

韦金河, 闻 婧, 张 俊, 等. 夏季遮光对 3 种槭树 PS II 叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 172-179.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.01.027

夏季遮光对 3 种槭树 PS II 叶绿素荧光参数的影响

韦金河, 闻 婧, 张 俊, 孟力力, 陈 柳, 施宇恬

(江苏省农业科学院观光农业研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 以鸡爪槭(*Acer palmatum* Thunb.)、青榨槭(*A. davidii* Franch.)和糖槭(*A. saccharum* Marsh.)为材料, 研究透光率分别为 100%、50%、30% 和 10% 4 种条件下, 3 种槭树光合特性、叶绿素含量和叶绿素荧光参数的变化。结果表明: 遮光可以显著提高 3 种槭树叶片的 F_v/F_m 、 PI_{ABS} 、 RC/CS 、 ET_0/TR_0 、 ET_0/ABS 以及叶绿素相对含量, 降低 ABS/RC 、 DI_0/RC 、 V_j 和 W_k ; 在透光率为 50% 时, 青榨槭和糖槭的最大净光合速率和光饱和点最优。遮光有利于提高 3 种槭树叶片 PS II 反应中心对能量的转化和利用, 但深度遮光难以满足槭树对光能的吸收, 在透光率为 50% 时, 3 种槭树对能量的吸收和利用达到较好的平衡, 是适合 3 种槭树生长的光照条件。

关键词: 槭树; 叶绿素荧光; 遮光

中图分类号: S687

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2015)01-0172-08

Effects of summer shading on PS II chlorophyll fluorescence parameters in three maple trees

WEI Jin-he, WEN Jing, ZHANG Jun, MENG Li-li, CHEN-Liu, SHI Yu-tian

(Research Center of Sightseeing Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: *Acer palmatum* Thunb., *A. davidii* Franch and *A. saccharum* Marsh were grown with four shading treatments (0% shading, 50% shading, 70% shading and 90% shading) to study the photosynthetic characteristics, the changes of chlorophyll content and PS II chlorophyll fluorescence parameters. The results revealed that F_v/F_m , PI_{ABS} , RC/CS , ET_0/TR_0 , ET_0/ABS and chlorophyll content of three kinds of maple leaves were enhanced significantly, however, ABS/RC , DI_0/RC , V_j and W_k were decreased under shading condition. *A. davidii* Franch. and *A. saccharum* March. exhibited the highest maximum net photosynthetic rate and light saturation point under 50% shading condition. Shading is favorable for the energy conversion and utilization of PS II reaction center were improved by shading in three maple leaves, but large area shading would hinder the absorption of light energy. Fifty percent shading achieved the balance between absorption and utilization of energy, therefore is suitable for the growth of three kinds of maple plants.

Key words: *Aceraceae*; chlorophyll fluorescence; shading

随着城市化进程的加快, 建筑物和各种设施数量不断增加, 园林绿化植物层次搭配逐渐丰富, 使得很多园林植物生长在荫蔽环境下, 对植物的光合作

用等生理过程造成影响, 因此, 遮阳已经成为城市中植物生长所面临的重要问题之一^[1-3]。槭树科植物作为一种重要的彩色观赏植物, 全世界约有 200 种以上, 其枝条横展, 树姿优美, 在世界各地的园林绿化中占有十分重要的地位, 也是中国城市园林和风景区极具开发前景的观赏树种^[4-5], 但大部分槭树品种生长速度中等偏慢^[6], 如果能通过合理种植, 最大化的发挥生长潜能, 其在园林绿化中将发挥更大

收稿日期: 2014-07-30

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金[CX(13)3020]

作者简介: 韦金河(1963-), 男, 江苏高淳人, 副研究员, 从事设施园艺蔬菜特殊栽培研究工作。(Tel) 025-84392077, 13770759377; (E-mail) wjh_2202@sina.com

的作用。目前,研究结果表明适当遮光处理可以促进一些植物的生长发育,但是不同植物对遮光的适应性有所不同,其中50%遮光处理的青榨槭幼苗净光合速率高^[7],20%遮光条件更有利于云南金钱槭幼苗的增粗,并获得最大增长量和光合速率^[8],25%遮光条件更有利于红松幼苗的生长^[9]。但对于不同槭树品种的遮光性的比较研究还鲜有报道,本研究采用人工遮光方法,选择园林绿化中常用的3种槭树树种,对其进行不同程度的遮光处理,测量其光合指标和叶绿素荧光指标,分析探讨不同遮光条件下3种槭树的光合生理特性,为槭树在园林绿化中的应用提供有益的参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料和处理

