

泉州湾河口湿地几种植物叶绿素荧光特性

刘荣成¹, 吴沿友^{1,2}, 付为国¹, 梁 铮¹, 王纪章¹, 李萍萍¹

(1 现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室/江苏省重点实验室, 江苏大学农业工程研究院, 江苏镇江 212013; 2 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 桐花树 (*Aegiceras comiculatum*)、秋茄 (*Kandelia candel*) 和白骨壤 (*Avicennia marina*) 是泉州湾河口湿地的优势植物。对该湿地不同区域 (上游、中游和下游) 的优势植物在不同时间的叶绿素荧光特性进行了研究。桐花树初始荧光值在中午最大 (0.187), 表明中午受到环境的胁迫大。上午, 下游的桐花树的叶绿素初始荧光值为 0.129 显著地小于下午的 (0.173); 下游的秋茄的为 0.142 也显著小于下午的 (0.171); 而上午时下游的桐花树和秋茄的原初光能转化效率分别为 0.795 和 0.799 显著大于各自的下午的, 表明下游植物在上午受环境胁迫小于下午。叶绿素荧光光响应曲线的结果表明, 上午的桐花树的光合潜能和捕光效能低于下午, 下游的桐花树在上午有着最高的光合潜能和捕光效能; 成熟的秋茄在下午有着最高的光合潜能和捕光效能, 上游的 5 年生秋茄在上午光合潜能和捕光效能最低。成熟的桐花树、秋茄和白骨壤具有较好的适应性。

关键词: 桐花树; 秋茄; 白骨壤; 叶绿素荧光

中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-389X(2009)04-0374-06

Chlorophyll fluorescence characteristics of several plant species in Quanzhou Bay estuarine wetland

LIU Rongcheng, WU Yanyou², FU Weiguoh, LIANG Zheng, WANG Jizhang, LI Pingping

(1 Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology Ministry of Education & Jiangsu Province Institute of Agricultural Engineering Jiangsu University Zhenjiang Jiangsu 212013 China; 2 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences Guiyang Guizhou 550002 China)

Abstract: *Aegiceras comiculatum*, *Kandelia candel* and *Avicennia marina* are the dominant plant species of Quanzhou Bay estuarine wetland. The characteristics of chlorophyll fluorescence of plants in the wetland from different locations (upstream, midstream and downstream) at different times was studied. Initial fluorescence in *Aegiceras comiculatum* (0.187) was the greatest at noon, which suggested that *Aegiceras comiculatum* undergo large environment stress at this time. At downstream, the chlorophyll initial fluorescence of *Aegiceras comiculatum* in the morning (0.129) was significantly less than that in the afternoon (0.173), and that of *K. candel* in the morning (0.142) was also significantly less than that in the afternoon (0.171). The maximum quantum yield of *Aegiceras comiculatum* and *K. candel* 0.795 and 0.799 respectively was significantly higher than that of each plant species in the afternoon. It suggested that the environmental stress on the plants in the morning was less than that in the afternoon at downstream. The curves of chlorophyll fluorescence in response to photosynthetically active radiation showed that the photosynthetic potential and the capture light energy efficiency of the *Aegiceras comiculatum* in the morning were lower than those in the afternoon. At downstream, the photosynthetic potential and the capture light energy efficiency of *Aegiceras comiculatum* in the morning was the highest. Mature *K. candel* in the afternoon was provided with the highest the photosynthetic potential and the capture light energy efficiency. The photosynthetic potential and the capture light energy efficiency of the 5-year-old *K. candel* in the morning was the least at upstream. Mature *Aegiceras comiculatum*, *K. candel* and *Avicennia marina* were provided with good adaptability.

