

## 火炬树雌雄株生理生态特性差异研究

李国会<sup>1</sup>, 温国胜<sup>2</sup>, 张明如<sup>3</sup>, 周泽福<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所 北京 100091; 2. 浙江农林大学林业与生物技术学院 浙江 临安 311300;

3. 浙江农林大学健康与旅游学院 浙江 临安 311300)

关键词: 火炬树; 雌雄异株; 光合参数; 外来种

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

### Study on the Differences of Eco-physiological Characteristics of Male and Female *Rhus typhina*

LI Guo-hui<sup>1</sup>, WEN Guo-sheng<sup>2</sup>, ZHANG Ming-ru<sup>3</sup>, ZHOU Ze-fu<sup>1</sup>

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

3. School of Tourism and Health, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** In order to compare the differences in eco-physiological characteristics between male and female plants and to further understand the ecological adaptability of *Rhus typhina* Linn., the diurnal variations of photosynthetic parameters and the fluorescence characteristics of male and female plants were determined respectively with photosynthesis system (CIRAS-2) and portable chlorophyll fluorometer (PAM-2100). The relative chlorophyll content was determined with relative chlorophyll content determination (SPAD-502). The length and width of leaf were measured with ruler. The results showed that the SPAD of male was greater than that of the female by 9.6%. The diurnal variation of net photosynthetic rate of male and female plants showed obvious midday depression. The daily mean of net photosynthetic rate of male plant was greater than that of the female by 22.7%, and there was significant difference between them. The daily means of transpiration rate was greater than that of the female by 18.5%. The water use efficiency of male plant was  $2.3 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ , which was greater than that of the female by 21.7%, and there was significant differences between them. The diurnal variations of light use efficiency of male and female plants were similar but the light use efficiency of male was higher. The  $F_v/F_m$  of male plant was higher than 0.76 and was higher than that of the female during the measurement period. The female reduced to the lowest which was 0.69 at 13:00 p.m. Both the leaf length and width of female were smaller, but the ratio of length and width was greater compared with the male, and there was significant difference between them. The net photosynthetic rate, water use efficiency and light use efficiency of male were higher than that of female, and it had stronger adaptability to environment.

**Key words:** dioecious; diurnal variation of photosynthesis; *Rhus typhina*; alien species

收稿日期: 2012-10-22

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAD31B02)和国家自然科学基金(30771709)

作者简介: 李国会 在读博士. 主要研究方向: 水土保持 植物生理生态. E-mail: congress\_li@163.com

\* 通讯作者: 博士 研究员. 主要研究方向: 水土保持 流域治理以及生态修复. E-mail: zhouzf@caf.ac.cn

火炬树(*Rhus typhina* Linn.)是漆树科盐肤木属树种,雌雄异株,1959年由中国科学院植物研究所引种。火炬树除了能够进行种子繁殖还具有根蘖繁殖的特点。有研究表明,兼有种子繁殖和无性繁殖双重特性的植物,其扩散能力和有效定居能力一般较强,尤其外来植物往往会自然逃逸成为入侵力极强的植物种,如加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)<sup>[1]</sup>、互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel)<sup>[2]</sup>和紫茎泽兰(*Eupatorium Adenophorum* Spreng)<sup>[3]</sup>等。于是,针对火炬树是否已构成入侵种也引起了不少学者的关注,并提出了不同的观点。北京生态学会<sup>[4]</sup>和张川红等<sup>[5]</sup>的观点认为,火炬树未对北京地区的生态系统构成威胁;然而,陈佐忠等<sup>[6]</sup>和刘全儒等<sup>[7]</sup>认为,火炬树已经是北京地区的外来入侵植物。为了对火炬树有深刻全面的认识,近年来,研究者围绕火炬树的生物量分配<sup>[8]</sup>、光合生理特性<sup>[9-10]</sup>、水分利用<sup>[11]</sup>、化感作用<sup>[12]</sup>、繁殖扩散以及入侵性<sup>[13-14]</sup>等开展了较多研究,但上述研究都未考虑火炬树雌雄异株的特征,未将雌、雄株分别进行研究;然而,雌、雄异株的植物,不同性别的植株在形态结构、生长发育、繁殖特性以及生理机制等方面都表现出较大差异<sup>[15-16]</sup>。本文试图通过分别测定火炬树雌、雄株叶片净光合速率、荧光参数、水分利用效率以及光能利用效率等,了解雌、雄株生理生态特性的差异,从而为更加全面、深入了解火炬树特性,并在实践中更加合理利用火炬树这一外来树种提供

