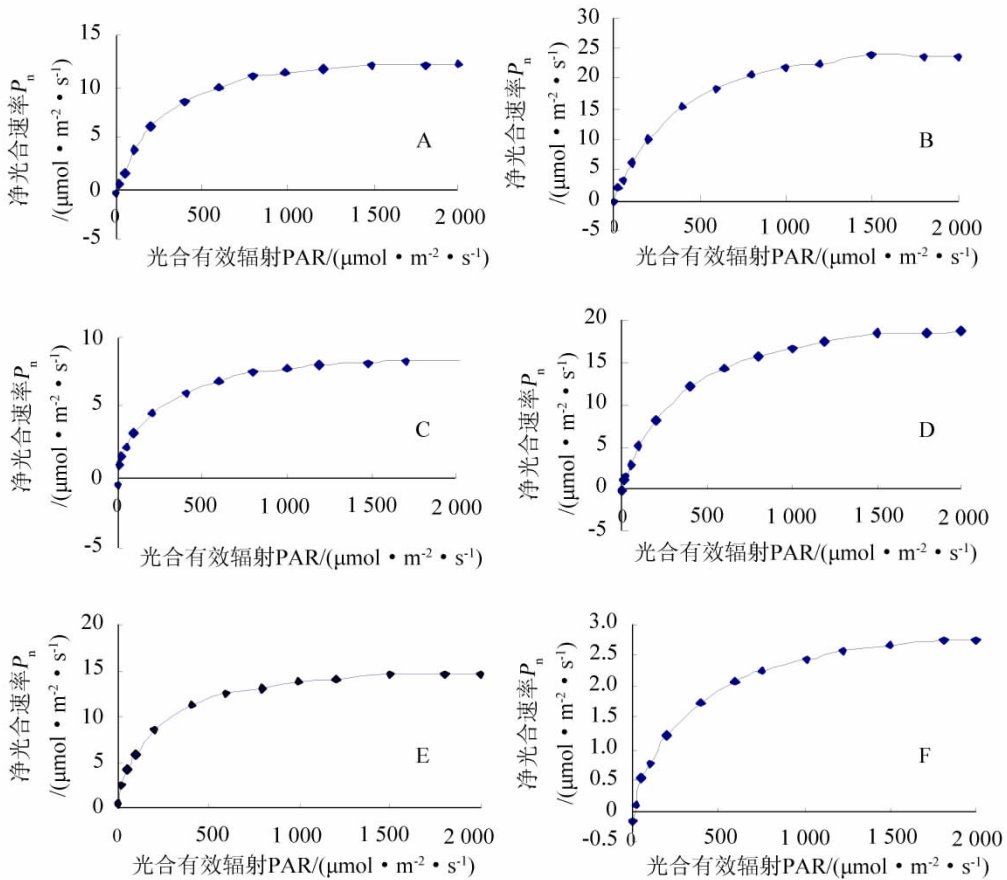
$$P_n = \frac{AQE \cdot PPFD + P_{max} - \sqrt{(AQE \cdot PPFD + P_{max})^2 - 4\theta \cdot AQE \cdot P_{max} \cdot PPFD}}{2\theta} - R_d \quad (1)$$

其中,  $P_n$  为净光合速率( net photosynthesis rate),  $AQE$  为表观量子效率( apparent quantum efficiency),  $P_{max}$  为最大净光合速率( maximum net photosynthetic rate),  $PPFD$  为光量子通量密度( photosynthetic photon flux density),  $\theta$  为光响应曲线曲角( convexity),  $R_d$  为暗呼吸速率( dark respiration rate), 拟合计算得出光补偿点(  $LCP$ ) 和光饱和点(  $LSP$ ) 等。

### 3 结果与分析

#### 3.1 光合光响应曲线

研究植物的光响应曲线可得出各种生理参数, 而这些参数是各种尺度植物生理生态学过程研究的基础<sup>[8]</sup>。江西红壤湿地松林下 6 种植物的光响应曲线规律明显( 图 1), 随光量子通量密度(  $PPFD$ ) 的增大, 各物种  $P_n$  均表现出逐渐增加的趋势; 各物种的  $P_n$  大小顺序为胡枝子、木荷、蕨朔锥、杨桐、山茶、十大功劳, 其中胡枝子、木荷、蕨朔锥显著大于杨桐、山茶和撒金珊瑚(  $P < 0.05$ ) 。



