

大叶冬青叶片叶绿素荧光特性研究

陈田甜, 刘桂华

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 对大叶冬青叶片主要叶绿素荧光参数的季节日变化进行了测定。结果表明, 所测定的几个叶绿素荧光参数在春季和秋季的日变幅小。 F_m 、 F_m' 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_m/F_0 、 F_v/F_0 在夏季 8:00~18:00 呈现明显先降后升的规律, 其最低值出现在 14:00 左右, 而 NPQ 则呈现先升后降的规律, 其最高值出现在 12:00 左右。 F_m 、 F_m' 、 F_v 、 F_v/F_m 、 F_m/F_0 、 F_v/F_0 在冬季一天中的变化呈先升后降的单峰曲线, 其最高值出现在 14:00 左右, 而 NPQ 在一天中的变化情况则正好相反, 其最低值出现在 14:00 左右。冬夏季的 F_v/F_m 、 F_m/F_0 和 F_v/F_0 显著低于春秋季节, 表明大叶冬青冬夏季叶片 PS II 反应中心电子传递效率和潜在活性显著低于春秋季节。NPQ 参数在冬季和夏季显著高于春秋季节, 表明大叶冬青在冬季和夏季吸收的光能有更大比例用于耗散而保护自身的光合机构。相关分析表明, NPQ 在春、夏和秋季与其大气相对湿度呈显著负相关, 与气温和光照呈显著正相关, 而在冬季则与其气温呈显著负相关。夏季的 F_m/F_0 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 与其气温和光照呈显著负相关, 而与大气相对湿度呈显著正相关。

关键词: 大叶冬青; 叶绿素; 荧光参数; 日变化; 季节; 相关性

中图分类号: S687

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2015)02-0181-05

Chlorophyll fluorescence characteristics of *Ilex latifolia*

CHEN Tiantian, LIU Guihua

(School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters of *Ilex latifolia* in different seasons were studied in this paper. As results, the daily change range of every chlorophyll fluorescence measured in spring and autumn was smaller than that in summer and winter. In summer, the values of F_m (maximal fluorescence), F_m' (actual maximal fluorescence), F_v (variable fluorescence), F_v/F_m (optimal/maximal photochemical efficiency of PS II), F_m/F_0 (electron transfer rate), and F_v/F_0 (potential activity of PS II) from 8:00 to 18:00 obviously showed a descending-ascending trend with the lowest value occurred at about 14:00, but the value of NPQ (non-photochemical quenching) from 8:00 to 18:00 in summer obviously presented an ascending-descending trend and the highest value was detected at about 12:00. The daily change of F_m , F_m' , F_v , F_v/F_m , F_m/F_0 , and F_v/F_0 in winter appeared to be a single peak and the highest value appeared at about 14:00. The daily change trend of NPQ in winter, however, was contrary to those parameters mentioned above and the lowest value appeared at about 14:00. The value of F_v/F_m , F_m/F_0 , and F_v/F_0 in spring and autumn were obviously higher than those in summer and winter, indicating that the electron transfer rate and potential activity of PS II in spring and autumn were higher than those in summer and winter. On the contrary, the value of NPQ in winter and summer was obviously higher than that in spring and autumn, which showed that higher proportion of light energy absorbed from the sun in winter and summer were used for avoiding the destruction of photosynthetic tissue through hot dissipation. In spring, summer, and autumn, a closely positive and negative correlation was found between the value of NPQ and the value of illumination and air moisture, respectively. In summer, there was a close negative correlation between the value of F_m/F_0 , F_v/F_0 , and F_v/F_m and the value of air temperature and illumination, respectively. However, the correlation between the value of F_m/F_0 , F_v/F_0 , and F_v/F_m and the value of air moisture was distinctly positive in summer season.