参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

本研究在山东省泰安市泰山医学院新校区内进行。泰安市位于山东省中部,地处116°02′~117°59′E、35°38′~36°28′N。该地属于温带大陆性半湿润季风气候区,四季分明,光温同步,雨热同季。年平均气温为12.9℃,7月份气温最高,平均26.4℃,1月份气温最低,平均为-2.6℃。年平均降水量为697mm,全年降水分布很不均衡,夏季降水最多,占年降水量的65.2%,冬季最少,仅占3.6%。测定地段植被类型为疏灌草丛和火炬树单优群落。灌木主要为酸枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、黄栌(*Cotinus coggygia* Scop)等,草本植物主要有白羊草(*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng)、黄背草(*Themeda triandra* Forsk. var. *Japonica* (Willd.) Makino)等。此外,还有刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)、紫叶李(*Prunus ceracifera* Ehrh. cv. *Atropurpurea* Jacq.)等乔木树种。火炬树移植株行距约2m×2m,栽植后经种子繁殖和根蘖繁殖形成的火炬树苗呈群团状分布,形成了火炬树单优群落。调查的火炬树树龄为4年生。试验地火炬树单优群落面积约为1.5km<sup>2</sup>。试验地土壤养分含量较低,属中性的多砾质土(表1)。

表1 火炬树林内的土壤性质

土壤质地	土壤 pH 值	有机质含量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
多砾质土	6.54(中性)	9.18	45.26	0.68	78.4	9.8	0.79

### 1.2 研究材料与方法

在雌、雄火炬树单优群落内,分别选择5株株高、冠幅、胸径、地径等形态特征能够代表其群落内火炬树平均水平且长势相近的4年生火炬树作为测定样株,所选定样株的形态特征见表2。在2008年9月4日从每株样株的中部选择3片向阳面的健康成熟叶片,分别用CIRAS-2光合仪测定系统和德国产便携式调制叶绿素荧光仪PAM-2100测定气体交换参数和荧光参数的日变化,测定时间为9:00—17:00,每2h测定1次,测定当天为晴朗天气。光合仪测定系统自动记录净光合速率( $P_n$ ,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、蒸腾速率( $T_r$ ,  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、气孔导度( $G_s$ ,  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ ,  $\mu\text{mol}\cdot$

$\text{mol}^{-1}$ )等生理参数以及大气温度( $T_a$ , °C)、大气CO<sub>2</sub>浓度( $C_a$ ,  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )、光合有效辐射( $PAR$ ,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )等环境因子。叶片水分利用效率( $WUE$ ,  $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ )和光能利用效率( $LUE$ )的计算公式为:

$$WUE = P_n / T_r \quad LUE = P_n / PAR$$

在每次测定叶绿素荧光参数PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )之前,用PAM-2100暗适应叶夹DLC-8暗适应叶片20min。初始荧光( $F_0$ )在暗适应后,以弱调制测量光( $0.05\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )诱导产生,最大荧光( $F_m$ )以强制饱和闪光( $6000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )激发,闪光2s产生。PS II最大光化学效率

( $F_v/F_m$ ) 计算公式:

$$F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$$

在 11:00 左右选择雌、雄样株中部健康、成熟叶片用精度为 1 mm 的直尺测量叶片的长和宽。叶片长指从叶柄的基部至叶尖的长度,叶片宽取叶片最宽位置的读数。同时使用日本产 SPAD-502 型叶绿素含量计测定叶片的相对叶绿素含量。叶绿素含量计调零后将叶片放入测量头部,关闭测量头,按指压台听到一声响后测量结果出现在屏幕上。测量时避开叶脉并确定叶片完全覆盖接受窗。每样株选择 10 片叶片测定取其平均值。