Key words: *Aegiceras comiculatum*; *Kandelia candel*; *Avicennia marina*; chlorophyll fluorescence

光合作用是植物受环境胁迫影响最显著的生理过程之一, 在环境胁迫下, 植物光合作用降低的主要原因与叶绿体的功能障碍有关^[1-2]。叶绿素荧光动力学技术是探测和分析植物光合生理与逆境胁迫关系的理想探针^[3-4]。

收稿日期: 2009-07-10 修回日期: 2009-09-20

基金项目: 福建省社会发展重点基金资助项目 (2007Y0040); 泉州市重大专项基金资助项目 (2008ZD2-4)。

作者简介: 刘荣成 (1960-), 男, 福建泉州人, 经济师, 博士研究生, 从事湿地生态修复和湿地管理。通讯作者吴沿友 (1966-), 男, 安徽贵池人, 研究员, 从事湿地生态研究。E-mail: yanyouwu@ujf.edu.cn

泉州湾河口湿地已列为中国重要湿地名录,曾大面积分布红树林,由于历年围垦和养殖业的发展,红树林遭受严重破坏,仅洛阳江北岸保留一片约有 21.2 km^2 的红树林。2002 年批准成立省级红树林自然保护区,面积 876.9 km^2 。惠安县从保护泉州湾河口湿地的红树林资源出发,大规模用植物进行了生态修复,面积达 286.7 km^2 ^[5-6]。目前,该湿地人工桐花树和秋茄生长良好。为了研究泉州湾河口湿地植物的生态适应性,通过比较植物的荧光特性的差异,了解不同的地点、不同的时间植物受环境胁迫的程度以及植物的光合潜能和捕光效能的差异,为阐明泉州湾河口湿地植物的适应性提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验在福建省惠安县洛阳江河口湿地(北纬 $24^{\circ}47'37''$ — $25^{\circ}01'30''$,东经 $118^{\circ}37'45''$ — $118^{\circ}42'44''$)进行。该湿地位于惠安县西南部,是典型的浅水型河口半封闭港湾,水区受潮汐变化明显,总面积 876.9 km^2 ,其中滩涂面积 568.5 km^2 ,水域面积 308.4 km^2 。年平均气温 19.2°C ,1 月份平均气温 12.1°C ,4 月份平均气温 20.4°C ,7 月份平均气温 27.1°C ,11 月份平均气温 19.3°C ,极端最低气温 2.1°C ,极端最高气温 37°C ,全年几乎无霜,年平均降水量 1120 mm ,主要集中在 5—6 月份,年平均蒸发量约 2000 mm ,土壤盐度为 3.5% — 28.9% 。该湿地的优势植物为桐花树(*Aegiceras comiculatum*)、秋茄(*Kandelia candel*)和白骨壤(*Avicennia marina*)。其中桐花树和秋茄在本试验中分 2 类:5 年生和成熟的,前者指栽种的桐花树和秋茄已有 5 年,而后者则有上百年历史;在下游区有杂草种互花米草(*Spartina alterniflora*)。白骨壤则只有成熟的。

1.2 试验测定

用德国 Heinz Walz GmbH 公司生产的便携式的 MAG-ING-PAM 调制式荧光仪,在 2008 年 8 月 2 日分别对上、中、下游的桐花树、秋茄和白骨壤的当年生的、健康的、完全展开叶的叶绿素荧光参数进行现场测定,测定原初光能转化效率(F_v/F_m)、最大荧光产量(F_m)以及初始荧光(F_0)等荧光参数和光响应曲线,测定时间为 9:00、12:00 以及 15:00。测定前先将叶片套黑袋暗适应 20 min。

1.3 数据处理与分析

每种植物获取 20 组数据,所得数据在 Excel 中进行初步整理,然后利用 SPSS 统计软件、SigmaPlot 统计作图软件进行统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 桐花树叶叶绿素荧光

叶绿素荧光参数反映了植株体内光系统的活力。其中, F_v/F_m 、 F_m 以及 F_0 是研究植物胁迫的重要参数^[7]。不同时间、不同地点的桐花树的叶绿素荧光参数差异较大(表 1)。从表 1 中可以看出,12:00 无论是中游的还是下游的,也无论是 5 年生的还是成熟的桐花树,它们的 F_0 都显著大于上午的或者下午的。成熟的桐花树中午的 F_v/F_m 、 F_m 是最低的。对于 5 年生下流的桐花树来说,上午的 F_0 显著小于下午的, F_v/F_m 显著大于下午的。对于中游 5 年生的桐花树来说,上午的 F_m 显著大于下午的,而 F_0 和 F_v/F_m 差异不大。对于下游 5 年生的桐花树来说,上午的 F_0 显著小于下午的, F_v/F_m 显著大于下午的。对于成熟的桐花树来说, F_0 和 F_m 在上下午之间没有显著差异,而 F_v/F_m 显著小于下午的,但差异不大。

