

4种含笑叶片叶绿素荧光参数 Fv/Fm 特性的比较

陈辰, 何小定, 秦金舟, 刘桂华*

(安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 对深山含笑、阔瓣含笑、金叶含笑和峨眉含笑幼树叶叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在不同季节的日变化及其与光照 (PAR)、气温 (T_a) 和大气相对湿度 (RH) 的相关性进行了测定和分析。结果表明, 4种含笑幼树叶叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在春季日变化小, 各个时刻的测定值均大于 0.75, 荧光参数 Fv/Fm 在春季与其 PAR、 T_a 和 RH 均无显著相关性。4种含笑叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在夏季的日变化均呈先降后升的趋势, 最低值 (< 0.75) 出现在 12:00~14:00 之间。深山含笑和阔瓣含笑叶绿素荧光参数 Fv/Fm 与夏季的 T_a 和 RH 均分别呈显著负相关和显著正相关, 但金叶含笑夏季叶绿素荧光参数 Fv/Fm 与 PAR 和 T_a 呈显著负相关。从叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的日变化趋势和测定值看, 深山含笑、阔瓣含笑和金叶含笑的光合机构在夏季 12:00~14:00 均受到可逆性胁迫影响。峨眉含笑夏季叶绿素荧光参数 Fv/Fm 与 T_a 和 RH 分别呈极显著负相关和极显著正相关, 且 Fv/Fm 的测定值在一天中各个时刻均低于 0.75, 表明其光合机构在夏季受到不可逆性胁迫影响。峨眉含笑叶片叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在秋季日变化呈先降后升的趋势, 最低值 (0.72) 出现在 14:00, 且与 RH 呈显著正相关, 其它 3 种含笑的 Fv/Fm 在秋季的日变化小, 各个时刻的测定值均在 0.75 以上, 且与其 PAR、 T_a 和 RH 无显著相关性。4种含笑叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在冬季的日变化均呈先升后降的趋势, 且均与 T_a 呈显著正相关。从叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的日变化趋势和测定值看, 4种含笑的光合机构在冬季只受到了可逆性胁迫影响。

关键词: 含笑; 叶绿素荧光; Fv/Fm ; 相关性; 气象因子

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)01-0032-06

Comparison of chlorophyll fluorescence Fv/Fm characteristics of four michelia trees

CHEN Chen, HE Xiao-ding, QIN Jin-zhou, LIU Gui-hua

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

Abstract: The diurnal changes of chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm of seedlings of *Michelia maudiae*, *Michelia platyptala*, *Michelia foveolata* and *Michelia wilsonii* in different seasons and correlations between Fv/Fm values and photosynthetically active radiation (PAR), air temperature (T_a) and air humidity (RH) were studied in this paper. The diurnal change range of Fv/Fm of four michelia trees in spring was small and the values in a whole day were higher than 0.75. There was no significant correlation between the chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm of four michelia trees and PAR, T_a and RH in spring. The values of Fv/Fm in a whole day in summer showed a trend of descending first and then ascending and the lowest values (< 0.75) appeared between 12:00 and 14:00. A negative relation was founded between Fv/Fm value of *Michelia maudiae* and T_a and RH, while a positive correlation between Fv/Fm value of *Michelia platyptala* and T_a and RH in summer; there was a significant negative correlation between Fv/Fm value of *Michelia foveolata* and PAR and T_a in summer. Based on the diurnal changes trend and the Fv/Fm value in a whole day, the effects of reversible stress on the photosynthetic tissues of *Michelia maudiae*, *Michelia platyptala* and *Michelia foveolata* were founded in summer from 12:00 to 14:00. The significant negative correlation and positive correlation between the values of Fv/Fm of *Michelia wilsonii* and T_a and RH were also founded in summer, respectively. The values of Fv/Fm of *Michelia wilsonii* in a whole day in summer were below 0.75, indicating that there was irreversible stress effect on the photosynthetic tissues of *Michelia wilsonii* in summer. The diurnal change of Fv/Fm of *Michelia wilsonii* in autumn

收稿日期: 2012-04-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目 (2011BAD38B0702) 资助。