A: 蕨朔锥; B: 木荷; C: 山茶; D: 胡枝子; E: 杨桐; F: 十大功劳。

A. *C. fissa*; B. *S. superba*; C. *C. japonica*; D. *L. bicolor*; E. *A. milletii*; F. *M. fortunei*.

图 1 6 种植物光合作用光响应曲线

Fig. 1 Light response curve of 6 tree species

#### 3.2 光合特征指标

山茶具有较低的表现量子效率  $AQE$   $[(0.037 \pm 0.004) \text{ mol/mol}]$ , 且显著小于其他 5 树种; 其次是蕨朔锥  $[(0.032 \pm 0.003) \text{ mol/mol}]$ , 显著小于胡枝子和十大功劳( 表 2); 而胡枝子和十大功能具有较高的  $AQE$ , 说明两树种利用弱光的能力较强。

各树种最大净光合速率  $P_{max}$  的大小顺序与光响应曲线中各树种净光合速率的顺序完全相同, 胡枝子、蕨朔锥和木荷具有较高的  $P_{max}$ , 且显著大于其他 3 树种; 十大功劳的  $P_{max}$  最小  $[(3.64 \pm 0.96) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ , 仅占胡枝子的 18.06%, 显著小于其他 5 树种。

呼吸作用也是植物重要的生理过程之一。各树种暗呼吸速率  $R_d$  大小顺序与最大净光合速率基本相同, 差别在于木荷具有最高的  $R_d$  [ $(1.33 \pm 0.16) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]; 十大功劳仍然最小, 仅是木荷的 27.82%。

木荷、黧蒴锥和山茶具有较高的光补偿点  $LCP$  和光饱和点  $LSP$ , 呈现出阳性植物的特性; 而胡枝子、杨桐和十大功劳的  $LCP$  和  $LSP$  相对较低, 尤其是十大功劳和杨桐的  $LCP$  和  $LSP$  均显著小于其他树种 (表 2)。

表 2 6 树种表观量子效率、光补偿点、光饱和点、光合速率最大值和暗呼吸速率

Tab. 2  $AQE$ ,  $LSP$ ,  $LCP$ ,  $P_{\max}$  and  $R_d$  of 6 tree species

树种 Tree	表观量子效率 $AQE$ / ( $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	最大净光合速率 $P_{\max}$ / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	暗呼吸速率 $R_d$ / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光补偿点 $LCP$ / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 $LSP$ / ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
黧蒴锥 <i>C. fissa</i>	0.032 ± 0.003 BC	12.55 ± 2.44 B	0.86 ± 0.03 B	26.71 ± 2.14 AB	864.35 ± 103.66 AB
木荷 <i>S. superba</i>	0.039 ± 0.003 AB	17.62 ± 4.65 AB	1.33 ± 0.16 A	33.75 ± 2.46 A	962.37 ± 86.45 A
胡枝子 <i>L. bicolor</i>	0.049 ± 0.004 A	20.15 ± 2.18 A	0.98 ± 0.17 AB	19.95 ± 2.64 B	553.45 ± 78.33 B
山茶 <i>C. japonica</i>	0.023 ± 0.002 C	9.9 ± 2.15 C	0.66 ± 0.06 B	29.07 ± 3.06 AB	668.67 ± 58.39 B
杨桐 <i>A. millettii</i>	0.037 ± 0.004 AB	9.14 ± 1.13 C	0.83 ± 0.21 B	22.61 ± 2.18 B	486.17 ± 56.32 BC
十大功劳 <i>M. fortunei</i>	0.045 ± 0.004 A	3.64 ± 0.96 D	0.37 ± 0.12 C	10.54 ± 3.58 C	408.51 ± 98.37 C