试验在江苏省农业科学院试验苗圃进行,试验区地处北亚热带季风气候区,夏季平均气温25.6℃,夏季平均降水量145.1 mm。以生长健壮、长势基本一致的2年生鸡爪槭、青榨槭和糖槭实生苗为材料。幼苗均为单干苗,于2013年春季(3月20日)定植在苗圃内,每个处理5株,株间距40 cm×40 cm。试验于2013年夏季(6月5日至9月5日)采用不同规格的黑色遮阳网分别搭建2.5 m高的遮阳棚,对幼苗进行遮光处理,并使用皮尺和游标卡尺分别测量幼苗株高和茎粗,具体遮光情况和幼苗情况见表1。遮光后,使用美国Li-250A光照计,在6月、7月和8月分别测量1个晴天和1个阴天的光合有效辐射的日变化情况,计算不同遮光处理下的透光率。

1.2 测定指标

植株遮光处理3个月后,于9月3日至5日的晴朗上午(9:00~11:30)进行指标测量,每项指标均选取每株从顶端向下2~5节的成熟叶片进行测量,每株测量3片叶子,每个处理测量3株。使用日本SPAD-502叶绿素计测量叶片中部的SPAD值,表示叶绿素相对含量。使用PP SYSTEMS公司的CIRAS-2光合仪测定光响应曲线参数,其中使用LED光源,分别测定10个光合有效辐射梯度1 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的净光合速率

(P_n), CO_2 注入系统设定值为400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (使用 CO_2 钢瓶)。利用修正直角双曲线模型模拟计算最大净光合速率($P_{n_{\max}}$)和光饱和点(LSP),表观量子效率(AQY)为 P_n - PAR 回归直线的初始斜率($PAR \leq 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 低光照条件下去除净光合速率为负值的点后拟合)^[10]。使用Handy PEA连续激发式植物效率分析仪测量叶片叶绿素荧光动力学参数,测量前使用叶夹让叶片暗适应30 min,测量参数包括:初始荧光 F_0 、PS II最大光化学效率 F_v/F_m 、叶片光合性能指标 PI_{ABS} 、单位反应中心吸收的能量 ABS/RC 、单位反应中心用于电子传递的能量 ET_0/RC 、单位反应中心热耗散的能量 DI_0/RC 、单位面积有活性的反应中心的密度 $RC/CS = [TR_0/ABS \cdot (V_j/M_0) \cdot ABS/CS]$ 、J点的可变荧光 V_j 、K点的相对可变荧光 F_k 占 $F_j - F_0$ 振幅的比例 $W_k = (F_k - F_0)/(F_j - F_0)$ 、光合激发能从 Q_A 向 Q_B 以下传递的效率 $ET_0/TR_0 = (1 - V_j)$ 和天线吸收的能量传递到 Q_B 以下的效率 $ET_0/ABS = [1 - (F_0/F_m)] \cdot ET_0/TR_0$ ^[11]。

1.3 数据分析

试验数据使用SPSS软件进行方差分析,LSD多重比较;使用Microsoft Excel做部分数据分析以及作图。

2 结果与分析

2.1 遮光对3种槭树光合特性和叶绿素含量的影响

2.1.1 遮光对3种槭树光响应曲线的影响 由图1可知,3种槭树在不同遮光条件下的光响应曲线各有不同。鸡爪槭受遮光的影响最小,不同遮光处理间的光响应曲线差异不显著(图1A)。青榨槭在光合有效辐射为0~200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,不同遮光处理的光响应曲线基本一致,大于200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后青榨槭透光率为30%的处理(Q_{30})和青榨槭透光率为10%的处理(Q_{10})的光合速率上升幅度明显放缓,显著低于青榨槭透光率为100%的处理(Q_{100})和青榨槭透光率为50%的处理(Q_{50});大于1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后 Q_{100} 的光合速率出现显著下滑,总体而言,光合有效辐射在600~1 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,青榨槭 Q_{50} 和 Q_{100} 的光合速率显著高于 Q_{30} 和 Q_{10} ,其中 Q_{10} 的光合速率最低(图1B)。图1C中,糖槭在光合有效辐射为0~400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,糖槭透光率为50%的处理(T_{50})、糖槭透光率为30%的处理(T_{30})和糖槭透光率为10%的

处理(T_{10})的光响应曲线基本一致,且上升趋势显著快于糖槭透光率为 100% 的处理(T_{100}), T_{100} 的光合速率在光合有效辐射达到 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后开始显著下

降,总体而言, T_{50} 和 T_{30} 光合曲线总体一致,显著高于 T_{10} 和 T_{100} ,其中 T_{100} 最低。

表 1 遮光环境和试验设计

Table 1 Designs of shading treatments

处理	遮阳网规格	遮阳网层数 (层)	透光率 (%)	供试树种	株高 (cm)	茎基直径 (mm)
J_{100}	无	无	100	鸡爪槭	40 ~ 50	3 ~ 5
J_{50}	2 针型	1	50	鸡爪槭	40 ~ 50	3 ~ 5
J_{30}	3 针型	1	30	鸡爪槭	40 ~ 50	3 ~ 5
J_{10}	3 针型	2	10	鸡爪槭	40 ~ 50	3 ~ 5
Q_{100}	无	无	100	青榨槭	50 ~ 60	4 ~ 6
Q_{50}	2 针型	1	50	青榨槭	50 ~ 60	4 ~ 6
Q_{30}	3 针型	1	30	青榨槭	50 ~ 60	4 ~ 6
Q_{10}	3 针型	2	10	青榨槭	50 ~ 60	4 ~ 6
T_{100}	无	无	100	糖槭	55 ~ 65	4 ~ 6
T_{50}	2 针型	1	50	糖槭	55 ~ 65	4 ~ 6
T_{30}	3 针型	1	30	糖槭	55 ~ 65	4 ~ 6
T_{10}	3 针型	2	10	糖槭	55 ~ 65	4 ~ 6