作者简介: 陈辰, 女, 硕士研究生。

* 通信作者: 刘桂华, 男, 教授。E-mail: ghl611112@yahoo.com.cn

presented a trend of descending first and then ascending, and the lowest value (0.72) was at 14:00, and there was a significant positive correlation between the value of F_v/F_m and RH. The diurnal changes of F_v/F_m of the other three michelia trees in autumn were small, and the values were higher than 0.75 in a whole day. Meanwhile, no significant correlation between the values of F_v/F_m of three michelia trees mentioned above, and PAR, T_a and RH were founded from experimental results in autumn. The diurnal changes of F_v/F_m of four michelia trees in winter were ascending at first and then descending, and significant positive correlation between the F_v/F_m and T_a was showed from the experimental results. The diurnal changes trend and the values of F_v/F_m in a whole day in winter indicated that the effects of stress on the photosynthetic tissues of four michelia trees were only reversible.

Key words: michelia trees; chlorophyll fluorescence; F_v/F_m ; correlation; meteorological factors

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光合生理产生的影响。植物叶片叶绿素荧光特性已被广泛应用于植物光合机理和逆境生理等研究领域^[1-12]。在众多的叶绿素荧光参数中, F_v/F_m 用于表征 PS II 反应中心光能的转化效率^[13], 其数值变化具有特殊的意义。研究表明, 在非胁迫环境条件下, 植物叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 变化极小, 表现出稳定的特点, 但在胁迫条件下, 该参数明显下降^[1,5]。因此, 通过测定植物叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的变化, 推测植物对特定环境因子的适应性和抗逆性可能是一条较为有效和较为便捷的途径。也有人试图把 F_v/F_m 的动态变化与特定环境因子的关系作为筛选植物品种的指标^[1]。

深山含笑 (*Michelia maudiae*)、金叶含笑 (*Michelia foveolata*)、峨眉含笑 (*Michelia wilsonii*) 和阔瓣含笑 (*Michelia platypetala*) 同属中亚热带常绿阔叶林中的珍稀树种或濒危树种, 也是特殊的资源树种和优良的园林观赏树种, 其资源稀少且多零星分布于天然次生林中^[14-19]。作者以安徽枞阳县大山林场引建的珍稀树木园为试验地, 对上述 4 种含笑幼树在不同季节叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的日变化进行了测定, 并分析其与试验区不同季节重要气象

因子的相关性, 为探讨供试树种对试验区的适宜性提供相应的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与试验材料

试验地设在安徽枞阳县大山林场。该场地处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℃ 左右, 历年极端最高气温为 40.9℃, 极端最低气温 -13.5℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年均积温 5 129℃, 无霜期 250 d 左右。年均光照时数 2 060 h。多年平均降水量约 1 330 mm, 其中梅雨季节降水约占总降水量的 40% 左右, 秋季少雨易发秋旱。主要土壤类型为沙性黄棕壤, 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。由于人类活动的影响, 试验地原生植被已被破坏殆尽, 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。2007 年, 从安徽南部分别引进深山含笑、金叶含笑、峨眉含笑和阔瓣含笑 2 年生苗木, 采用大穴整地 (60 cm×60 cm×60 cm) 造林, 形成不同的林分 (表 1)。本试验以其不同林分为研究对象, 分别选其代表性的植株为试材, 于 1 月、4 月、7 月和 9 月分别对其叶绿素荧光参数进行了测定。

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
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	1.62±0.07	0.70±0.05	3.06±0.15	0.65±0.05	833	73	3.0
峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	0.70±0.04	0.45±0.03	0.89±0.06	0.31±0.03	833	75	4.0
阔瓣含笑 <i>Michelia platypetala</i>	1.62±0.03	0.68±0.04	3.12±0.13	0.64±0.04	833	72	3.5
金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	1.04±0.07	0.50±0.03	1.07±0.07	0.39±0.03	833	70	4.0