试验数据用 SPSS13.0 分析处理,用 sigma-plot10.0 作图。

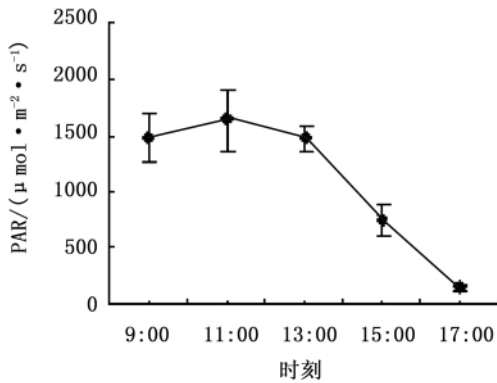


图 1 试验地光照强度(PAR)和大气温度(Ta)的日变化

火炬树雌、雄株净光合速率( $P_n$ )的日变化趋势相同,均表现出“午休”现象(图 2)。在 9:00—13:00 雌、雄株  $P_n$  由于大气温度的逐渐升高和光照强度的逐渐增强,均呈现逐渐减小的趋势。在 13:00 出现较低值,之后逐渐增大,15:00 以后又迅速降低。雄株的  $P_n$  在各个测量点均明显高于雌株,雄株  $P_n$  日均值为  $5.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,雌株为  $3.7 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,雄株较雌株高出 33.9%,且二者之间存在极显著差异( $P < 0.01$ )(表 3)。

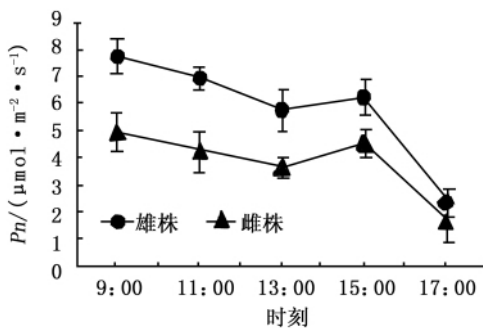


图 2 火炬树雌雄株净光合速率(Pn)的日变化

表 2 雌、雄火炬树样株的形态指标

指标	株高/cm	冠幅/cm	地径/cm	胸径/cm
雄株	170 ± 23.3	109 ± 22.3	2.98 ± 0.487	1.78 ± 0.464
雌株	182 ± 23.6	86 ± 20.0	3.25 ± 0.614	1.74 ± 0.222

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片气体交换参数日变化

在 9:00—17:00,光照强度呈现上午逐渐升高,到 11:00 达到一天中最大值后开始下降,13:00 之后快速下降。大气温度则表现出上午缓慢上升,13:00 以后逐渐下降的变化过程(图 1)。

火炬树雄株胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )的日变化呈“W”型,2 个较低点分别出现在 11:00 和 15:00;而雌株  $C_i$  与其  $P_n$  日变化过程基本相反(图 3)。根据 Fraquhar 等<sup>[17]</sup>的观点, $P_n$  降低伴随着  $C_i$  的提高时, $P_n$  降低的主要原因是非气孔因素。据此推断,火炬树雌、雄株在 11:00—13:00 以及 15:00 以后  $P_n$  的降低主要是由非气孔因素引起的。

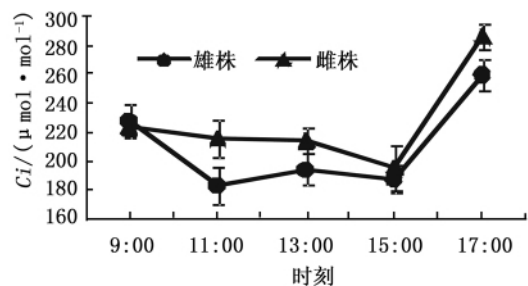


图 3 火炬树雌雄株胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )的日变化

图 4 表明:火炬树雄株蒸腾速率( $T_r$ )在 9:00—11:00 非常缓慢降低,11:00—13:00 随着温度的逐渐升高和空气湿度的降低, $T_r$  逐渐增大,13:00 出现