2.1.2 3 种槭树在不同遮光条件下的光响应曲线模拟参数 从表 2 可知,鸡爪槭遮光后,鸡爪槭透光率为 30% 的处理(J_{30})和鸡爪槭透光率为 10% 的处理(J_{10})的最大净光合速率比鸡爪槭透光率为 100% 的处理(J_{100})有显著升高,而鸡爪槭透光率为 50% 的处理(J_{50})、 J_{30} 和 J_{10} 三处理间无显著差异。 J_{30} 和 J_{10} 的光饱和点显著低于 J_{100} 和 J_{50} 。 J_{10} 的表观初始量子效率显著高于 J_{100} 和 J_{50} ,与 J_{30} 无显著差异。青榨槭遮光后最大净光合速率随着遮光程度的增加而下降,其中 Q_{50} 显著高于 Q_{30} 和 Q_{10} ,与 Q_{100} 无显著差异,而各处理光饱和点间均有显著差异,表现为 $Q_{50} > Q_{100} > Q_{30} > Q_{10}$ 。青榨槭遮光后表观初始量子效率有所下降,其中 Q_{50} 和 Q_{30} 显著低于 Q_{100} 。糖槭遮光处理后, T_{50} 的最大净光合速率和光饱和点这两项指标均显著高于其他处理,与青榨槭相似,但糖槭的表观初始量子效率在遮光后有显著升高, T_{50} 、 T_{30} 和 T_{10} 的表观初始量子效率均显著高于 T_{100} 。

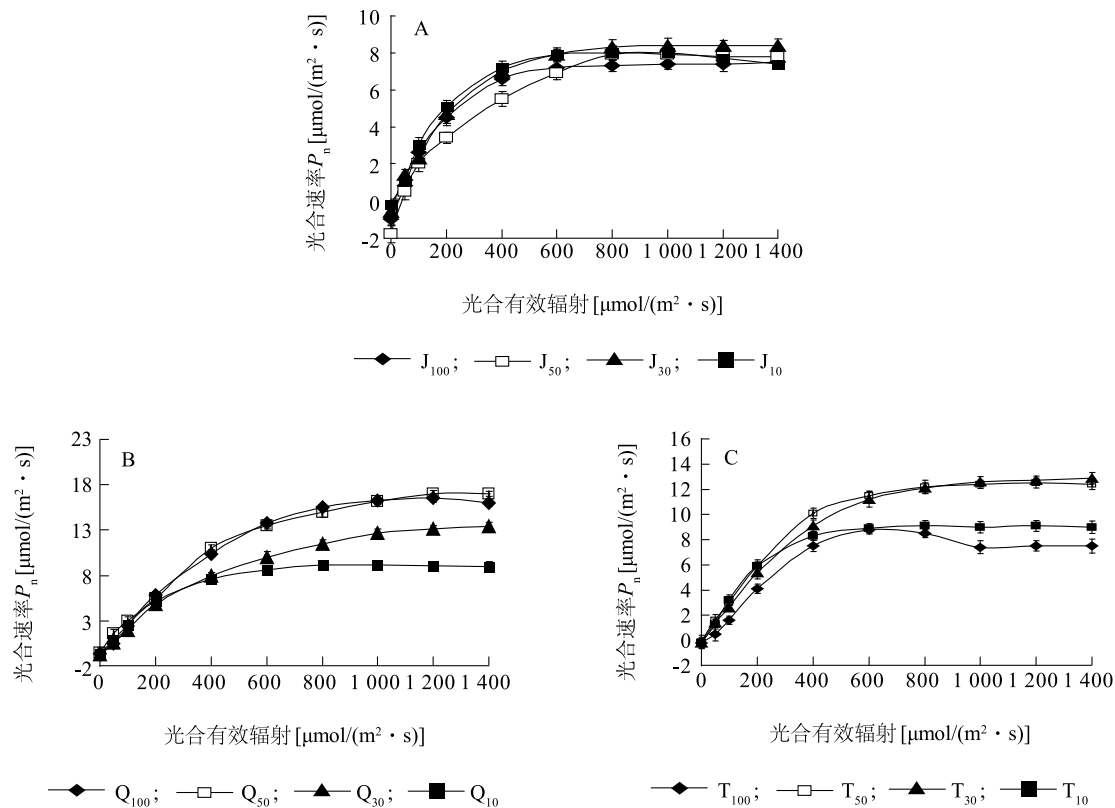
2.1.3 遮光对 3 种槭树叶绿素含量的影响 由图 2 可知,遮光后 3 种槭树叶片的叶绿素相对含量均有显著提高。其中,鸡爪槭 J_{50} 、 J_{30} 和 J_{10} 间无显著差异,并均显著高于 J_{100} 。青榨槭的 Q_{50} 和 Q_{30} 间叶绿素相对含量无显著差异,并显著高于 Q_{10} 和 Q_{100} 。糖槭的叶绿素相对含量的变化与青榨槭相同,即 T_{50} 和