1.2 试验方法

在不同树种组成的林分内,分别选择生长健康、无病虫害、无被压的代表性林木涂漆标记。在被选株中上部选择生长中等的代表性枝条同样涂漆标记。分别于春(4月下旬)、夏(7月下旬)、秋(9月下旬)和冬(1月中旬)4个季节选择晴朗天气,在上述各标记枝条上分别选取3片伸展充分而成熟的当年生功能叶(重复3次)并标记,于8:00~18:00(冬季8:00~16:00)每隔2h,采用便携式调制叶绿素荧光仪(PAM2100, WALZ, Germany)测定叶绿素荧光参数 F_0 、 F_m 。测定前先用叶夹使叶片暗适应20 min,后打开测量光,测暗适应叶片的最小荧光(F_0),再打开饱和脉冲光测暗适应叶片的最大荧光(F_m)^[4,10-11]。依此获得可变荧光($F_v = F_m - F_0$)、PS II最大光能转换效率(F_v/F_m)^[4]。采用LI-6400(美国Licor公司生产)便携式光合系统测定记录气温、大气湿度和光强等环境因子。

采用Excel和DPS统计软件进行相关数据的统计处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同树种叶片叶绿素荧光 F_v/F_m 日变化规律

2.1.1 深山含笑幼树叶片叶绿素荧光 F_v/F_m 日变化

F_v/F_m 是近年来常用的研究植物对逆境响应的重要生理参数。植物在非胁迫生长条件下,叶绿素荧光 F_v/F_m 一般在0.75~0.85,植物在胁迫生长条件下,叶绿素荧光 F_v/F_m 显著降低^[20-21]。表2表明,深山含笑幼树叶片叶绿素荧光 F_v/F_m 测定值在春季和秋季一天中表现稳定,不同时刻的测定值不存在显著差异,且均在0.8以上,表明试验区春季和秋季的生长环境对深山含笑幼树的光合过程没有产生胁迫影响。深山含笑幼树叶片叶绿素荧光 F_v/F_m 在夏季的测定值呈先降后升的单谷型日变化规律,最低值(0.733~0.742)出现在12:00~14:00之间,一天中其它时间段的 F_v/F_m 均在0.75以上,表明夏季的生长环境对深山含笑幼树的光合过程产生了可逆性的胁迫影响。叶绿素荧光 F_v/F_m 在冬季的测定值则呈先升后降的单峰型日变化规律,其中以12:00~14:00为一天中的峰值(大于0.75),显著高于其它时刻的测定值(小于0.75),说明试验区冬季的早晚环境对深山含笑幼树光合过程产生了一定的胁迫,但从 F_v/F_m 在冬季一天中的变化趋势看,这种胁迫是可逆的。综上所述,虽然深山含笑幼树的光合在夏季和冬季受到一定程度胁迫影响,但这种胁迫是可逆的。从总体上看,在气候上,本试验区可以作为深山含笑的适宜培育区。

表2 不同季节深山含笑幼树叶绿素荧光参数 F_v/F_m 日变化
Table 2 The diurnal changes of F_v/F_m of *Michelia maudiae* in different seasons

测定时刻 Time	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
8:00	0.831±0.006 ^a	0.785±0.004 ^a	0.818±0.010 ^a	0.741±0.006 ^b
10:00	0.831±0.006 ^a	0.755±0.006 ^c	0.817±0.004 ^a	0.744±0.006 ^b
12:00	0.832±0.004 ^a	0.742±0.004 ^{cd}	0.818±0.004 ^a	0.763±0.004 ^a
14:00	0.830±0.003 ^a	0.733±0.008 ^d	0.819±0.004 ^a	0.761±0.008 ^a
16:00	0.833±0.010 ^a	0.767±0.004 ^{cb}	0.818±0.002 ^a	0.742±0.006 ^b
18:00	0.826±0.003 ^a	0.779±0.011 ^b	0.817±0.003 ^a	

注:字母相同表示差异不显著,一个字母不同表示差异显著($P < 0.05$),两个字母不同表示差异极显著($P < 0.01$)。下同。

Note: Same letter indicates no significant difference. One different letter indicates significant differences ($P < 0.05$), and two different letters indicates extremely significant differences ($P < 0.01$). The same below.