一天中的最大值为  $3.6 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 之后迅速降低, 到 17:00  $T_r$  降低到了  $1.1 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 仅为最大值的 31%; 而雌株  $T_r$  的日变化趋势呈现先增大后减小的趋势, 最大值出现在 11:00 ( $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (图 4)。雄株  $T_r$  的最大值较雌株高出 20%, 但 15:00 以后雌、雄株  $T_r$  相差不大。雄株  $T_r$  日均值 ( $2.7 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 较雌株 ( $2.2 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 高出 22.7%, 但二者之间差异不显著 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。火炬树雌、雄株蒸腾速率的日变化均与叶片气孔导度 ( $G_s$ ) 的变化过程相似 (图 4、5)。雄株  $G_s$  在早晨 9:00 最大, 之后呈现下降趋势, 11:00 出现低谷, 之后有所回升, 13:00 出现第 2 个峰值后迅速降低; 而雌株  $G_s$  的日变化与雄株明显不同。从早晨开始雌株叶片的  $G_s$  逐渐增大, 在 11:00 达到峰值。之后由于光照加强, 大气湿度逐渐降低, 叶片蒸腾失水强烈,  $G_s$  出现中午降低的现象。13:00 以后随着光照、温度以及湿度等因子胁迫的减弱,  $G_s$  有所回升, 15:00 以后雌、雄株  $G_s$  均迅速降低且二者之间的差距逐渐减小。

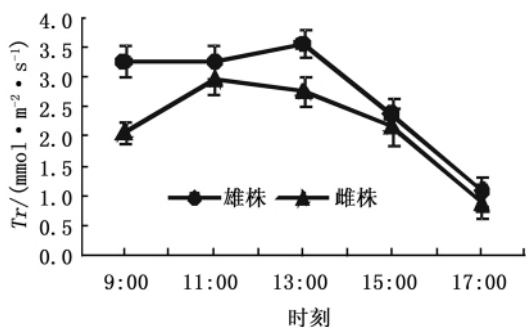


图 4 火炬树雌雄株蒸腾速率 ( $T_r$ ) 日变化

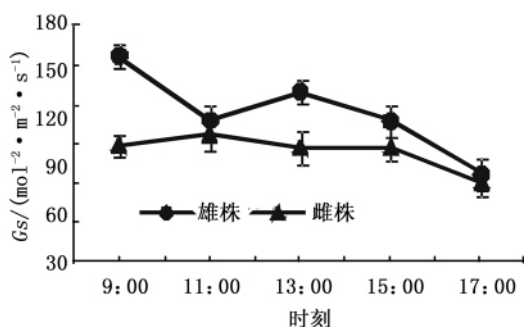


图 5 火炬树雌雄株气孔导度 ( $G_s$ ) 日变化

## 2.2 叶片水分利用效率和光能利用效率日变化

火炬树雌、雄株的水分利用效率 ( $WUE$ ) 日变化过程基本一致, 表现出明显的午间减弱现象 (图 6)。在早晨, 雄株和雌株  $WUE$  都较高, 并且二者之间相

差不大, 之后均迅速降低, 13:00 达到一天中的较低值, 分别为  $1.8$ 、 $1.3 \mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$ 。在 15:00 出现第 2 个峰值后均逐渐降低。在整个日变化过程中, 雄株  $WUE$  均大于雌株, 且雌、雄株  $WUE$  日均值间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。

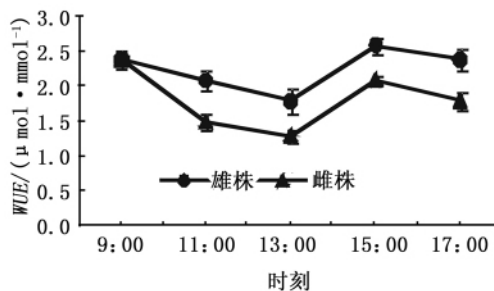


图 6 火炬树雌雄株水分利用效率 ( $WUE$ ) 的日变化

表 3 火炬树雌、雄株主要生理参数日均值的比较

火炬树	生理参数			
	$P_n / (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$T_r / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$WUE / (\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$	$LUE / \%$
雄株	$5.8 \pm 2.62\text{B}$	$2.7 \pm 1.05$	$2.3 \pm 0.79\text{a}$	$0.0081 \pm 0.00589$
雌株	$3.9 \pm 1.46\text{A}$	$2.2 \pm 0.80$	$1.8 \pm 0.55\text{b}$	$0.0059 \pm 0.00515$