T_{30} 间无显著差异,并显著高于 T_{10} 和 T_{100} 。

2.2 遮光对叶绿素荧光参数的影响

2.2.1 遮光对叶绿素荧光参数 F_0 、 F_v/F_m 和 PI_{ABS} 的影响 光合作用受到伤害的原初部位与 PSII 密切相关, F_0 是判断 PSII 反应中心运转情况的重要指标, F_0 上升表明 PSII 反应中心受到破坏或者失活。 F_v/F_m 作为反映 PSII 反应中心光能转换效率的参数,在发生光抑制时会降低。 PI_{ABS} 是叶绿素荧光参数中对环境变化最为敏感的参数之一,它与叶片光合性能成正比,常被用来说明整个原处光化学反应对环境的响应,能很好的反应胁迫对光合机构的影响^[11]。 F_0 、 F_v/F_m 和 PI_{ABS} 能够从整体上反应出 PSII 反应中心是否处于正常状态以及光合性能是否受到影响。

由图 3A 可知,遮光后 3 种槭树叶片的 F_0 均没有出现显著的上升,且各处理间无显著差异,表明遮光没有对 F_0 造成显著影响,PSII 反应中心没有受到破坏或者失活。从图 3B 可知,随着遮光程度的增加,3 种槭树叶片的 F_v/F_m 均有显著增加,说明遮光可以显著提高 3 种槭树叶片的光能转换效率,而在无遮光条件下生长的 3 种槭树叶片的 F_v/F_m 均偏低,说明全光照条件下 3 种槭树叶片会受到光抑制^[12]。由图 3C 可知,遮光后 3 种槭树叶片的 PI_{ABS} 均有显著升高,说明遮光没有对 3 种槭树的叶片光合性能产生胁迫作用。



J₁₀₀、J₅₀、J₃₀和J₁₀分别表示鸡爪槭透光率为100%、50%、30%和10%的遮光处理;Q₁₀₀、Q₅₀、Q₃₀和Q₁₀分别表示青榨槭透光率为100%、50%、30%和10%的遮光处理;T₁₀₀、T₅₀、T₃₀和T₁₀分别表示糖槭透光率为100%、50%、30%和10%的遮光处理。

图1 鸡爪槭(A)、青榨槭(B)和糖槭(C)在不同遮光条件下的光响应曲线

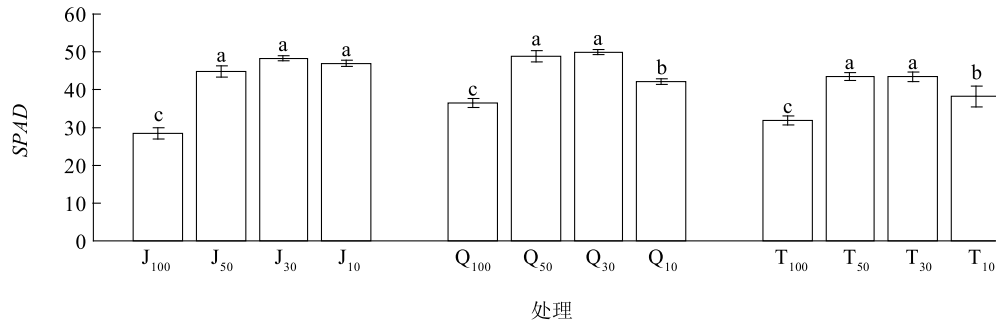
Fig.1 Light response curves of *Acer palmatum* Thunb. (A), *A. davidii* Franch. (B), and *A. saccharum* Marsh. (C) under different shading conditions

表2 3种槭树在不同遮光条件下的光响应曲线模拟参数

Table 2 Simulation parameters of light response curve of three kinds of maple plants under different shading conditions

品种	处理	最大净光合速 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	表观初始量子效率 ($\text{mol}, \text{CO}_2/\text{mol}$)	模型拟合值(R^2)
鸡爪槭	J ₁₀₀	7.8±0.38b	1 000±10.9a	0.018±0.002 4b	0.990
	J ₅₀	8.3±0.42ab	1 000±8.9a	0.020±0.001 5b	0.988
	J ₃₀	8.5±0.36a	945±9.4b	0.025±0.003 0ab	0.958
	J ₁₀	8.9±0.40a	944±11.2b	0.026±0.002 6a	0.956
青榨槭	Q ₁₀₀	19.6±0.41a	1 400±12.1b	0.033±0.001 7a	0.992
	Q ₅₀	20.8±0.59a	1 450±9.8a	0.026±0.002 0b	0.988
	Q ₃₀	13.2±0.41b	1 222±9.6c	0.027±0.003 2b	0.990
	Q ₁₀	8.9±0.38c	950±10.4d	0.029±0.002 9ab	0.991
糖槭	T ₁₀₀	10.8±0.43c	1 050±12.3c	0.022±0.001 9b	0.993
	T ₅₀	17.3±0.45a	1 300±11.9a	0.027±0.002 3a	0.991
	T ₃₀	15.9±0.50b	1 250±11.1b	0.029±0.002 0a	0.991
	T ₁₀	10.0±0.39c	700±10.0d	0.030±0.001 8a	0.989