收稿日期: 2014-10-20

基金项目: 国家“十二五”林业科技支撑项目(2011BAD38B0405)资助。

作者简介: 陈田甜, 硕士研究生。

* 通信作者: 刘桂华, 教授。E-mail: liuguihua@ahau.edu.cn

Key words: *Ilex latifolia*; chlorophyll; fluorescence parameter; daily change; season; correlation

大叶冬青(*Ilex latifolia*)属冬青科冬青属常绿乔木,是自然分布于我国长江以南地区的一种珍贵的观赏绿化树种,其叶片含有多种药用成分,具有很高的药理与保健作用,所以,该树种具绿化、美化与保健等多种功能^[1-2]。目前对于大叶冬青的研究报道较多,主要涉及其叶片内含物及其产品开发和保健功效以及大叶冬青繁殖、引种培育及其低温干旱下叶片部分生理生化响应等^[1-6]。

植物叶片叶绿素荧光参数的变化可以在一定程度上反映环境因子的变化及其对植物的影响,因此,近些年来被广泛应用到植物光合机理、逆境生理等研究领域^[7-11]。但是,在对大叶冬青的研究报道中,尚未见到对其叶片叶绿素荧光特性的研究报道。本试验以人工栽植的大叶冬青(8年生)为研究对象,定位测定了不同季节叶片叶绿素荧光参数的日变化,为揭示大叶冬青光合机理和种质资源的保护及科学培育提供相关的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地地处安徽枞阳县大山林场,属北亚热带季风湿润区。气候温和湿润,四季分明,日照充足。年均气温 16.5℃,历年极端最高气温 40.9℃,极端最低气温 -13.5℃,≥10℃的年均积温 5129℃,无霜期 250 d 左右。年均光照时数 2060 h。多年平均降水量约 1330 mm,其中梅雨季节降水约占总降水量的 40%,秋季少雨易发秋旱。主要土壤类型为地

带性黄棕壤,pH 值 5.5~6.5,质地较轻,易耕作,但保水保肥能力差,养分贫乏。试验区域人口密度大,人为活动强烈,原生植被受到严重破坏,现存植被多为次生马尾松纯林及次生松阔混交林,不存在典型的地带性常绿落叶阔叶混交林。

2008年,从安徽南部引进 100 株 2 年生大叶冬青苗木,采用大穴整地(60 cm×60 cm×60 cm)造林,5 年后形成如表 1 所示的幼林。

1.2 试验方法

选择无病虫害生长健康的林木 3 株,选其中上部生长中等的枝条涂漆标记。分别于春(5 月中旬)、夏(7 月下旬)、秋(9 月下旬)和冬(1 月中旬)4 个季节晴朗天气,在上述各标记枝条上分别选取 3 片充分伸展后的功能叶,于 8:00~18:00(冬季 8:00~16:00),采用便携式调制叶绿素荧光仪(仪器型号为 PAM2100, WALZ, Germany),每隔 2 h 测定叶绿素荧光参数 F_0 、 F_m 和 F_m' 。在每次测定前,先使叶片在叶夹内暗适应 20 min,后打开测量光,测其暗适应叶片的 F_0 (最小荧光),继而打开饱和脉冲光测其暗适应叶片的 F_m (最大荧光),再使叶片在自然光照下适应 15~20 min,施加饱和闪光脉冲,测其 F_m' (光适应下最大荧光)^[12]。基于上述测定数据,计算 $F_v=F_m-F_0$ (可变荧光)、 F_v/F_m (PS II 最大光能转换效率)、 F_m/F_0 (电子传递效率)、 F_v/F_0 (PS II 潜在活性)、 $NPQ=F_m/F_m'-1$ (非光化学猝灭系数)等荧光参数。

数据处理采用 Excel 和 DPS 统计软件。

表 1 试验林基本概况

Table 1 The basic situation of the experimental forest

树种 Species	树高/m Height	冠幅/m Crown diameter	地径/cm Diameter at ground level	枝下高/m Height under branch	密度/株·hm ⁻² Density	海拔/m Elevation	坡度/(°) Slope
大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	1.23±0.11	0.78±0.10	3.08±0.33	0.27±0.09	833	71	3.0

2 结果与分析

2.1 叶绿素荧光参数日变化

从图 1 可以看出, F_0 在各个季节的日变化曲线均呈平缓状态,其中冬夏两季和春秋两季一天中相同时刻的测定值两两差异较小,但冬夏两季一天中各个时刻测定值与春秋两季的对值却差异明显。这可能与不同季节大叶冬青叶片叶绿素含量有关。

