

## 不同郁闭度林茶复合模式对茶树光合日变化的影响

马跃<sup>1</sup>, 刘志龙<sup>1</sup>, 虞木奎<sup>2</sup>, 徐庆玲<sup>3</sup>, 傅强<sup>3</sup>, 赵樟<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国林科院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600;

<sup>2</sup>中国林科院亚热带林业研究所, 浙江富阳 311400;

<sup>3</sup>广西壮族自治区林业勘测设计院, 南宁 530011)

**摘要:** 茶叶的产量和品质与生长环境关系非常密切, 为探明林分不同郁闭度对茶树光合日变化的影响, 本研究以不同郁闭度的栲树(*Koelreuteria paniculata*)-茶(*Camellia sinensis*)复合系统中茶树为材料, 纯茶园为对照(CK), 利用便携式LI-6400光合作用测定仪研究茶树分别在0.3(T<sub>1</sub>)、0.6(T<sub>2</sub>)和0.9(T<sub>3</sub>)郁闭度条件下的光合作用参数日变化。结果表明: 随郁闭度增加, 茶树光合有效辐射(PAR)和叶片温度(T<sub>l</sub>)日均值和差值呈递减趋势, 日变化呈单峰曲线; 茶树净光合速率(Pn)日均值随郁闭度增加呈递减趋势, 均表现双峰型曲线; CK和T<sub>1</sub>的蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)日变化午间受到明显的抑制且呈双峰曲线, T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>呈单峰型曲线。

**关键词:** 林茶复合系统; 光合; 郁闭度; 日变化

中图分类号: S727.3

文献标志码: A

论文编号: 2010-3707

### Effects of Different Canopy Closure on Photosynthetic Diurnal Variation of Tea in Forest-tea Compound Model

Ma Yue<sup>1</sup>, Liu Zhilong<sup>1</sup>, Yu Mukui<sup>2</sup>, Xu Qingling<sup>3</sup>, Fu Qiang<sup>3</sup>, Zhao Zhang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Experimental Center of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang Guangxi 532600;

<sup>2</sup>Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang Zhejiang 311400;

<sup>3</sup>Guangxi Forestry Inventory and Planning Inventory, Nanning 530011)

**Abstract:** The production and quality of tea were very close to growing environment, in order to clarify the effects of different canopy closure on photosynthetic diurnal variation of tea in forest-tea compound model, this study by using the LI-6400 portable photosynthesis system, the effects of different canopy closure, 0.3(T<sub>1</sub>), 0.6(T<sub>2</sub>) and 0.9(T<sub>3</sub>), on photosynthetic diurnal variations of tea plants in *Koelreuteria paniculata*-*Camellia sinensis* compound systems were studied, with pure tea garden as the control. The results were as follows: with canopy density increased, daily mean value and difference value of radiation (PAR), leaf temperature (T<sub>l</sub>) had a descending trend, diurnal variation showed single peak curve. Net photosynthetic rate (Pn) decreased with canopy closure increased and showed double-peak curve. Contrary to T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub>, stomatal conductance (Gs) and transpiration rate (Tr) were inhibited obviously and showed double-peak curve under CK and T<sub>1</sub> treatment.

**Key words:** forest-tea compound system; photosynthesis; canopy closure; diurnal variation

**基金项目:** 国家林业局重点科技项目“农林复合栽培技术试验示范”(2003-052-52); 浙江省林业科技项目“山地森林质量提升关键技术研究及示范”(0601)。

**第一作者简介:** 马跃, 女, 1984年出生, 山西长治人, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向为森林培育。通信地址: 532600 广西壮族自治区凭祥市中国林科院热带林业实验中心科研处, Tel: 0771-8585025, E-mail: abcmayue@qq.com。并列第一作者: 刘志龙, 男, 1982年出生, 安徽滁州人, 工程师, 博士, 主要从事人工林定向培育理论与技术研究。通信地址: 532600 广西壮族自治区凭祥市中国林科院热带林业实验中心科研处, Tel: 0771-8585025, E-mail: water345@163.com。

**通讯作者:** 虞木奎, 男, 1961年出生, 安徽宿松人, 研究员, 博士, 主要从事森林生态工程理论与技术方面研究。通信地址: 311400 浙江省富阳市大桥路73号 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, Tel: 0571-63121230, E-mail: yumukui@sina.com。