表3 不同季节金叶含笑幼树叶绿素荧光参数 F_v/F_m 日变化
Table 3 The diurnal changes of F_v/F_m of *Michelia foveolata* in different seasons

测定时刻 Time	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
8:00	0.817±0.008 ^a	0.776±0.008 ^a	0.775±0.006 ^a	0.735±0.006 ^c
10:00	0.816±0.013 ^a	0.759±0.006 ^b	0.771±0.006 ^a	0.744±0.006 ^b
12:00	0.816±0.007 ^a	0.733±0.008 ^c	0.771±0.007 ^a	0.756±0.005 ^a
14:00	0.814±0.005 ^a	0.725±0.005 ^c	0.775±0.006 ^a	0.760±0.003 ^a
16:00	0.814±0.006 ^a	0.750±0.001 ^b	0.772±0.004 ^a	0.749±0.002 ^b
18:00	0.817±0.006 ^a	0.752±0.002 ^b	0.773±0.007 ^a	

2.1.2 金叶含笑幼树叶片叶绿素荧光 Fv/Fm 日变化
 在本试验区一年中的不同季节, 金叶含笑幼树叶片叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的日变化呈现不同的规律(表 3)。春季一天中不同时刻 Fv/Fm 的测定值不存在显著差异, 均稳定在 0.81~0.82 之间, 说明本试验区春季的生长环境对金叶含笑幼树光合没有产生胁迫作用。夏季的日变化呈先降后升的单谷型, 其中 12:00 和 14:00 的测定值显著低于其它时刻的对应值, 同时也低于 0.75。说明金叶含笑幼树的光合在夏季一天中的 12:00~14:00 之间受到可逆性的胁迫影响。在秋季, 叶绿素荧光参数 Fv/Fm 一天中不同时刻的测定值不存在显著差异, 均稳定在 0.771~0.775 之间, 说明本试验区秋季的生长环境对金叶含笑幼树光合没有产生胁迫作用。叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的测定值在冬季的日变化呈先升后降的单峰型, 最高值出现在 14:00。除 12:00 和 14:00 外, 叶绿素荧光 Fv/Fm 的测定值在冬季的其它时刻均低于 0.75, 表明本试验区冬季早晚的生长环境对金叶含笑幼树光合过程产生了一定的胁迫, 同时从冬季的日变化走势看, 这种胁迫也是可逆的。由此可见, 在气候上, 本试验区基本上可以划分为金叶

含笑的适宜培育区。

2.1.3 峨眉含笑幼树叶片叶绿素荧光 Fv/Fm 日变化
 不同季节, 峨眉含笑幼树叶绿素荧光参数 Fv/Fm 表现明显不同的日变化规律(表 4)。在春季, 一天中不同时刻的 Fv/Fm 测定值稳定在 0.82~0.83 之间, 说明本试验区春季的生长环境对峨眉含笑幼树的光合没有产生胁迫影响。在夏季, 一天中不同时刻 Fv/Fm 的测定值变化于 0.62~0.69 之间(均低于 0.75), 不同时刻存在显著差异。显然, 试验区夏季的生长环境对峨眉含笑幼树的光合机构产生了严重且不可逆的胁迫影响。荧光参数 Fv/Fm 的日变化在秋季呈单谷型, 14:00 出现最低值, 且低于 0.75, 说明这一时刻前后的环境因子对峨眉含笑幼树的光合产生了可逆性的胁迫影响。与秋季相反, 叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的测定值在冬季的日变化呈单峰型, 最高值出现在 14:00。从表 4 可以看出, 试验区冬季早晚的生长环境对峨眉含笑幼树的光合过程产生了一定的胁迫影响, 但这种胁迫也是可逆的。综上所述, 夏季的环境对峨眉含笑幼树产生严重且不可逆的胁迫使得本试验区不能成为峨眉含笑的适宜培育区。

表 4 不同季节峨眉含笑幼树叶绿素荧光参数 Fv/Fm 日变化

Table 4 The diurnal changes of Fv/Fm of *Michelia wilsonii* in different seasons

测定时刻 Time	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
8:00	0.825±0.006 ^a	0.690±0.008 ^a	0.810±0.004 ^a	0.741±0.004 ^b
10:00	0.825±0.003 ^a	0.667±0.012 ^b	0.786±0.006 ^b	0.753±0.006 ^a
12:00	0.822±0.004 ^a	0.648±0.008 ^c	0.757±0.008 ^c	0.755±0.003 ^a
14:00	0.822±0.003 ^a	0.620±0.001 ^{ed}	0.720±0.001 ^d	0.757±0.002 ^a
16:00	0.821±0.003 ^a	0.639±0.001 ^d	0.776±0.005 ^b	0.747±0.004 ^b
18:00	0.821±0.003 ^a	0.652±0.006 ^c	0.801±0.002 ^a	