与 F_0 日变化不同, F_m 、 F_m' 、 F_v 、 F_m/F_0 、 F_v/F_0 参数在春秋季节的日变化均呈现先缓升后缓降的走

势。而上述这些荧光参数在夏季日变化则都呈现明显的先降后升的单谷型规律,其最小值都出现在 14:00 左右。表明大叶冬青幼树叶片 PS II 反应中心活性在夏季中午前后受到抑制,但从这些参数下午回升的事实看,夏季试验区的强光高温对大叶冬青叶片 PS II 反应中心活性的抑制是可逆的,即试验区夏季的环境没有对大叶冬青栽培分布产生限制性影响。与夏季相反, F_m 、 F_m' 、 F_v 、 F_m/F_0 、 F_v/F_0 参数在冬季都呈现先升后降的单峰型日变化规律,其最大值也出现在 14:00 左右。上述参数在冬季一天中

的早晚出现明显的低值,说明大叶冬青叶片 PS II 反应中心活性在试验区冬季的早晚都受到了抑制,但从这些参数在中午前后的回升情况看,大叶冬青叶片 PS II 反应中心活性在试验区冬季受其环境的抑制也是可逆的,说明试验区冬季的环境也没有对大叶冬青栽培分布产生限制性影响。

F_v/F_m 在春季和秋季一天中不同时刻的测定值差异很小,但在夏季一天中则呈现先降后升的单谷型日变化规律,其最小值出现在 14:00 左右,而冬季则呈现先升后降的单峰型日变化规律,其最大值也出现在 14:00 左右。 F_v/F_m 在不同季节的日变化规

律进一步说明大叶冬青叶片 PS II 反应中心活性在冬夏季节均受到一定程度的抑制,而在春秋季节几乎没有出现被抑制的现象。

NPQ 在春秋两季的日变化都呈现先缓升后缓降的平缓型规律,但在夏季一天的测定值则呈现先升后降的单峰型日变化规律,其最大值都出现在 12:00 左右,而冬季的 NPQ 则呈现先降后升的单谷型日变化规律,其最小值出现在 14:00 左右。NPQ 在夏季 12:00 左右和冬季一天中早晚出现高峰的现象可能是大叶冬青光合器官对试验区夏季中午前后高温强光和冬季早晚低温胁迫的保护性适应机制。