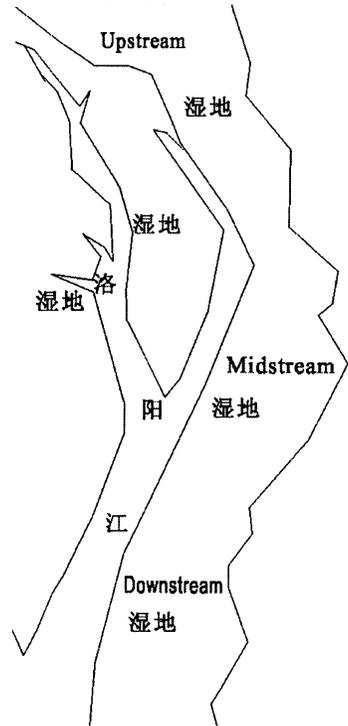


图 1 湿地研究区微地貌图形
Figure 1 Geomorphological map of wetland

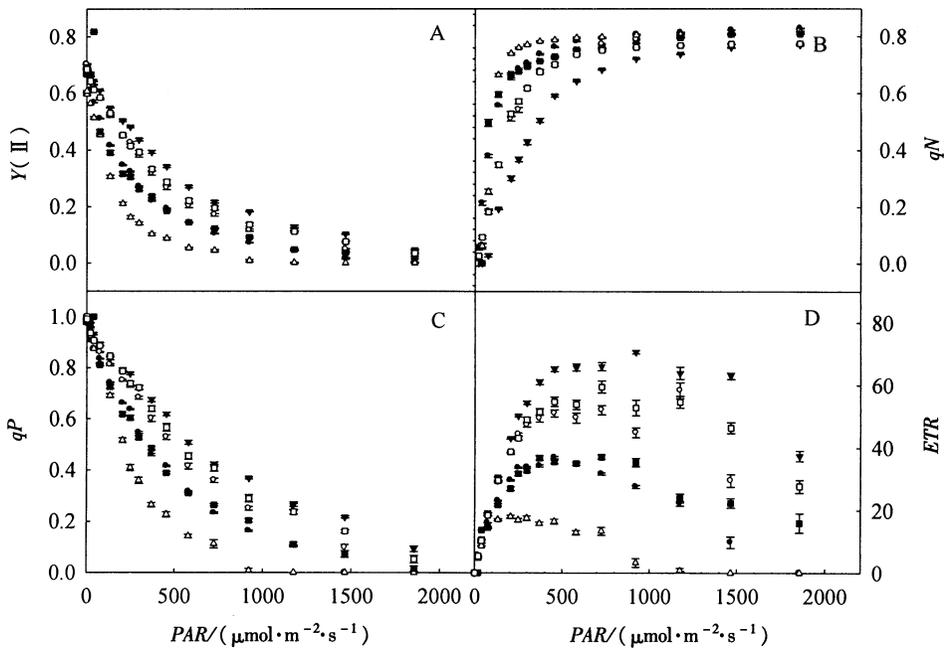
表 1 桐花树的叶绿素荧光参数¹⁾

Table 1 Chlorophyll fluorescence parameters of *Aegiceras comiculatum* at different site and time

时间	地点	类型	Fo	Fm	Fv/Fm
9:00	中游	5年生	0.160 ^c (0.002)	0.720 ^c (0.008)	0.776 ^e (0.001)
12:00	中游	5年生	0.187 ^d (0.003)	0.724 ^c (0.012)	0.741 ^b (0.002)
15:00	中游	5年生	0.148 ^{abc} (0.008)	0.632 ^b (0.034)	0.766 ^d (0.001)
9:00	下游	5年生	0.129 ^a (0.004)	0.627 ^b (0.019)	0.795 ^g (0.001)
12:00	下游	5年生	0.188 ^d (0.006)	0.714 ^c (0.013)	0.737 ^b (0.005)
15:00	下游	5年生	0.173 ^{cd} (0.005)	0.691 ^{bc} (0.021)	0.750 ^c (0.001)
9:00	中游	成熟的	0.148 ^b (0.003)	0.666 ^{bc} (0.015)	0.777 ^e (0.001)
12:00	中游	成熟的	0.178 ^{cd} (0.006)	0.499 ^a (0.019)	0.644 ^a (0.004)
15:00	中游	成熟的	0.138 ^{ab} (0.005)	0.637 ^b (0.019)	0.783 ^f (0.001)