**收稿日期:** 2010-12-22, **修回日期:** 2011-04-14。

## 0 引言

茶树在中国栽培历史悠久,以纯茶园为主,多建于丘陵和山地<sup>[1]</sup>。茶树在长期的系统发育过程中形成了喜荫、喜温、喜湿和喜漫射光的特性,光温条件不适宜会造成产量降低和品质低劣<sup>[2-3]</sup>。光合作用是一个对环境条件变化很敏感的过程,是植物生长和生产力大小的关键因素<sup>[4]</sup>。很多学者对茶园复合经营,茶园生态环境、海拔高度与茶叶产量和品质的关系进行了研究,并总结出“胶茶间种”、“茶林间种”、“茶果间种”等生态模式,这些模式能够为茶树生长和品质提高提供适宜的环境,还能解决水土流失、地力衰退等生态问题<sup>[5-7]</sup>。

林茶复合系统下层茶树叶片的最大净光合速率、光补偿点和光饱和点均显著低于茶叶纯林,郁闭度过大情况下,显著降低了茶树的光合速率<sup>[8]</sup>。笔者拟通过对现有不同郁闭度的栎树-茶间作模式和单作模式下茶树光合作用日变化规律及其异同的研究,分析夏季不同郁闭度的栎树-茶间作模式对茶树叶片光合作用的影响,为发展复合生态型茶叶种植和复合系统的合理设计提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间、地点

研究田间试验于2009年在安徽省芜湖市繁昌县新林茶场进行,室内试验在南京林业大学森林培育实验室进行。新林茶场位于安徽省东南部,属于沿长江平原生态区,东经117°57′—118°54′、北纬30°38′—31°34′,为亚热带边缘地区,亚热带落叶林和常绿阔叶林混交林地带。土壤以红壤为主,年平均降水量为1198.1~1413.2 mm,年平均降水天数为128.1~145.2天,水分充足,气候适宜,年平均气温为15.7~16.0℃,全年无霜期220~240天。

### 1.2 试验材料

栎树(*Koelreuteria paniculata*)和茶树(*Camellia sinensis*)均为5年生。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 栎树、茶树东西向排列,茶树种植于树行之间,所选林茶复合模式均采用相同的管理抚育措施。采用样点测定法对现存复合茶园郁闭度进行调查,试验选择3种郁闭度处理,即0.3( $T_1$ )、0.6( $T_2$ )和0.9( $T_3$ ),以纯茶树模式作为对照(CK),每种处理选择5行栎树之间的4行茶树,3次重复,每个重复测量时选择数据稳定时连续记录3组数据。

1.3.2 光合作用测定仪器和测量方法 本研究使用美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合测定仪,选择

在天气晴好的8月上旬,从6:00—18:00每隔2 h测定1次,每次3组叶片重复,每次叶片又3次取值,结果取平均值。使用开放式气路和自然光源,叶室面积为2 cm×3 cm。主要指标有:净光合速率( $Pn$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $Ci$ )、气孔导度( $Gs$ )、蒸腾速率( $Tr$ )、光合有效辐射( $PAR$ )、叶片温度( $T_l$ )。

1.3.3 统计分析 采用SPSS13.0统计分析软件对数据进行One-Way ANOVA方差分析,并用LSD法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合有效辐射( $PAR$ )和叶片温度( $T_l$ )日变化

在不同的郁闭度条件下, $PAR$ 和 $T_l$ 日变化呈现显著的单峰变化趋势(图1~2),即从早上6:00开始逐渐增强,在中午12:00达到最大,此后开始降低。 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 和CK最大 $PAR$ 分别可达到442.67、202.0、147.33和1002.67  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 $T_l$ 日变化与 $PAR$ 变化趋势一致,随着 $PAR$ 的升高而升高,达到顶峰后缓慢下降,到18:00各处理平均 $T_l$ (32.08℃)高于6:00的平均 $T_l$ (29.47℃)。不同处理间 $PAR$ 和 $T_l$ 的日平均值差异极