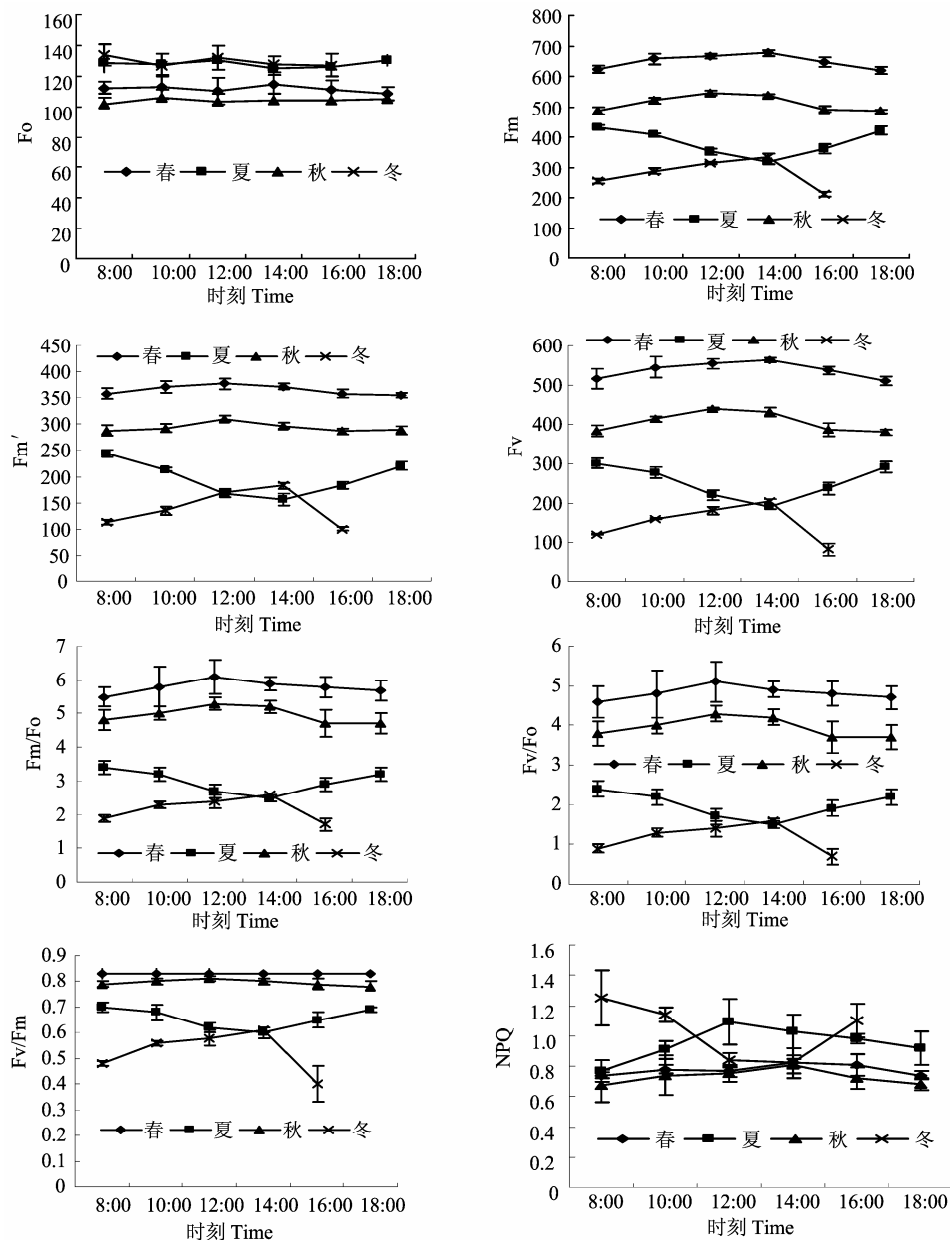


图 1 不同季节大叶冬青叶绿素荧光参数日变化

Figure 1 The diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameters in different seasons

表 2 不同季节大叶冬青叶绿素荧光参数日均值比较

Table 2 The average daily values of chlorophyll fluorescence parameters in different seasons

荧光参数 Fluorescence parameters	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
F_0	109.12±2.01 ^{bb}	126.33±2.09 ^{aa}	106.13±1.87 ^{cb}	127.64±4.13 ^{aa}
F_m	635.14±20.19 ^{aa}	379.26±32.13 ^{cc}	514.25±23.68 ^{bb}	261.99±39.27 ^{dd}
F_m'	357.26±8.13 ^{aa}	195.63±29.17 ^{cc}	292.19±10.14 ^{bb}	138.79±33.79 ^{dd}
F_v	526.02±19.01 ^{aa}	252.93±26.99 ^{cc}	408.12±27.15 ^{bb}	134.59±23.12 ^{dd}
F_m/F_0	5.82±0.19 ^{aa}	3.00±0.27 ^{cc}	4.85±0.23 ^{bb}	2.05±0.21 ^{dd}
F_v/F_0	4.82±0.23 ^{aa}	2.00±0.26 ^{cc}	3.85±0.21 ^{bb}	1.05±0.22 ^{dd}
F_v/F_m	0.83±0.01 ^{aa}	0.67±0.03 ^{bb}	0.79±0.01 ^{aa}	0.51±0.07 ^{cc}
NPQ	0.78±0.02 ^{bb}	0.94±0.13 ^{aa}	0.76±0.04 ^{bb}	0.89±0.08 ^{aa}

注：表中的数据为平均值±标准差。大小写字母差异显著 ($P < 0.01$)。

Note: The data in the table are average ± SD, and which followed by capital and small letters mean significant difference at the 0.01 level.

表 3 不同季节荧光参数值与其气象因子的相关性

Table 3 The correlation between the values of chlorophyll fluorescence parameters and meteorological factors

季节 Season	气象因子 Meteorological factor	F_v/F_m	F_m/F_0	F_v/F_0	NPQ
春季 Spring	气温 T_a	0.4621	0.8410*	0.8437*	0.6543
	光合有效辐射 PAR	0.3972	0.8863*	0.8988*	0.6624
	大气相对湿度 RH	0.5015	-0.7177	-0.6636	-0.8241*
夏季 Summer	气温 T_a	-0.8925*	-0.9543**	-0.9764**	0.9088*
	光合有效辐射 PAR	-0.9043*	-0.8726*	-0.8674*	0.8234*
	大气相对湿度 RH	0.8821*	0.9012*	0.9012*	-0.8163*
秋季 Autumn	气温 T_a	0.6117	0.7012	0.77725	0.8976*
	光合有效辐射 PAR	0.8724*	0.8927*	0.8963*	0.9011*
	大气相对湿度 RH	-0.5044	-0.5234	-0.5874	-0.8527*
冬季 Winter	气温 T_a	0.4312	0.5763	0.5843	-0.9126*
	光合有效辐射 PAR	0.5899	0.6236	0.6321	-0.7099
	大气相对湿度 RH	-0.7643	-0.8101	-0.7899	0.6842