可以看出, 木荷、黧蒴锥具有相对较高  $P_{\max}$ 、 $R_d$ 、 $LCP$  和  $LSP$ , 说明两树种利用强光能力较强; 同时具有相对较低的表观量子效率, 说明其利用弱光的能力较差, 属于阳生树种。山茶具有中等的  $P_{\max}$ 、 $R_d$ 、 $LCP$  和  $LSP$ , 说明具有一定利用强光的能力; 但其  $AQE$  最小, 说明其利用弱光的能力非常差, 不宜在高郁闭度的林下生存。胡枝子尽管具有最大的  $P_{\max}$ , 但其  $LCP$  和  $LSP$  并不高, 表明其光转化效率较高, 由此可见胡枝子在湿地松林下生存能力较强。而杨桐和十大功劳具有较低的  $P_{\max}$ 、 $R_d$ 、 $LCP$  和  $LSP$ , 同时具有相对较高的  $AQE$ , 说明两物种属于阴生植物, 利用弱光的能力较强, 但生长速度较慢。

## 4 讨 论

红壤地区是我国水土流失范围最广、程度较高的地区, 也是我国治理土壤侵蚀和水土流失的重点区域之一<sup>[5]</sup>; 在该区域, 短时期内依靠自然力恢复植被、减少水土流失、改善生态环境是难以完成的<sup>[7]</sup>。2008 年的特大雨雪冻害对红壤区湿地松损害严重, 湿地松折断、倒伏的比率最高达 80%, 人工重建植被就成为这些侵蚀红壤区植被恢复、提高土壤质量的主要途径之一<sup>[2,4]</sup>。

在受损湿地松林下种植地带性建群种、耐荫植物等构建多植物材料、多层次的复层林结构, 一方面可以显著提高群落生物多样性、异质性及稳定性, 减少土壤水土流失; 另一方面有利于系统的更新、演替<sup>[9]</sup>。在本研究中, 建群种黧蒴锥和木荷两种乔木幼苗表现出较高的光合能力, 有利于自身的快速生长, 与上层湿地松林构建针阔混交林, 这与温达志和叶万辉<sup>[10]</sup>对黧蒴锥和程煜<sup>[11]</sup>对木荷的研究结果相同; 黧蒴锥的光补偿点和饱和点较木荷低, 这主要是由于其幼苗要求一定的庇荫<sup>[12]</sup>, 长大后则喜光。而杨桐和十大功劳属于阴生植物, 尽管光合能力较弱, 但其适应弱光的能力较强<sup>[13-14]</sup>, 待上层乔木郁闭度增加后仍可生存, 可以成为混交林林下灌木层。而胡枝子尽管其光饱和点不高, 但却拥有较高的光合速率的, 说明其非常适合当前湿地松林下的环境, 生长较快, 比较适合在红壤区生存<sup>[15]</sup>, 可以作为红壤区湿地松林下灌木层的主打树种。而山茶利用弱光的能力较差, 且光合速率低, 待上层郁闭度逐渐增加后将逐渐被淘汰, 不适合在湿地松林下栽植。

根据 6 种树种的光合特性和湿地松林下环境特征可以看出, 黧蒴锥、木荷、胡枝子、十大功劳和杨桐幼苗可以在红壤湿地松林下健康生长, 且将逐渐形成湿地松乔木层, 黧蒴锥和木荷亚乔木层, 胡枝子、十大功劳、杨桐灌木层的复合立体森林结构, 增加系统的多样性与稳定性, 提高水土保持能力。

### 参考文献:

- [1] 姜灿烂, 何园球, 李辉信, 等. 长期施用无机肥对红壤旱地养分和结构及花生产量的影响 [J]. 土壤学报, 2009 (6): 1102 - 1109.