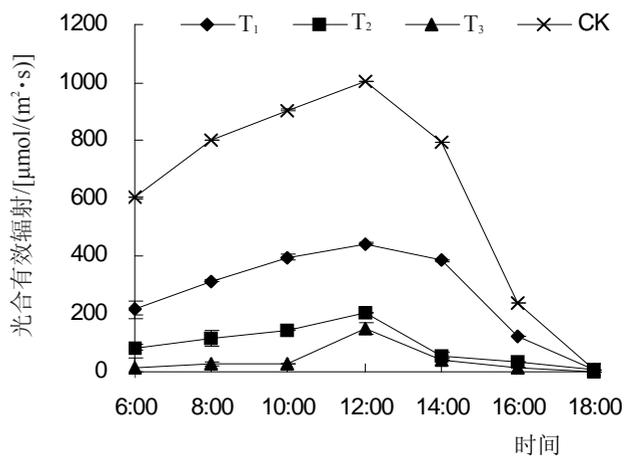


图1 不同处理光合有效辐射日变化

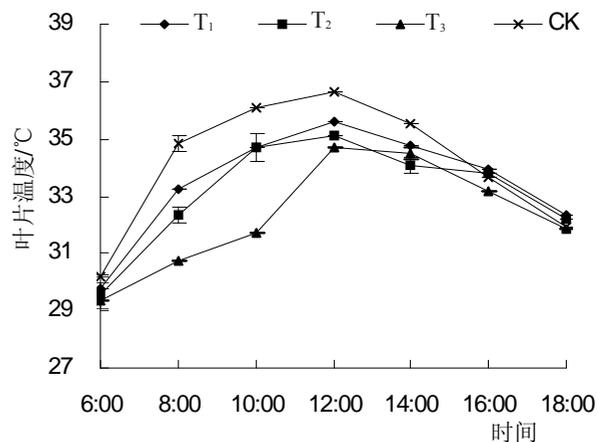


图2 不同处理叶片温度日变化

表1 不同处理下光合有效辐射和叶片温度的日变化

因子	数值	处理			
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	CK
光合有效辐射/[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]	最大值	442.67	202.00	147.33	1002.67
	最小值	5.00	4.00	3.00	7.00
	平均值	268.38 B	91.71 A	38.43 A	621.43 C
	差值	437.67	198	144.33	995.67
叶片温度/ $^{\circ}\text{C}$	最大值	35.62	35.14	34.71	36.64
	最小值	29.77	29.54	29.37	30.22
	平均值	29.33 C	29.06 B	28.24 A	34.12 D
	差值	5.85	5.6	5.34	6.42

注:同一行不同大写字母标记表示0.01水平多重比较。下同。

显著( $P<0.01$ ),随着郁闭度的增加,PAR和 $T_l$ 的日平均值呈递减趋势:CK>T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>。

由于复合树种的遮阴导致PAR改变,PAR的变化又引起温度等环境因子的变化。PAR和大气温度是决定林茶复合模式小气候特征的重要因子。本研究重点分析不同处理PAR和 $T_l$ 特征(表1)。复合茶园由于复合树木的冠层对光的遮蔽作用,茶园内光照以散射光为主,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>的PAR平均值分别比CK的低57%、85%和94%;由于复合茶园内光照水平的降低, $T_l$ 也随之下降,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>的 $T_l$ 平均值分别比CK的低14%、15%和17%; $T_l$ 最高值为纯茶园、最低值则是T<sub>3</sub>,日较差则是T<sub>3</sub>最小、CK最大。

### 2.2 光合参数日变化

不同处理下茶树的Pn日变化均呈不对称的双峰型曲线(图3)。Pn在10:00左右都达到第1个峰值,之后12:00出现一个“午休”低谷,然后逐渐升高,在14:00达到第2个峰值。T<sub>1</sub>和T<sub>2</sub>第1个峰值均比第2个峰值略高,为一天中的最大值,T<sub>3</sub>则相反。最后在18:00达到最小值且表现为负值,说明此时呼吸速率高于CO<sub>2</sub>吸收速率。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>和CK的Pn最大值分别为3.69、1.81、1.55和8.76  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>的Pn最大值分别比CK的低58%、79%和82%。不同处理间Pn的日平均值差异极显著( $P<0.01$ ),随着郁闭度增加,茶树的Pn日平均值呈递减趋势(表3):CK>T<sub>1</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>。