注：“*”和“**”分别表示显著差异 ($P < 0.05$)和极显著差异 ($P < 0.01$)。

Note: “*” and “**” mean significant difference at the 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.2 叶绿素荧光参数日均值差异

表 2 显示, 不同季节大叶冬青叶绿素荧光参数日均值存在不同程度的差异。冬夏季节 F_0 的日均值极显著 ($P < 0.01$) 高于春秋两季, 而冬夏季节之间则不存在显著差异。

春秋两季 F_m 、 F_m' 、 F_v 、 F_m/F_0 、 F_v/F_0 的日均值极显著 ($P < 0.01$) 高于冬夏两季, 而春季和夏季则分别极显著 ($P < 0.01$) 高于秋季和冬季。春秋季节的 F_v/F_m 日均值极显著 ($P < 0.01$) 高于冬夏两季, 而夏季又极显著 ($P < 0.01$) 高于冬季。由此可见, 冬夏季节大叶冬青叶片 PS II 的潜在活性极显著低于春秋两季。 F_m/F_0 是反映通过 PS II 的电子传递效率, 可见, 冬夏季节大叶冬青一天中叶片光合过程中的电子传递效率极显著低于春秋两季。从 F_v/F_m 的差异可见, 本试验区大叶冬青叶片在冬夏季节都

受到一定程度胁迫, 且在冬季受到的胁迫更为严重。

相反, 大叶冬青叶片 NPQ 在冬季和夏季的日均值则极显著 ($P < 0.01$) 高于春秋两季, 说明冬夏季节大叶冬青幼树叶片的 PS II 天线色素吸收的光能用于热耗散的比例显著高于春秋两季, 而用于光合的比例则显著低于春秋两季, 这可能正是大叶冬青光合器官对试验区夏季中午前后高温强光和冬季早晚低温胁迫产生保护的机理。

2.3 荧光参数与环境因子的相关性

相关分析结果 (表 3) 表明, 大叶冬青叶片各荧光参数的日变化与其不同季节光热因子日变化呈现不同程度的相关性。春季大叶冬青叶片叶绿素荧光参数 F_m/F_0 、 F_v/F_0 的日变化与其光合有效辐射和气温的日变化呈显著正相关, 而 NPQ 则与其大气相对湿度呈显著负相关, 其他荧光参数的日变化与其

光合有效辐射和气温的日变化没有显著相关性。夏季荧光参数 F_v/F_m 、 F_m/F_0 和 F_v/F_0 的日变化与其光合有效辐射和气温的日变化均呈显著负相关, 而与大气相对湿度呈显著正相关, NPQ 的日变化在夏季与其光合有效辐射和气温的日变化呈极显著正相关, 与大气相对湿度呈显著负相关。秋季 NPQ 的日变化与其气温和光合有效辐射的日变化分别呈显著正相关, 而 F_m/F_0 、 F_v/F_0 和 F_v/F_m 的日变化则与其光合有效辐射和气温的日变化呈不同程度的正相关关系。但是, 秋季的大气相对湿度日变化则与 NPQ 的日变化呈显著负相关。冬季 F_v/F_m 、 F_m/F_0 和 F_v/F_0 的日变化与其光合有效辐射和气温及大气相对湿度的日变化不存在显著相关, 但 NPQ 的日变化则与其气温的日变化呈现极显著的负相关。

3 小结与讨论

大叶冬青叶片在春秋季节叶绿素荧光参数的日变幅小于冬夏季节, 且其反映叶片 PS II 反应中心电子传递等光合效率的 F_m/F_0 (电子传递效率) 和 F_v/F_0 (PS II 潜在活性) 等参数值都在不同程度上高于冬夏季节, 说明大叶冬青在春秋季节叶片 PS II 反应中心电子传递和潜在活性等光合效率高于冬季和夏季。与其他参数相反, 冬季和夏季大叶冬青叶片的 NPQ (非光化学淬灭系数) 显著高于春秋季节。春秋季节的 NPQ 值较低, 说明 PS II 天线色素吸收的光能用于光合的效率较高。相反, 冬季和夏季的 NPQ 值高, 说明 PS II 天线色素吸收的光能用于保护自身光合机构比例大, 故光合效率低。非光化学淬灭也是反映 PS II 天线色素吸收的不能用于光合电子传递而以热耗散掉的光能部分, 是一种自我保护机制^[8,10]。