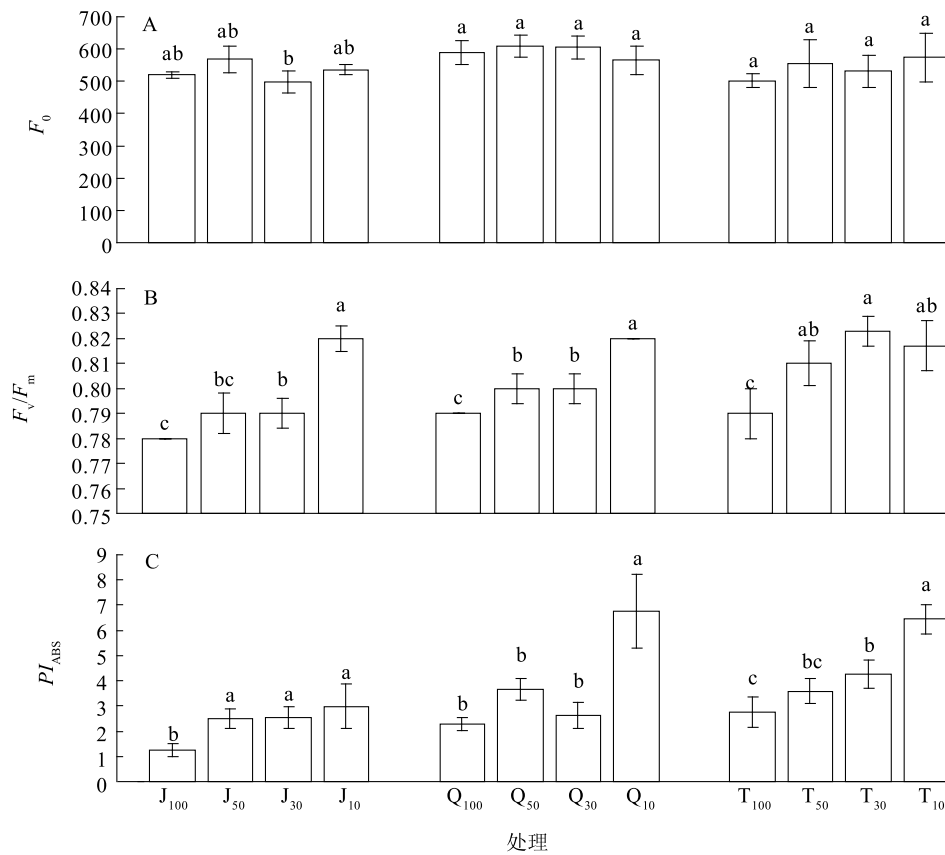
各处理见图1注。



各处理见图 1 注。

图 2 遮光对 3 种槭树叶片叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of shading on chlorophyll contents in three kinds of maple plants