¹⁾各处理的平均值作单因素方差分析以及多重检验, 同行数据后附不同字母者表示差异达到 0.05 显著水平。

通过测定叶绿素荧光光响应曲线可以比较植物的光合潜能和捕光效能。图 2 表示的桐花树叶片 PSII 实际光合效率 [Y(II)], 光化学淬灭系数 (qP)、非光化学淬灭系数 (qN) 和表观电子传递速率 (ETR) 对光的响应。从图 2 中可以看出, 在较高光强的情况下 (204—1 175 μmol m⁻² s⁻¹, 下同), 下游的 5 年生桐花树, 上午的 Y(II)、qP 和 ETR 值最低, qN 值最高; 而下午却出现相反的情况。成熟的桐花树和中游的桐花树的表现相似; 在较高光强的情况下, 上午的 Y(II)、qP 和 ETR 值小于下午, 而 qN 值上午大于下午。



● 5年生, 中游, 9:00; ○ 5年生, 中游, 15:00; △ 5年生, 下游, 9:00; □ 5年生, 下游, 15:00; ■ 成熟的, 中游, 9:00; □ 成熟的, 中游, 15:00.

图 2 桐花树叶片 PSII 实际光合效率 [Y(II)] (A)、光化学淬灭系数 (qP) (B)、非光化学淬灭系数 (qN) (C) 和表观电子传递速率 (ETR) (D) 的光响应

Figure 2 Photochemical efficiency of PSII [Y(II)] (A), non-photochemical quenching qP (B), and photochemical quenching qN (C), and relative electron transport rate ETR (D) in response to PAR in the leaves of *Aegiceras comiculatum* at different site and time

2.2 秋茄叶绿素荧光

不同时间、不同地点的秋茄的叶绿素荧光参数差异也较大(表 2)。从表 2 中可以看出, 5 年生的上游秋茄在上午时的 F_0 最大, F_v/F_m 最小, 但是 F_m 却最大。5 年生的下游秋茄在上午时的 F_0 最小, F_v/F_m 最大。对于成熟的秋茄来说, F_0 、 F_m 和 F_v/F_m 值, 在上下午之间没有显著差异。

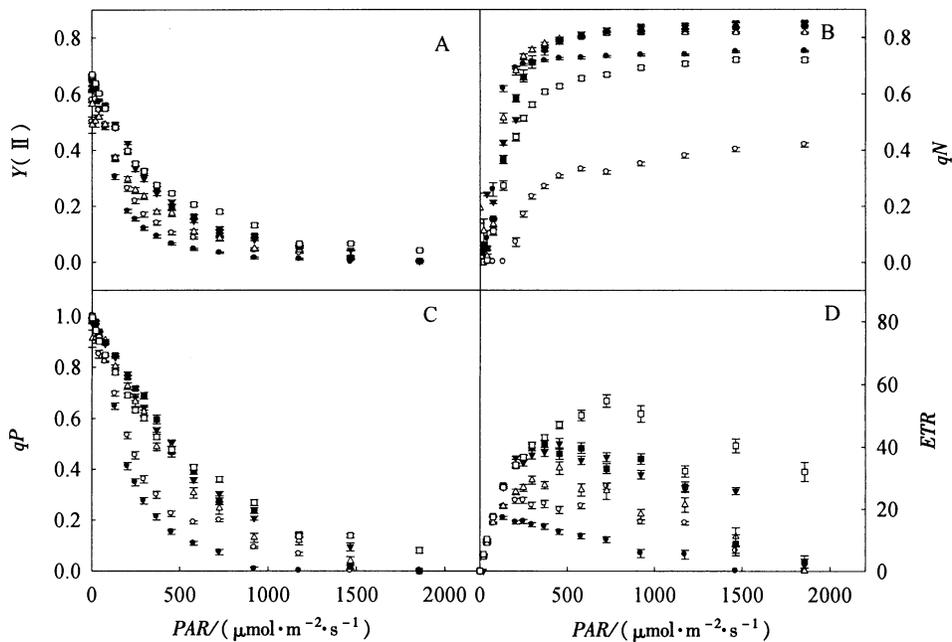
表 2 秋茄的叶绿素荧光参数¹⁾

Table 2 Chlorophyll fluorescence parameters of *K. candell* at different site and time