注: 数据为平均值  $\pm$  标准差, 同列不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

火炬树雌、雄株光能利用效率 ( $LUE$ ) 日变化过程相同, 均呈现先降低后升高的趋势, 且雄株  $LUE$  大于雌株 (图 7), 其日均值较雌株高 37%, 但二者差异不显著 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。在 9:00—13:00 随着光照强度的逐渐增强,  $P_n$  逐渐增大,  $LUE$  也逐渐增大; 但在 13:00, 由于强光和高温的影响,  $P_n$  出现光合“午休”现象,  $LUE$  也出现一天中的最小值; 之后随着强光和高温胁迫的缓和,  $LUE$  迅速增大。

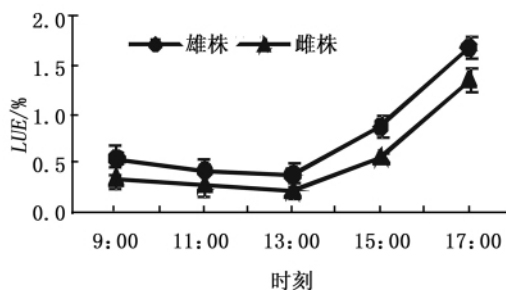


图 7 火炬树雌雄株光能利用效率 ( $LUE$ ) 的日变化

## 2.3 叶片荧光参数 $F_v/F_m$ 日变化与相对叶绿素含量 $SPAD$ 的比较

$F_v/F_m$  是没有遭受环境胁迫并经过充分暗适应的植物叶片 PS II 最大的或潜在的量子效率的指标,

有时也被称为开放的 PS II 反应中心的能量捕获效率。在非胁迫条件下,该参数的变化极小,不受物种和生长条件影响,胁迫条件下该参数明显下降,在一定程度上能够反映植物受胁迫伤害的程度<sup>[18]</sup>。在 9:00—15:00,雄株  $F_v/F_m$  一直维持在 0.78 左右,15:00 以后略有下降,在 17:00 下降为 0.76。由此发现,火炬树雄株的  $F_v/F_m$  在一天中变化不大,且测定时段内火炬树雌株的  $F_v/F_m$  均较雄株小。在 9:00—11:00 雌株  $F_v/F_m$  在 0.75 左右,在 13:00 迅速降低到最低点 0.69(图 8)。这在一定程度上说明,此时雌株叶片的 PS II 在一定程度上受到了环境的胁迫作用,这可能表明火炬树雌株对环境胁迫的适应能力较雄株弱。

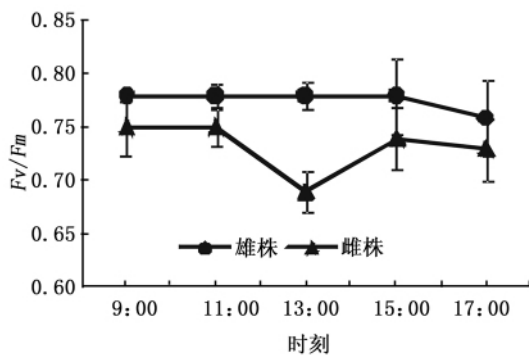


图8 火炬树雌雄株 PSII 光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 的日变化

叶绿素含量的多少在一定程度上影响植物的光合速率。叶片的相对叶绿素含量 (SPAD) 在一定程度上可以说明叶片叶绿素含量的情况。雄株叶片的相对叶绿素含量为 39.4,较雌株高 9.6%。 $t$  检验结果显示,二者差异显著(图 9)。