表 5 不同季节阔瓣含笑幼树叶绿素荧光参数 Fv/Fm 日变化

Table 5 The diurnal changes of Fv/Fm of *Michelia platyptala* in different seasons

测定时刻 Time	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
8:00	0.824±0.004 ^a	0.810±0.002 ^a	0.810±0.003 ^a	0.738±0.005 ^{dc}
10:00	0.824±0.007 ^a	0.794±0.006 ^b	0.809±0.002 ^a	0.753±0.008 ^b
12:00	0.828±0.004 ^a	0.759±0.007 ^c	0.801±0.002 ^b	0.783±0.005 ^a
14:00	0.824±0.003 ^a	0.741±0.002 ^d	0.800±0.001 ^b	0.785±0.014 ^a
16:00	0.824±0.006 ^a	0.762±0.011 ^c	0.804±0.006 ^a	0.748±0.003 ^{cb}
18:00	0.824±0.004 ^a	0.802±0.003 ^{ab}	0.807±0.004 ^a	

2.1.4 阔瓣含笑幼树叶片叶绿素荧光 Fv/Fm 日变化
 不同季节, 阔瓣含笑幼树叶绿素荧光参数 Fv/Fm 日变化存在不同的规律(表 5)。与上述其它含笑相同, 阔瓣含笑幼树叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在春季的一天均稳定在 0.82 左右, 显示春季的生长环境对阔瓣含笑幼树的光合没有产生胁迫影响。叶绿素荧光参数

Fv/Fm 在夏季呈先降后升的单谷型日变化规律, 其最低值出现在 14:00, 且小于 0.75, 而一天中其它时间段的 Fv/Fm 均在 0.75 以上。可见, 试验区夏季的生长环境对阔瓣含笑幼树的光合产生了短暂而可逆的胁迫影响。秋季叶绿素荧光参数 Fv/Fm 的日变化略呈先降后升的单谷型, 但一天中的各个时刻测定

值均在 0.8 以上, 说明试验区秋季的生长环境对阔瓣含笑幼树的光合没有产生胁迫影响。冬季叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的日变化略呈先升高后降低的单峰型, 除 8:00 和 16:00 的 F_v/F_m 测定值小于 0.75 外, 其余时刻均大于 0.75, 显而易见, 试验区冬季早晚的生长环境对阔瓣含笑幼树光合产生了短暂而可逆的胁迫影响。从不同季节叶绿素荧光参数 F_v/F_m 情况看, 本试验区可以划分为阔瓣含笑的适宜培育区。

2.2 不同季节 4 种含笑叶绿素荧光 F_v/F_m 与 3 个气象因子的相关性

2.2.1 春季叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气象因子的相关性

对不同树种不同季节叶绿素荧光 F_v/F_m 与其光照、气温和大气相对湿度 3 个主要气象因子的相关性进行了分析。结果表明, 不同树种不同季节 F_v/F_m 与 3 因子分别表现不同程度的相关性 (表 6)。在春季, 4 种含笑的叶绿素荧光 F_v/F_m 日变化与其光照、气温和大气相对湿度的日变化没有显著相关性, 同时 4 种含笑的 F_v/F_m 在春季各个时刻均稳定在 0.8 以上, 说明春季 3 个主要气象因子能充分满足 4 种含笑幼树叶片 PS II 反应中心的光能转化过程而不成为其限制因子。

2.2.2 夏季叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气象因子的相关性

在夏季, 深山含笑幼树叶叶绿素荧光 F_v/F_m 日变化与其气温和大气相对湿度的日变化分别呈显著负相关和显著正相关, 与其光照呈不显著负相关, 说明深山含笑幼树夏季 12:00~14:00 所受到的胁迫是其高温和低湿所引起的。金叶含笑幼树叶叶绿素荧光 F_v/F_m 与其光照和气温均呈显著负相关, 而与其大