F_v/F_m (PS II 最大光能转换效率) 在春秋季节一天中不同时刻的测定值差异很小, 但在夏季和冬季一天中变化明显, 且各个时刻的测定值和日均值显著低于春秋季节的对应值。进一步说明大叶冬青在冬季和夏季受到了试验区的环境胁迫。但从 F_v/F_m 日变化规律看, 夏季试验区的强光高温和冬季的低温对大叶冬青叶片 PS II 反应中心活性产生的抑制作用是可逆的。上述情况表明, 在试验区的冬夏季节, 既需要对大叶冬青幼树采取不同的培育措施提高其光合效率和抗逆性, 同时本试验区依然可以归为大叶冬青的人工培育区。

春季大叶冬青叶片 F_m/F_0 和 F_v/F_0 的日变化与其光合有效辐射和气温的日变化呈显著正相关, 说明在春季的光热因子范围内, 光热因子指标越高, 大

叶冬青的光合效率越高。夏季 F_v/F_m 、 F_m/F_0 和 F_v/F_0 的日变化与其光热因子日变化呈显著负相关, 说明夏季的强光高温对大叶冬青叶片的光合机构产生了抑制作用, 而夏季 NPQ 的日变化则与其光热呈显著正相关, 说明夏季大叶冬青叶片 PS II 天线色素吸收的光能以热耗散掉的比例高。秋季 F_v/F_m 、 F_m/F_0 和 F_v/F_0 与其光合有效辐射的日变化呈显著正相关, 而 NPQ 的日变化则与其气温呈显著正相关。冬季 NPQ 的日变化与其气温日变化呈显著负相关, 说明冬季低温可能是大叶冬青叶片光合机构受到抑制的主要原因, 同时说明大叶冬青在本试验区培育过程中, 对其防冻和抗寒锻炼是必要的培育措施。

春、夏和秋 3 个季节的 NPQ 日变化都分别与其大气相对湿度日变化呈现显著负相关, 说明在这些季节, 大气相对湿度越高, 大叶冬青叶片的 NPQ 则越低, 因此, 叶片 PS II 天线色素吸收的光能用于保护自身光合机构的比例也越低, 光合效率越高。由此可以推理, 大叶冬青在本试验区适宜栽培在大气相对湿度高的环境中。

参考文献:

- [1] 庄辉发. 大叶冬青苦丁茶的研究现状与发展前景[J]. 热带农业科学, 2009, 29(8): 51-54.
- [2] 曹健康, 方乐金. 大叶冬青资源的开发利用与发展前景[J]. 资源与环境, 2008, 24(2): 157-159.
- [3] 王宁, 吴军, 夏鹏云, 等. 低温胁迫对大叶冬青生理特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45(4): 407-410.
- [4] 夏鹏云, 吴军, 乔俊鹏, 等. 干旱胁迫对大叶冬青叶片生理特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2010, 44(1): 47-51.
- [5] 刘根林, 李晓储, 梁珍海, 等. 优良保健树大叶冬青组培扩繁的研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 439-443.
- [6] 罗凡. 大叶冬青苦丁茶引种栽培试验初报[J]. 茶业通报, 2002, 24(1): 25-26.
- [7] 张阿宏, 齐孟文, 张晔晔. 调制叶片叶绿素荧光动力学参数及其计量关系的意义和公理化讨论[J]. 核能学报, 2008, 22(22): 909-912.
- [8] 陈建明, 俞小平, 程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J]. 浙江农业学报, 2006, 18(1): 51-55.
- [9] 温国胜, 田海涛, 张明如, 等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 173-177.
- [10] 李鹏民, 高辉远, Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(6): 559-566.
- [11] Kraus G H, Weis E. Chlorophyll II fluorescence as a tool in plant physiology[J]. Photosyn Res, 1984(5): 39-157.
- [12] 陈辰, 刘桂华, 赵海燕, 等. 华东楠叶绿素荧光特性的研究[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(10): 50-53.