时间	地点	类型	F_0	F_m	F_v/F_m
9:00	上游	5 年生	0.200 d (0.002)	0.793 b (0.008)	0.748 a (0.002)
15:00	上游	5 年生	0.168 bc (0.004)	0.722 a (0.014)	0.767 b (0.002)
9:00	下游	5 年生	0.142 a (0.004)	0.709 a (0.017)	0.799 c (0.002)
15:00	下游	5 年生	0.171 c (0.003)	0.688 a (0.008)	0.752 a (0.003)
9:00	上游	成熟的	0.160 b (0.004)	0.706 a (0.017)	0.774 b (0.002)
15:00	上游	成熟的	0.162 b (0.002)	0.712 a (0.010)	0.772 b (0.002)

¹⁾各处理的平均值作单因素方差分析以及多重检验, 同行数据后不同字母表示差异达到 0.05 显著水平。

图 3 表示的秋茄叶片 $Y(II)$ 、 qP 、 qN 和 ETR 对光的响应。从图 3 中可以看出, 在较高光强的情况下 ($204-1175 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 下同), 上游的 5 年生秋茄, 上午的 $Y(II)$ 、 qP 和 ETR 值最低, 下午的 qN 值最低。在较高光强的情况下, 成熟的秋茄下午的 $Y(II)$ 、 qP 和 ETR 总体上大于其他类型、地点和时间的秋茄这些指标。上午的成熟的秋茄的 $Y(II)$ 和 ETR 值与下游的秋茄在上午时这些指标值相似。对于下午的 5 年生秋茄来说, 在较高光强的情况下, $Y(II)$ 和 ETR 值在上、下游之间无显著差异。



● 5 年生, 中游, 9:00 ○ 5 年生, 中游, 15:00 △ 5 年生, 下游, 9:00 ▽ 5 年生, 下游, 15:00 ■ 成熟的, 中游, 9:00 □ 成熟的, 中游, 15:00

图 3 秋茄叶片 PSII 实际光合效率 ($Y(II)$) (A)、光化学淬灭系数 (qP) (B)、非光化学淬灭系数 (qN) (C) 和表观电子传递速率 (ETR) (D) 的光响应

Figure 3 Photochemical efficiency of PSII ($Y(II)$) (A), non-photochemical quenching (qP) (C), and relative electron transport rate (ETR) (D) in response to PAR in the leaves of *K. candell* at different site and time

2.3 白骨壤叶绿素荧光

由于白骨壤仅分布在中游,并且全是成熟的,所以,它们的叶绿素荧光参数的比较相对简单(表 3)。从表 3中可以看出,上午的 F_o 和 F_m 都显著小于下午,而 F_v/F_m 值,在上下午之间没有显著差异。

表 3 白骨壤的叶绿素荧光参数¹⁾
Table 3 Chlorophyll fluorescence parameters of *Avicennia marina*

时间	地点	类型	F_o	F_m	F_v/F_m
9:00	中游	成熟的	0.129 ^a (0.006)	0.439 ^a (0.018)	0.707 ^a (0.003)
15:00	中游	成熟的	0.152 ^b (0.005)	0.604 ^b (0.029)	0.736 ^a (0.029)

¹⁾各处理的平均值作单因素方差分析以及多重检验,同行数据后附不同字母者表示差异达到 0.05 显著水平。

图 4表示的白骨壤叶片 $Y(II)$ 、 qP 、 qN 和 EIR 对光的响应。从图 4中可以看出,在较低光强的情况下(75—297 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),上午的白骨壤 $Y(II)$ 、 qP 和 EIR 值高于下午的, qN 值反之。而在较高光强的情况下,白骨壤的 $Y(II)$ 、 qN 、 qP 和 EIR 值上下午之间无显著差异。