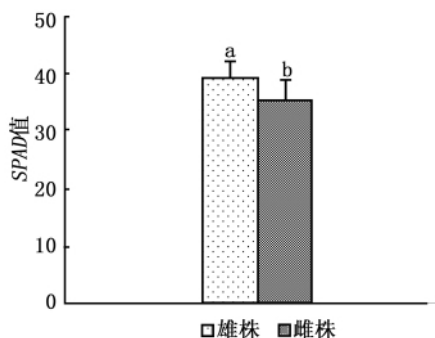


图9 火炬树雌雄株相对叶绿素含量 (SPAD) 的比较

#### 2.4 叶片形态特征的比较

叶片是植物进行光合作用的主要器官,也是植物对环境变化比较敏感的器官<sup>[19-20]</sup>。在野外观测时发现,火炬树雌、雄株叶片形态具有一定差异,尤其中午前后,火炬树雌株叶片的两侧向内卷曲,但雄

株叶片相对平展。对火炬树雌、雄株叶片形态的测定结果显示:雌、雄株叶片长相差不多,但雄株叶片较雌株宽 42.4%,且二者之间差异极显著。计算发现,雌株叶片的长宽比为 5.2,而雄株叶片仅为 3.71。 $t$  检验结果表明,火炬树雌、雄株叶片长宽比差异极显著(表 4)。

表4 火炬树雌雄株叶片形态特征的比较

火炬树	叶片长/cm	叶片宽/cm	叶片长宽比
雄株	8.99 ± 1.133 a	2.45 ± 0.410 A	3.71 ± 0.205 5 B
雌株	8.57 ± 1.138 a	1.72 ± 0.383 B	5.20 ± 0.610 5 A

注:数据为平均值 ± 标准差,同列不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ),同列相同小写字母表示差异不显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论与讨论

对火炬树雌、雄株净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化过程的观测结果显示,在全天的变化过程中,雄株  $P_n$  均比雌株的大,其  $P_n$  日均值为  $5.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,较雌株  $P_n$  日均值高出 33.9%,二者之间的差异极显著。由此说明,火炬树雄株较雌株有更强的光合能力和对环境的适应能力。雌、雄株  $P_n$  日变化均呈现出明显的光合“午休”现象,这与郭二辉等<sup>[9]</sup>发现火炬树  $P_n$  日变化在 8 月份为双峰曲线,在 9—11 月为单峰曲线的结果不同;而与张明如等<sup>[21]</sup>发现在 9 月份火炬树群落外缘克隆分株  $P_n$  日变化为双峰曲线的结果相同。这可能是由研究区气候条件,火炬树生长的立地条件以及长势等因素不同造成的。

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的门户,它的变化首先影响水分的交换,其次是  $\text{CO}_2$  的交换。因此,气孔导度 ( $G_s$ ) 的大小对  $P_n$  和蒸腾速率 ( $T_r$ ) 均有一定程度的影响<sup>[22]</sup>。本研究发现,火炬树雄株叶片  $G_s$  较雌株大,且表现出明显的午间减弱现象,这可能是雄株叶片适应午间高温或防止叶片过度蒸腾失水所形成的一种生态适应对策。雌株的  $G_s$  在正午前后仍然保持较高的数值,蒸腾作用依然较强,水分散失严重,导致水分亏缺,叶片卷曲。这可能是雌株叶片适应午间高温低湿条件的一种生态适应对策。大多数植物生态学家认为,植物的一些叶片性状与植物的生长对策及植物利用资源的能力紧密相关,能够反映植物适应环境变化所形成的生存对策<sup>[19-20]</sup>。火炬树雌株叶片卷曲从而减小了叶片的光合作用面积,导致其捕获光能的能力下降。火炬树雄株叶片长宽比较雌株的小,叶片相对舒展,光合面积大,且相对叶绿素含量高,其捕获光能的能力较

雌株强,净光合速率较雌株大。因此,在相同的光照强度下,火炬树雄株较雌株有更强的光能利用效率。

本研究对火炬树雌雄株  $F_v/F_m$  日变化的测定发现:雌株的  $F_v/F_m$  均低于雄株,且在 13:00 最低(0.69)。表明此时火炬树雌株在一定程度上受到了强光、高温、大气干旱等组合因子的胁迫,雄株较雌株具有更强的环境适应能力。水分利用效率(WUE)是衡量植物水分消耗与物质生产之间关系的重要综合性指标,其大小也可以反映植物对逆境适应能力的强弱<sup>[23]</sup>。本研究发现,雄株 WUE 较雌株高,这也在一定程度上说明了雄株对逆境具有更强的适应能力。