表3 不同郁闭度茶树气体交换参数的日平均值比较

参数	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	CK
净光合速率 Pn/[ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]	2.67±2.45 C	1.53±1.96 B	0.39±1.27 A	5.98±2.70 D
气孔导度 Gs/[ $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]	0.18±0.11 C	0.13±0.07 B	0.09±0.06 A	0.18±0.11 C
胞间CO <sub>2</sub> 浓度 Ci/[ $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ]	259.24±66.49 C	261.90±66.67 D	274.29±60.51 B	221.57±55.42 A
蒸腾速率 Tr/[ $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ]	2.92±1.56 C	2.26±1.10 B	1.52±1.13 A	3.40±2.01 D

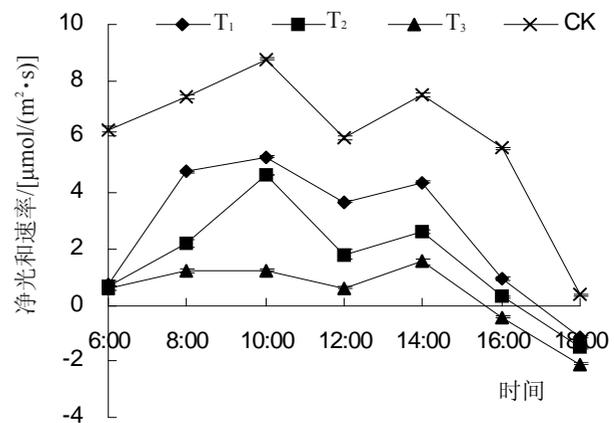


图3 不同处理茶树净光合速率日变化

不同处理对茶树Gs的日变化影响比较明显,T<sub>1</sub>和CK呈双峰曲线,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>呈单峰曲线(图4)。T<sub>1</sub>和CK的Gs在10:00和14:00出现峰值,第1个峰值比第2个峰值高18%和13%,CK的Gs在12:00降幅较大。T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>全天的Gs只有1个峰值出现在14:00,且T<sub>2</sub>(0.22  $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )>T<sub>3</sub>(0.17  $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )。就各处理的日变化格局而言,T<sub>2</sub>和T<sub>3</sub>的Gs基本相同,在14:00之前缓慢增大,此后开始快速减小。T<sub>1</sub>和CK在10:00之前快速上升到达全天最高值,12:00有点下降,14:00又反弹形成第2个峰值,之后表现为快速下降。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>和CK的Gs日平均值差异极显著,随着郁闭度的增加,茶树的Gs日平均值减小。

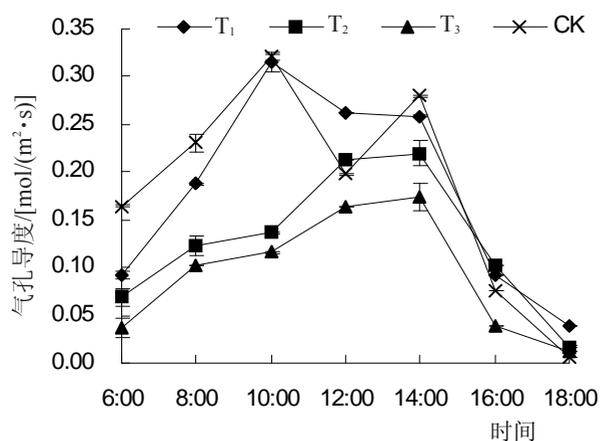


图4 不同处理茶树气孔导度日变化

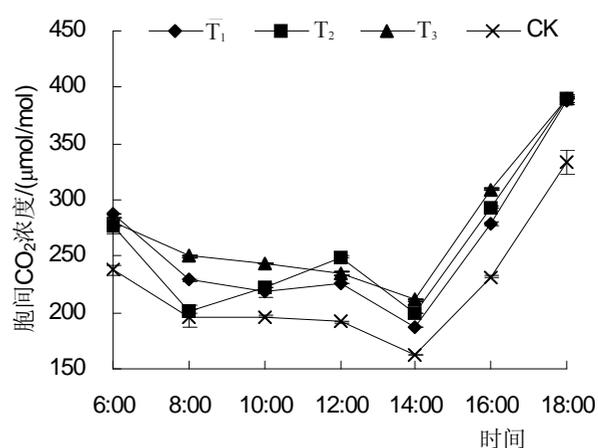


图6 不同处理茶树胞间CO<sub>2</sub>浓度日变化

各处理茶树的  $T_r$  日变化曲线表现不同,  $T_1$  和 CK 呈双峰型, 而  $T_2$  和  $T_3$  呈单峰型(图5)。  $T_1$  和 CK 的  $T_r$  在 10:00 和 14:00 出现 2 个峰值, 第 1 个峰值比第 2 个峰值大;  $T_2$  和  $T_3$  的  $T_r$  峰值在 12:00 出现, 日变化曲线相对平缓。不同郁闭度处理下的  $T_r$  日平均值变化看,  $T_1$  与 CK 差异不显著,  $T_2$  和  $T_3$  与 CK 差异极显著。