各处理见图 1 注。

图 3 遮光对鸡爪槭(A)、青榨槭(B)和糖槭(C)叶绿素荧光参数 F_0 、 F_v/F_m 和 PI_{ABS} 的影响

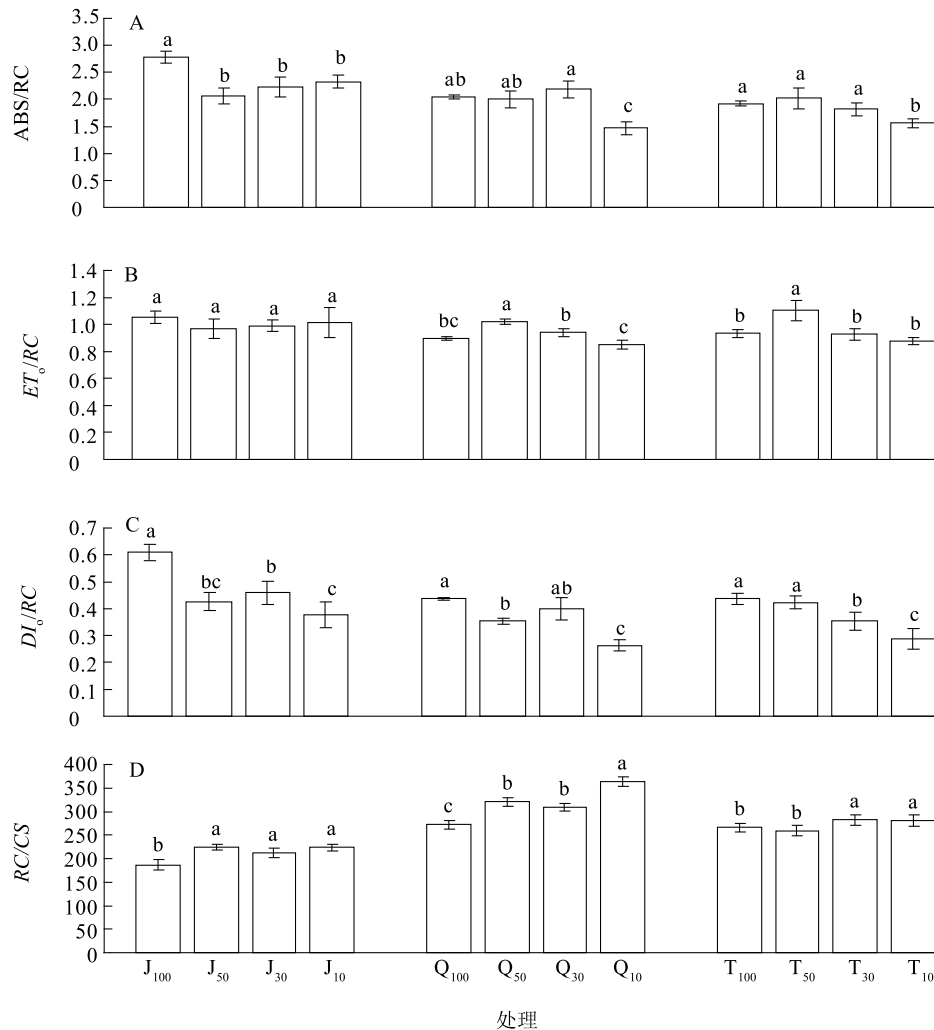
Fig. 3 Effect of shading on F_0 , F_v/F_m and PI_{ABS} on *A. palmatum* Thunb. (A), *A. davidii* Franch. (B), and *A. saccharum* Marsh. (C)

2.2.2 遮光对叶绿素荧光参数 ABS/RC 、 ET_0/RC 、 DI_0/RC 和 RC/CS 的影响 ABS/RC (单位反应中心吸收的能量)、 ET_0/RC (单位反应中心用于电子传递的能量)、 DI_0/RC (单位反应中心热耗散的能量)

和 RC/CS (单位面积有活性的反应中心的密度) 反映了单位反应中心对能量的吸收和分配情况。由图 4A 可知, 鸡爪槭遮光后 ABS/RC 显著下降, 说明遮光显著减少了鸡爪槭叶片单位反应中心对能

量的吸收,而青榨槭和糖槭在遮光 90% 后 ABS/RC 才有显著下降。由图 4B 可知,鸡爪槭的 ET_0/RC 在遮光后无显著差异,青榨槭和糖槭都在遮光 50% 的处理下最高,并显著高于其他处理,说明适度遮光可以促使单位反应中心中更多的能量用于电子传递。由图 4C 可知,3 种槭树的 DI_0/RC 均表

现为无遮光条件下最大,说明遮光可以显著降低叶片单位反应中心能量的耗散。由图 4D 可知,3 种槭树叶片的 RC/CS 随着遮光程度的加深而显著升高,说明遮光可以显著提高叶片单位面积中有活性的反应中心的密度。



各处理见图 1 注。

图 4 遮光对鸡爪槭(A)、青榨槭(B)和糖槭(C)叶绿素荧光参数 ABS/RC 、 ET_0/RC 、 DI_0/RC 和 RC/CS 的影响

Fig. 4 Effect of shading on ABS/RC , ET_0/RC , DI_0/RC and RC/CS on *A. palmatum* Thunb. (A), *A. davidii* Franch. (B), and *A. saccharum* Marsh. (C)