气相对湿度则呈显著正相关, 说明金叶含笑幼树夏季 12:00~14:00 所受到的胁迫是其高温、低湿和强光共同引起的。峨眉含笑幼树叶叶绿素荧光 F_v/F_m 与其光照呈不显著负相关, 而与气温和大气相对湿度则分别呈极显著负相关和极显著正相关, 说明本试验区夏季的高温和低湿是峨眉含笑幼树 PS II 反应中心光能转化过程受到严重胁迫的根本原因, 这可能与峨眉含笑自然分布区的环境有关。阔瓣含笑幼树叶叶绿素荧光 F_v/F_m 与其夏季的光照呈不显著负相关, 而与气温和大气相对湿度则分别呈显著负相关和显著正相关, 说明阔瓣含笑幼树夏季中午前后所受到的胁迫是其高温和低湿所引起的。

2.2.3 秋季叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气象因子的相关性

在秋季, 深山含笑、金叶含笑和阔瓣含笑幼树叶叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气温、大气相对湿度和光照均呈不显著相关。综合 F_v/F_m 测定值可以推测, 秋季的气温、大气相对湿度对 3 种含笑的光合没有产生胁迫影响。峨眉含笑幼树的叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气温和光照均呈不显著相关, 而与其大气相对湿度呈显著正相关, 由此可以推测, 峨眉含笑幼树在秋季中午前后所受到的胁迫主要是由较低的大气相对湿度引起的。

2.2.4 冬季叶绿素荧光 F_v/F_m 与其气象因子的相关性

表 6 显示, 4 种含笑冬季的叶绿素荧光 F_v/F_m 与其大气相对湿度和光照均呈不显著相关, 而与气温均呈显著正相关。由此可以推测, 4 种含笑在冬季所受到的可逆性胁迫主要是由本试验区低温造成的。

表 6 不同季节 4 个树种叶绿素荧光 F_v/F_m 与 3 个气象因子的相关性

Table 6 The correlation between F_v/F_m of four michelia trees and three meteorological factors

季节 Season	环境因子 Environmental factor	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	金叶含笑 <i>Michelia foveolata</i>	峨眉含笑 <i>Michelia wilsonii</i>	阔瓣含笑 <i>Michelia platypetala</i>
春季 Spring	光照 PAR	0.413 4	0.372 1	0.216 4	0.426 4
	气温 Ta	0.382 1	0.356 4	0.321 2	0.397 6
	大气相对湿度 RH	-0.259 2	0.269 8	0.348 6	-0.265 4
夏季 Summer	光照 PAR	-0.784 3	-0.862 4*	-0.798 1	-0.742 3
	气温 Ta	-0.856 3*	-0.896 3*	-0.972 4**	-0.841 4*
	大气相对湿度 RH	0.872 4*	0.879 4*	0.969 4**	0.879 3*
秋季 Autumn	光照 PAR	0.521 3	-0.431 7	-0.685 0	-0.748 0
	气温 Ta	0.516 4	-0.278 2	-0.697 2	-0.704 9
	大气相对湿度 RH	-0.463 2	0.632 4	0.863 0*	0.764 2
冬季 Winter	光照 PAR	0.505 5	0.444 3	0.622 1	0.694 6
	气温 Ta	0.900 1*	0.892 5*	0.890 9*	0.867 5*
	大气相对湿度 RH	-0.612 3	-0.572 3	-0.655 4	-0.698 5

注: * 表示相关显著, ** 表示相关极显著。Note: * indicates significant correlation, ** indicates extremely significant correlation.

3 小结与讨论

Fv/Fm 反映 PS II 反应中心内禀光能转化效率, 其参数值的大小和变化特征往往用于判断和推测植物对环境因子的抗性, 也有人用来作为植物耐热、耐低温、耐盐、耐强光、耐干旱、抗污染等方面的重要指标^[5,10,12,20, 22]。

4 种含笑幼树叶叶绿素荧光参数 Fv/Fm 在春季的日变化小, 均稳定在 0.8 以上, 说明 4 种含笑幼树叶 PS II 反应中心内禀光能转化效率在春季没有受到胁迫影响。

深山含笑和阔瓣含笑叶片 PS II 反应中心内禀光能转化效率在夏季中午前后所受到的可逆性胁迫是由其高温和低湿引起的, 而金叶含笑叶片受到的可逆性胁迫是由中午前后高温低湿和强光联合造成的。峨眉含笑叶片在夏季全天所受到的不可逆性胁迫是由试验区的高温 and 大气相对低湿造成的, 由此可见, 本试验区可能不是峨眉含笑的适宜培育区。