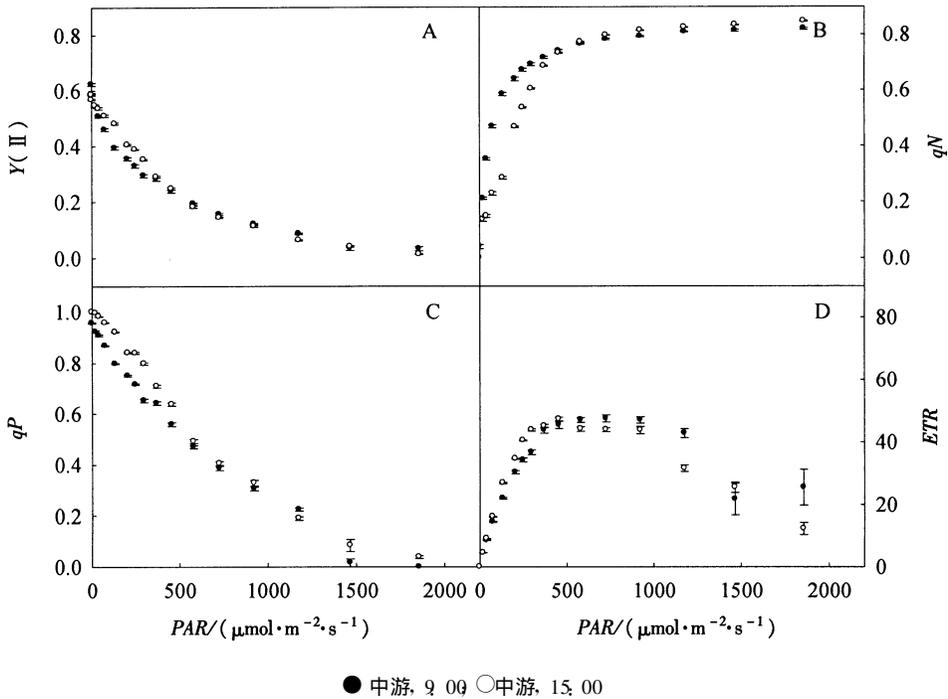


图 4 白骨壤叶片 PSII实际光合效率 ($Y(II)$) (A)、光化学淬灭系数 (qP) (B)、非光化学淬灭系数 (qN) (C)和表观电子传递速率 (EIR) (D)的光响应

Figure 4 Photochemical efficiency of PSII $Y(II)$ (A), non-photochemical qN (B) and photochemical quenching qP (C), and relative electron transport rate EIR (D) in response to PAR in the leaves of *Avicennia marina*

3 讨论

通过对泉州湾湿地优势植物的叶绿素荧光参数的分析,可以发现不同的地点、不同的时间植物受环境胁迫是不同的。从桐花树的叶绿素荧光参数的分析中可以看出,下游 5 年生的桐花树在下午受到的环境胁迫最小,中午的桐花树受到的环境胁迫最大。无论是上午还是下午成熟的桐花树受到的环境胁迫都小,仅次于下午的下游 5 年生的桐花树。中游的 5 年生的桐花树上午受环境胁迫小于下午。从秋茄的叶绿素荧光参数的分析中可以看出,上游 5 年生的秋茄在上午受到的环境胁迫最大,下游的 5 年生的秋茄在上午受到的环境胁迫最小。成熟的秋茄受到的环境胁迫在上下午之间,没有差异。从白骨壤的叶绿素荧光参数的结果很难判断上下午其受环境胁迫的差异。

荧光猝灭是植物体内光合量子效率调节的一个重要方面,它分为光化学猝灭和非光化学猝灭两类。光化学猝灭系数 (qP)反映了 PSII天线色素吸收的光能用于光化学传递的份额^[8],非光化学猝灭系数

(Q_N)反映了 PSI天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分^[9]。通过比较泉州湾湿地优势植物叶绿素荧光光响应曲线,可以发现植物在不同地点和不同时间的光合潜能和捕光效能是不同的。从桐花树的叶绿素荧光光响应曲线中可以看出,下游的 5 年生桐花树在下午具有最低的光合潜能和捕光效能;而上午光合潜能和捕光效能最高。成熟的桐花树和中游的 5 年生桐花树的光合潜能和捕光效能无显著差异,且上午小于下午。从秋茄的叶绿素荧光光响应曲线中可以看出,上游的 5 年生秋茄在上午的光合潜能和捕光效能最低,成熟的秋茄在下午具有最高的光合潜能和捕光效能。5 年生秋茄在下午的光合潜能和捕光效能在上、下游之间并没表现出差异。上午的成熟的秋茄与下游的秋茄在上午的光合潜能和捕光效能也表现出较小的差异。从白骨壤的叶绿素荧光光响应曲线中,我们看不出光合潜能和捕光效能在上下午之间的差异。