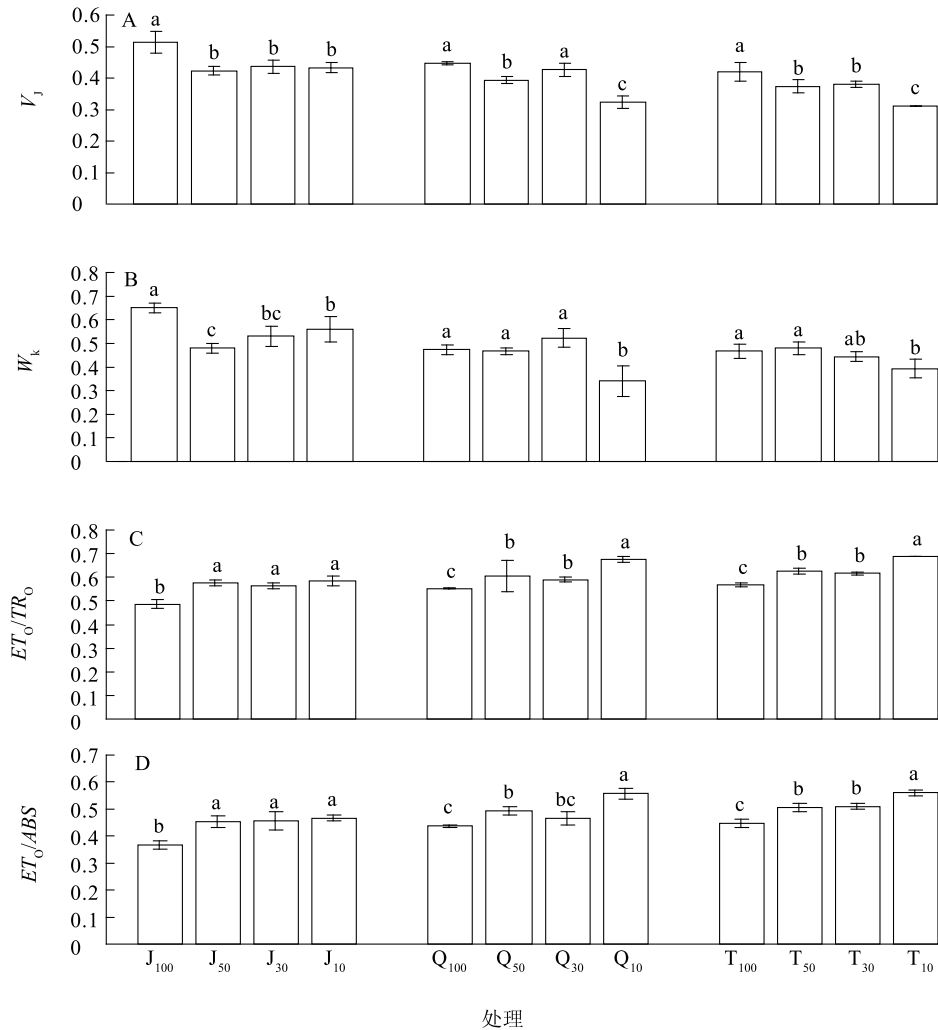
2.2.3 遮光对叶绿素荧光参数 V_j 、 W_k 、 ET_0/TR_0 和 ET_0/ABS 的影响 V_j 为 J 点的可变荧光,其在一定程度上反应了 PSII 反应中心受体侧电子传递能力, V_j 升高表明 PSII 反应中心受体侧遭到破坏。由图 5A 可知,遮光后 3 种槭树的 V_j 均有显著下降,说明遮光后

PSII 反应中心受体侧电子传递正常。 W_k 为 K 点的相对可变荧光 F_k 占 $F_j - F_0$ 振幅的比例, W_k 升高是 PSII 反应中心供体侧放氧复合体受到伤害的标志, W_k 的升高程度代表 PSII 反应中心供体侧被破坏的程度,由图 5B 可知,遮光后 3 种槭树叶片的 W_k 均未显著升高,

说明 PSII 反应中心供体侧电子传递正常^[13]。

ET_0/TR_0 反映了光合激发能从 Q_A 向 Q_B 以下传递的效率, ET_0/ABS 反映了天线吸收的能量传递到 Q_B 以下的效率^[14], ET_0/TR_0 和 ET_0/ABS 越高表示能

量的传递效率越大。从图 5C 和 5D 可知, 遮光可显著提高 3 种槭树的 ET_0/TR_0 和 ET_0/ABS , 说明遮光可以提高光合激发能从 Q_A 向 Q_B 以下传递的效率。



各处理见图 1 注。

图 5 遮光对鸡爪槭 (A)、青榨槭 (B) 和糖槭 (C) 叶绿素荧光参数 V_j 、 W_k 、 ET_0/TR_0 和 ET_0/ABS 的影响

Fig. 5 Effect of shading on V_j , W_k , ET_0/TR_0 and ET_0/ABS on *A. palmatum* Thunb. (A), *A. davidii* Franch. (B), and *A. saccharum* Marsh. (C)

3 讨论

前人在对玉米^[15]、大豆^[16]、马铃薯^[17]和花生^[18]等一些作物的研究表明,随着光照度的减弱,植物净光合速率会下降。本研究的结果表明,3 种槭树遮光后,表现出在适度遮光条件下,最大净光合速率以及光饱和点均显著提高。青榨槭和糖槭均

表现为透光率 50% 时,最大净光合速率和光饱和点最高。鸡爪槭在透光率 50% 时,虽然最大净光合速率不是最高,但是与其他几个处理无显著差异,其光饱和点与无遮光处理相同,并显著高于透光率为 30% 和 10% 的处理。3 种槭树在遮光后光合速率和光饱和点发生的变化与植物叶绿素含量和叶绿素荧光参数的变化有着紧密关系。

叶绿素作为光合色素,在光合作用中具有关键地位。3种槭树遮光后叶绿素相对含量均有显著增加,与前人研究结果相似^[19],其中透光率为50%和30%时,叶绿素含量最高,原因一方面是植株对遮光环境的适应,另一方面是植株自身叶绿素合成潜能的发挥。在透光率为10%时,由于弱光胁迫使叶绿素不能正常合成,造成叶绿素含量下降。在全光照条件下叶绿素会遭到强光破坏,也会导致叶绿素含量有显著下降。