由于火炬树根蘖繁殖能力旺盛,且耐干旱,耐瘠薄,在荒山丘陵区等差的立地条件下还能建立自己的种群,尤其火炬树雄株较雌株对环境具有更强的适应能力。建议在没有明确火炬树是否已经成为入侵种之前,为了保护生物多样性和维护生态平衡,在实践中应该尽量避免大规模地、成片栽植火炬树,尤其对火炬树雄株的应用更应慎重。

#### 参考文献:

- [1] 黄 华,郭水良.外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究[J].生态学报,2005,25(11):2795-2803
- [2] 姚懿函,清华,安树青,等.不同建群时间下互花米草种群生长及生物量分配[J].生态学报,2010,30(19):5200-5208
- [3] 温庆忠,王健敏,张正华,等.紫茎泽兰入侵受松小蠹危害的云南松林群落的研究[J].林业科学研究,2009,22(6):846-850
- [4] 王海峰.外来种火炬树生物入侵可能性研究[D].北京:北京林业大学,2006
- [5] 张川红,郝勇奇,李继磊,等.北京地区火炬树的萌蘖繁殖扩散[J].生态学报,2005,25(5):978-985
- [6] 陈佐忠,董保华,杨宗贵.北京地区火炬树的调查[J].林业资源管理,2006(1):54-58
- [7] 刘全儒,于 明,周云龙.北京地区外来入侵植物的初步研究[J].北京师范大学学报:自然科学版,2002,38(3):399-404
- [8] 马松涛,刘广全,李文华,等.不同立地类型火炬树人工林生物量初步研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2003,31(6):36-38
- [9] 郭二辉,胡 聘,田朝阳.外来种火炬树光合作用日变化与环境因子的关系[J].河南农业科学,2010(6):109-113
- [10] 季小俊,张明如,张建国,等.火炬树克隆片段在异质水分斑块中的水分及光响应初步研究[J].浙江农林大学学报,2011,28(3):359-366
- [11] 康博文,侯 琳,王得祥,等.几种主要绿化树种苗木耗水特性的研究[J].西北林学院学报,2005,20(1):29-33
- [12] 孙天旭,鲁法典,郑勇奇,等.外来树种火炬树化感作用的研究[J].林业科学研究,2010,23(2):195-201
- [13] 张明如,翟明普,尹昌君,等.火炬树克隆分株前后端水平侧根直径不对称性分析[J].林业科学,2005,41(6):65-71
- [14] 北京生态学学会.火炬树未对北京地区的自然生态系统构成威胁——《新世纪北京生态论坛》第二届学术研讨会纪要[J].植物生态学报,2006,30(1):190
- [15] 尹春英,李春阳.雌雄异株植物与性别比例有关的性别差异研究现状与展望[J].应用与环境生物学报,2007,13(3):419-425
- [16] 张明如,温国胜,张 瑾,等.火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化[J].生态学报,2012,32(2):528-537
- [17] Fraquhar D G, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann Rev Plant Physiol, 1982, 33: 317-355
- [18] Takahashi S, Murata N. How do environmental stresses accelerate photoinhibition[J]. Trends in Plant Science, 2008, 13(4): 178-182
- [19] Vendramini F, Diaz S, Gurvich D E et al. Leaf Traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species[J]. New Phytologist, 2002, 154(1): 147-157
- [20] Westoby M, Falster D S, Moles A T et al. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2002, 33: 125-159
- [21] 张明如,俞益武,翟明普,等.火炬树克隆分株与荆条克隆分株的光合日进程差异[J].浙江林学院学报,2007,24(1):1-6
- [22] 刘庚山,郭安红,任三学,等.不同覆盖对夏玉米叶片光合和水分利用效率日变化的影响[J].水土保持学报,2004,18(20):152-155
- [23] 刘金祥,麦嘉玲. CO<sub>2</sub> 浓度增强对沿阶草光合特性的影响[J].中国草地,2004,26(3):13-18