植物的环境适应性是植物对环境胁迫的耐受性以及光合潜能和捕光效能的综合体现^[10-11]。综合植物的受胁迫的情况和光合潜能和捕光效能的表现可以看出,下游的 5 年生桐花树在上午具有最强的适应性,而下午的适应性最差;成熟的桐花树和中游的 5 年生桐花树的适应性相似,介于下游 5 年生桐花树的上下午之间。成熟的秋茄具有最强的适应性,这与 Kao et al^[12]的结论相似。而上游的 5 年生的秋茄在上午的适应性极差;下游的 5 年生的秋茄的适应性介于成熟的秋茄与上游的上午的 5 年生的秋茄之间,白骨壤在中游具有一定的适应性。

植物受胁迫的程度在不同地点和上下午之间的差异与潮水的涨落有关^[3]。本研究所测定的叶绿素荧光指标在 2008 年 8 月 2 日进行的,该日的高潮期分别在凌晨 00:21 和正午 12:18。上午 9:00 的潮水已落 4—5 h 由于上游基底较高,这使得土壤水分减少得不适应根系欠发达的 5 年生的秋茄的生长,因而,在此处生长的秋茄上午的适应性差;而对于处在上游的成熟的秋茄来说,由于具有深根系,水分代谢不受影响,因而成熟的秋茄在上午具有较强的适应性。下游由于基底较低,在上午 9:00 时,土壤仍具有较多的水分,适应桐花树的生长。下午 15:00 潮水刚落 1 h 左右,对于上游来说,土壤水分较合适,因而,生长在此处的 5 年生桐花树和 5 年生秋茄下午的适应性较强;而对于下游来说,土壤水分过多,根系完全被水淹没,植物的光合作用被抑制,因而,生长在此处的 5 年生桐花树下午的适应性最差。

参考文献

- [1] Reynolds M P, Singh R P, Brahm A, et al. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments [J]. *Euphytica*, 1998, 100: 85—94.
- [2] Kishitani S, Tsunoda S. Leaf thickness and response of leaf photosynthesis to water stress in soybean varieties [J]. *Euphytica*, 1982, 31: 657—664.
- [3] 林世青, 许春辉, 张其德, 等. 叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的作用 [J]. *植物学通报*, 1992, 9(1): 1—16.
- [4] 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.
- [5] 叶功富, 范少辉, 刘荣成, 等. 泉州湾红树林湿地人工生态恢复的研究 [J]. *湿地科学*, 2005, 3(1): 8—13.
- [6] 刘荣成. 红树林造林树种的选择——以洛阳江湿地为例 [J]. *福建林业科技*, 2008, 35(1): 232—234.
- [7] Rohde K, Barthel M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: Basic concepts, useful parameters and some applications [J]. *Photosynthetica*, 1999, 37: 339—363.
- [8] Van Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology [J]. *Photosynthesis Res*, 1990, 25: 147—150.
- [9] 张雷明, 上官周平, 毛明策, 等. 长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 695—698.
- [10] Koehn A C, Roberts J H, Doudrick R L. Variation among slash pine families in chlorophyll fluorescence traits [J]. *Can J For Res*, 2003, 33(6): 1102—1109.
- [11] Planchon C, Sarafi A, Ecochard R. Chlorophyll fluorescence transient as a genetic marker of productivity in barley [J]. *Euphytica*, 1989, 42: 269—273.
- [12] Kao W Y, Tsai H C. The photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in seedlings of *Kandelia candel(L.) Druce* grown under different nitrogen and NaCl control [J]. *Photosynthetica*, 1999, 37: 405—412.
- [13] Chen L, Wang W, Lin P. Photosynthetic and physiological responses of *Kandelia candel(L.) Druce* seedlings to duration of tidal immersion in artificial seawater [J]. *Environ Exp Bot*, 2005, 54(3): 256—266.

(责任编辑: 卢凤美)