对叶绿素荧光参数变化的分析认为,遮光后,随着透光率的降低,3种槭树叶片的 F_v/F_m 、 PI_{ABS} 、 RC/CS 、 ET_0/TR_0 和 ET_0/ABS 均有所显著提高,而 ABS/RC 、 Dl_0/RC 、 V_j 和 W_k 均有显著降低,说明遮光有利于提高 PSII 反应中心对能量的转化和利用,PSII 反应中心受体侧和供体侧的电子传递都很正常,这与前人对花生^[18]、柑橘^[20]、小叶铺地榕和三裂叶蟛蜞菊^[21] 的研究结果相符,同时降低了单位反应中心对能量的吸收和耗散。但是,3种槭树均没有在 PSII 反应中心对能量的利用率和转化率最高的情况下,表现出最大光合速率和光饱和点,推测在光照不足的情况下,槭树可通过增加对能量的吸收和电子的传递效率,补偿光能的减少,从而适应遮光的条件。

综上所述,遮光处理能显著提高3种槭树 PS II 反应中心对能量的利用率和转化率,但不是每一个遮光处理在光合性能上都表现优异,因此光合潜能的提升,又需要足够的光能来满足,只有两者达到完美的契合,才能使植物发挥出最大的生长潜能。考虑到槭树是常用的园林绿化植物,在设计规划中更应该结合槭树本身的生理特性,合理种植,最大化的体现其绿化和观赏价值。

参考文献:

- [1] 张斌斌,姜卫兵,翁忙玲,等. 遮阴对红叶桃叶片光合生理的影响[J]. 园艺学报,2010,37(8):1287-1294.
- [2] 于盈盈,胡 聃,郭二辉,等. 城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响[J]. 生态学报,2011,31(19):5646-5653.
- [3] 闻 婧,张 俊,孟力力,等. 冬季遮阳对诸葛菜生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):133-134.
- [4] 刘静波,林士杰,张忠辉,等. 槭属植物种植资源研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(25):1-5.
- [5] 李东林,王宝松. 江苏槭属植物资源的分布与应用研究[J]. 江苏林业科技,2004,31(2):6-9.
- [6] 刘 毓. 国外优良彩叶槭资源引种及适应性研究[D]. 济南: 山东师范大学,2010.
- [7] 缴丽莉,路丙社,周如久,等. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报,2007,34(1):173-178.
- [8] 张光飞,欧阳志勤,苏文华. 生境光强对云南金钱槭幼苗生长及光合速率的影响[J]. 湖北农业科学,2009,48(11):2780-2782.
- [9] 金 鑫,胡万良,丁 磊,等. 遮荫对红松幼苗生长及光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报,2009,37(9):12-13,47.
- [10] 肖华贵,杨焕文,饶 勇,等. 甘蓝型油菜黄化突变体的光合特性及叶绿素荧光参数分析[J]. 作物学报,2013,39(3):520-529.
- [11] 李鹏民. 快速叶绿素荧光诱导动力学在植物逆境生理研究中的应用[D]. 泰安: 山东农业大学,2006.
- [12] 曹 刚,张国斌,郁继华,等. 不同光质 LED 光源对黄瓜苗期生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(6):1297-1304.
- [13] 付春霞,张元珍,王衍安,等. 缺锌胁迫对苹果叶片光合速率及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3826-3833.
- [14] 张子山,张立涛,高辉远,等. 不同光强与低温交叉胁迫下黄瓜 PS I 与 PS II 的光抑制研究[J]. 中国农业科学,2009,42(12):4288-4293.
- [15] 杜成凤,李潮海,刘天学,等. 遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响[J]. 生态学报,2011,31(21):6633-6640.
- [16] 武晓玲,张丽君,聂邵仙,等. 弱光对大豆苗期生长及光合荧光特性的影响[J]. 大豆科学,2014,33(1):53-58.
- [17] OLESINSKI A A, WOLF S, RUDICHJ, et al. Effect of leaf age and shading on photosynthesis in potatoes (*Solanum tuberosum*) [J]. *Annals of Botany*, 1989,64(6):643-650.
- [18] 张 昆,万勇善,刘凤珍. 苗期弱光对花生光合特性的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(1):65-71.
- [19] 王绍辉,郝翠玲,张振贤. 植物遮荫效应的研究与进展[J]. 山东农业大学学报,1998,29(1):130-134.
- [20] 张斌斌,姜卫兵,翁忙玲,等. 遮阴对园艺园林树种光合特性的影响[J]. 经济林研究,2009,27(3):115-119.
- [21] 许正刚,史正军,谢良生,等. 遮荫处理下两种园林植物叶绿素含量及荧光参数的研究[J]. 甘肃科技,2009,25(3):158-162.

(责任编辑:陈海霞)