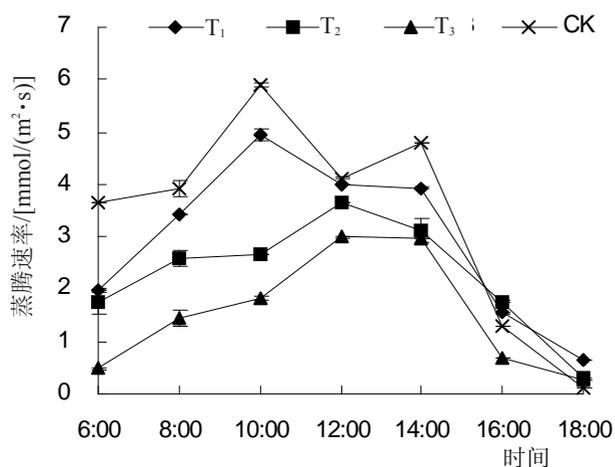


图5 不同处理茶树蒸腾速率日变化

各处理茶树的  $C_i$  日变化曲线表现相同的趋势(图6),  $C_i$  在早晨比较高, 随着光强逐渐升高, 气温逐渐上升,  $C_i$  开始下降, 大约在 14:00 出现最低值, 然后上扬, 18:00 达到全天最高值, 整体呈“V”曲线。不同处理间  $C_i$  的日平均值差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 随着郁闭度的增加, 茶树的  $C_i$  的日平均值呈递增趋势:  $T_3 > T_2 > T_1 > CK$ 。

### 3 结论

(1) 不同处理间  $PAR$  和  $T_i$  的日平均值差异极显著, 随着郁闭度的增加, 茶树的  $PAR$  和  $T_i$  的日平均值呈递减趋势, CK 的  $T_i$  日较差均高于  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$ 。夏季

由于复合树种的存在可明显降低茶树叶片温度,  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  的日均  $T_i$  分别为 29.33、29.06 和 28.24℃, 处于茶树光合作用适宜的温度范围, 而 CK (34.12℃) 则明显高于 3 个处理的温度, 接近 35℃, 如遇高温天气可能会影响茶树生长。

(2)  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和 CK 茶树的  $P_n$  日变化均呈不对称的“双峰型”曲线(图3), 出现了明显的光合“午休”现象, 但全天  $P_n$  均值和峰值随着郁闭度的增加额而下降,  $T_3$  的  $P_n$  日变化幅度较小且第 2 个峰值比第 1 个峰值大, 说明郁闭度的增加会进一步影响茶树的光合的日变化。综合分析表明,  $T_2$  处理能够为茶树提供良好的生长环境, 有利于提升茶叶的产量和品质。

(3) 栎树春季发芽较晚, 而秋季落叶早, 对茶树早春的生长影响较小, 夏季能够为茶树提供一个适宜的生长环境, 为第 2 年春茶的生长奠定基础, 提高秋茶的产量和品质, 同时还有木材收益。因此, 栎树-茶复合模式是一种合理和谐的农林生态系统, 具有广阔的生产应用前景。

### 4 讨论

每种植物都需要一个适宜的生长环境, 光照和温度对茶树生长及茶叶品质都有很大影响, 茶树最适宜空气温度为 20~30℃ 左右, 大于 35℃ 则不适宜生长, 大于 39℃ 无净光合作用, 这种影响在夏季尤其为明显<sup>[9-10]</sup>。茶园间作树木可对光照和温度进行有效的调节, 一些学者对林茶复合种植模式的研究结果表明, 补植、恢复和保护茶园间作树木对茶叶产量和品质的提升具有关键作用<sup>[11-12]</sup>。但利用林木自然条件下不同郁闭度对茶树的光合作用研究较少, 本研究丰富了对茶树在完全自然条件下对光环境的反应的数据, 可为实际生产提供指导。本试验结果表明, 随着郁闭度的增加, 茶树的  $PAR$ 、 $T_i$  和  $P_n$  的日平均值呈递减趋势。