试验区秋季的 3 种气象因子对深山含笑、金叶含笑和阔瓣含笑叶片 PS II 反应中心内禀光能转化效率没有产生胁迫影响, 而 14:00 前后的低湿对峨眉含笑叶片 PS II 反应中心内禀光能转化效率则产生了可逆性胁迫。

冬季早晚低温对 4 种含笑幼树叶 PS II 反应中心内禀光能转化效率只产生了可逆性的胁迫影响。

从总体看, 本试验区不同季节的环境条件对深山含笑、金叶含笑和阔瓣含笑幼树叶的光合过程没有产生严重胁迫, 因此, 可以作为 3 种含笑的培育区。从夏季 Fv/Fm 的日变化及其与 3 个重要气象因子相关分析推测, 夏季的高温 and 大气低湿 (相对于峨眉含笑) 限制了峨眉含笑在本试验区的培育发展, 这也可能是峨眉含笑幼树在本试验区生长不良的重要原因 (表 1), 而本试验区冬季的低温并没有对峨眉含笑产生严重的胁迫影响。

本研究以条件一致的立地上培育生长的 4 种含笑为研究对象, 以不同季节重要气象因子变化为研究背景, 测定了 Fv/Fm 季节性的日变化及其与 3 个重要气象因子的相关性, 推测出了上述相关结论。但是, 限于试验林的现实情况, 本研究的对象是幼树, 对于 4 种含笑的成年大树在本试验区的表现还需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 李晓征, 彭峰, 徐迎春, 等. 不同遮荫下多脉青冈和金叶含笑幼苗叶片的气体交换日变化[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 380-384.
- [2] 郝日明, 李晓征, 毛志滨, 等. 醉香含笑和金叶含笑幼苗期的动态生命表[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(2): 40-43.
- [3] 向成华, 朱秀志, 张华, 等. 濒危植物峨眉含笑的遗传多样性研究[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 66-69.
- [4] 田如男, 薛建辉, 李晓储, 等. 深山含笑和乐昌含笑的抗寒性测定[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(6): 55-57.
- [5] 刘兴剑, 刘小巍, 孙起梦. 阔瓣含笑种内类型划分及苗期试验[J]. 江苏林业科技, 2005, 32(4): 15-17.
- [6] 陈贻竹, 刘鸿先, 黄林可, 等. 不同角度水稻剑叶的叶绿素荧光 Fv/Fm 测定[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(2): 114-116.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 陈辰, 刘桂华, 赵海燕, 等. 华东楠叶绿素的荧光特性[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(10): 50-53.
- [10] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [11] Yu F Y, Robert D G. Variable chlorophyll fluorescence in response to water plus heat stress treatments in three coniferous tree seedling[J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15: 24-28.
- [12] Yang C W, Peng C L, Duan J. Responses of chlorophyll fluorescence and carotenoids biosynthesis to high light stress in rice seedling leaves at different leaf position[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(11): 1303-1308.
- [13] 张建国, 李吉跃, 沈国舫. 树木耐旱特性及其机理研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 45-76.
- [14] Yang D L, Jing R L, Chang X P, et al. Quantitative trait loci mapping for chlorophyll fluorescence and associated traits in wheat (*Triticum aestivum*) [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2007, 49(5): 646-654.
- [15] 徐德聪, 吕芳德, 栗彬, 等. 不同品种美国山核桃叶绿素荧光特性的比较[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 671-676.
- [16] 柯裕州, 周金星, 卢楠, 等. 盐胁迫对桑树幼苗光合生理及叶绿素荧光特性的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(2): 200-206.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 冯强, 胡鹏, 李娜. 典型城区与郊区环境大叶黄杨气体交换及叶绿素荧光特性比较[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3477-3484.
- [20] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2226-2233.
- [21] 刘芳, 张小青, 吴三林, 等. 峨眉含笑精油对冬枣保鲜的研究[J]. 长春师范学院学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 65-69.
- [22] 马树华, 王庆成, 李亚藏. 汽车尾气对四种北方阔叶树叶叶绿素荧光特性的影响[J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 15-20.