## 参考文献:

- [1] Strand, J F. Some agrometeorological aspects and diseases management for the 21st century [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000( 103) : 73 – 82.
- [2] Emilio Montesinos. Development, registration and commercialization of microbial pesticides for plant protection [J]. *International Microbiology*, 2003, 6( 4) : 245 – 252.
- [3] Chakraborty S, Tiedemann A V, Tend P S. Climate change: Potential impact on plant diseases [J]. *Environmental Pollution*, 2000( 108) : 317 – 326.
- [4] 张兴. 试论无公害农药 [J]. *西北农业大学学报*, 1995, 23( 6) : 90 – 91.
- [5] Lenteren V, Joop C. A greenhouse without pesticides: Fact or fantasy [J]. *Crop Protection*, 2000( 19) : 375 – 384.
- [6] Zheng W, Hong Z Z, Hong J J. The chemical structure of antifungal antibiotic 414 [J]. *Chin J Antibiot*, 2000, 25( 4) : 266.
- [7] 涂国全, 于静. 一株分解羽毛角蛋白的弗氏链霉菌变种的初步鉴定 [J]. *江西农业大学学报*, 1994( 4) : 399 – 403.
- [8] 赖崇德, 涂晓嵘, 倪国荣, 等. 弗氏链霉菌变种 S-221 所产生物活性物质对细菌、霉菌及酵母类抑菌效果的初步研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2008( 2) : 354 – 357.
- [9] 赖崇德, 涂晓嵘, 倪国荣, 等. 弗氏链霉菌变种 S-221 所产生物活性物质抑菌活性的初步研究 [J]. *江西农业学报*, 2007( 9) : 102 – 104.
- [10] 倪国荣, 涂晓嵘, 张智平, 等. 弗氏链霉菌 S-221 变种发酵液的抗菌活性及稳定性研究 [J]. *中国酿造*, 2009( 2) : 37 – 39.
- [11] Quiroga E N, Sampietro A R, Vattuone M A. Screening antifungal activity of selected medicinal plants [J]. *Ethnopharmacol*, 2001, 74( 1) : 89 – 96.
- [12] Okamura Tokumitsu, 廖福荣. 抗生素链霉菌与弗氏链霉菌原生质体的种间电融合 [J]. *国外医药( 抗生素分册)*, 1990( 4) : 256 – 258.
- [13] 李焕姿, 陈正道. 新霉素产生菌弗氏链霉菌灭活原生质体的融合 [J]. *抗生素*, 1984( 6) : 445 – 449.
- [14] 石贤爱, 李聪颖, 陈飞, 等. 清洁生产驱动的弗氏链霉菌新霉素发酵过程优化策略 [J]. *福州大学学报: 自然科学版*, 2010( 1) : 147 – 152.

## ( 上接第 321 页)

- [2] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 等. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响 [J]. *生态学报*, 2008, 28( 2) : 702 – 709.
- [3] 郑华, 欧阳志云, 易自力, 等. 红壤侵蚀区恢复森林物种多样性对土壤生物学特性的影响 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18( 4) : 137 – 141.
- [4] 姜培坤, 周国模, 钱新标. 侵蚀红壤植被恢复后土壤养分含量与物理性质的变化 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18( 1) : 12 – 14.
- [5] 胡实, 谢小立, 王凯荣, 等. 红壤坡地生态系统恢复过程植被群落的演替 [J]. *生态环境*, 2008, 17( 1) : 327 – 333.
- [6] 王会利, 乔洁, 曹继钊, 等. 红壤侵蚀裸地不同植被恢复后林地土壤微生物特性的研究 [J]. *土壤*, 2009( 6) : 952 – 956.
- [7] 周国模, 姜培坤. 不同植被恢复对侵蚀型红壤活性碳库的影响 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18( 6) : 68 – 70.
- [8] Llambi L D, Fontaine M, Rada F, et al. Ecophysiology of dominant plant species during Old – Field succession in a high tropical andean ecosystem [J]. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2003, 35: 447 – 453.
- [9] 徐叨兴, 高智慧, 陈顺伟. 化香植被的人工促进天然更新技术初步研究 [J]. *浙江林业科技*, 2005, 25( 1) : 39 – 41.
- [10] 温达志, 叶万辉. 全光和遮阴下两种亚热带木本植物的光合作用对光的响应 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2001, 9( 3) : 248 – 255.
- [11] 程煜, 胡喜生, 洪伟, 等. 木荷马尾松林更新层种群生态位分析 [J]. *福建林学院学报*, 2009( 3) : 220 – 225.
- [12] 张进忠, 林桂株, 林植芳, 等. 几种南亚热带木本植物光合作用对生长光强的响应 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13( 5) : 413 – 418.
- [13] 吴家胜, 应叶青, 黎章矩. 杨桐苗期光合特性的研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2004, 26( 6) : 896 – 900.
- [14] 刘锦春, 钟跃军, 何跃军, 等. 重庆石灰岩地区十大功劳的光合响应研究 [J]. *武汉植物学研究*, 2005, 30( 2) : 316 – 320.
- [15] 孙清斌, 董晓英, 沈仁芳. 施用磷、钙对土壤上胡枝子生长和矿质元素含量的影响 [J]. *土壤*, 2009( 2) : 206 – 211.