茶园间作林木后,茶树接受到的光照强度和时间减少,从而影响茶树的生长。茶树虽然耐荫,在适度的郁闭度下,才能提升产量和品质,郁闭度过大会影响茶叶的产量。依据本研究结果,在实际生产中,林木的郁闭度应控制在0.3~0.6左右为宜。

在光照、水分等正常的条件下,茶树因种类、品种、叶位、叶龄、气温、栽培条件不同其  $Pn$  日变化既有“双峰”也有“单峰”<sup>[13-15]</sup>。同时,植物光合和蒸腾作用受光照、气温、叶温、土壤水势、气孔导度和叶-气水汽压等因素的影响,在土壤水分供应充足的条件下,在一定光照强度范围内植物叶片的  $Tr$  和  $Pn$  一般随气温的升高而增加, $Pn$ 、 $Gs$  和  $Tr$  日变化一般表现为午后高峰型<sup>[16]</sup>。本研究表明, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  和 CK 茶树的  $Pn$  日变化均呈不对称的“双峰型”曲线(图3)。 $T_2$  和  $T_3$  处理由于郁闭度相对较高,降低了高温对茶树的危害,茶树  $Gs$  和  $Tr$  日变化依然表现为午后高峰型,光合和水分生理活动受到的影响较小。而 CK 和  $T_1$  条件下茶树为适应中午强光和高温的环境,防止叶片过度失水而降低  $Gs$ ,  $Gs$  和  $Tr$  日变化表现为“双峰型”,茶树的光合和水分生理活动受到抑制。

#### 参考文献

- [1] 肖润林,王久荣,陈正法,等.亚热带丘陵茶园面临生态问题与对策[J].农业现代化研究,2004,25(5):360-363.
- [2] 章铁,刘秀清.栗茶间作模式对茶树光合特性的影响[J].安徽农业大学学报,2007,34(2):244-247.
- [3] 肖润林,王久荣,单武雄,等.不同遮荫水平对茶树光合环境及茶叶品质的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(6):6-11.
- [4] 呼和牧仁,周梅,翟洪波,等.影响树木光合作用因素的研究进展[J].内蒙古农业大学学报,2009,30(2):287-291.
- [5] 柯世省,金则新,李钧敏.浙江天台山茶树光合日变化及光响应[J].应用与环境生物学报,2002,8(2):159-164.
- [6] 叶川,熊国根,黄庆海,等.低丘红壤泡桐-茶树复合种植模式的研究[J].江西农业学报,2001,13(1):1-8.
- [7] 郭素英,段建真.茶果(林)复合园的光特征研究[J].应用生态学报,1996,7(4):359-363.
- [8] 沈守良,郑征.西双版纳胶-茶群落中茶树的光合特性及其影响因素[J].应用与环境生物学报,2008,14(1):032-037.
- [9] 黄寿波.茶树生长的农业气象指标[J].中国农业气象,1981,2(3):54-57.
- [10] 汪春园,荣光明.茶叶品质与海拔高度及生态因子的关系[J].生态学杂志,1996,15(1):57-60.
- [11] 张一平,刘洋.云南古茶园与常规茶园小气候特征比较研究[J].华南农业大学学报,2005,26(2):17-21.
- [12] 舒庆龄,赵和涛.不同茶园生态环境对茶树生育及茶叶品质的影响[J].生态学杂志,1990(2):13-17.
- [13] 金洁,骆耀平,任明兴,等.嫁接茶树光合特性研究[J].茶叶,2003,29(2):86-88.
- [14] 吴根良,何勇,王永传,等.不同光照强度下卡特兰和蝴蝶兰光合作用和叶绿素荧光参数日变化[J].浙江林学院学报,2008,25(6):733-738.
- [15] 杜旭华,马健,彭方仁.温室内不同茶树品种净光合速率及其生理生态因子日变化[J].浙江林业科技,2007,27(3):28-33.
- [16] 杜占池,杨宗贵.不同土壤型羊草光合和蒸腾特性的比较研究[J].植物学报,1995,37(1):66-73.