

## 花叶芦竹光合特性日动态及其影响因素分析

余红兵<sup>1,2</sup>, 曾馨<sup>2</sup>, 肖润林<sup>3\*</sup>, 杨知建<sup>1</sup>, 张树楠<sup>3</sup>, 赵志丽<sup>1</sup>

(1.湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南城市学院建筑与城市规划院, 湖南 益阳 413000; 3.中国科学院亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125)

**摘 要:**以生态沟渠花叶芦竹(*Arundo donax* var. *versicolor*)为材料, 采用便携式 CID-340 光合仪, 在晴朗天气测定花叶芦竹成熟叶片净光合速率( $P_n$ )和光合有效辐射( $PAR$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )、叶温( $T_l$ )、叶周围气温( $T_a$ )和蒸腾速率( $Tr$ )等影响因子, 对花叶芦竹光合特性日动态及其影响因素进行分析。结果表明: ①花叶芦竹叶片净光合速率( $P_n$ )日变化曲线呈单峰型, 峰值为  $19.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 峰值出现在 15:00 左右; ②逐步回归分析结果表明, 净光合速率主要受蒸腾速率、胞间  $CO_2$  浓度、叶温和气温的影响; ③偏相关分析和通径分析结果表明, 胞间  $CO_2$  浓度、蒸腾速率也是影响花叶芦竹净光合速率的主要因子, 且胞间  $CO_2$  浓度的影响比蒸腾速率的影响大。

**关 键 词:** 花叶芦竹; 光合特性; 挺水植物; 生态修复

中图分类号: Q945

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)02-0200-04

## Analysis the diurnal dynamic of photosynthetic characteristics and its influencing factors on *Arundo donax* var. *versicolor*

YU Hong-bing<sup>1,2</sup>, ZENG Qing<sup>2</sup>, XIAO Run-lin<sup>3\*</sup>, YANG Zhi-jian<sup>1</sup>, ZHANG Shu-nan<sup>3</sup>, ZHAO Zhi-li<sup>1</sup>

(1.College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.College of Architecture and Urban Planning, Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000, China; 3.Institute of Subtropical Agriculture and Ecology Chinese Academy of Sciences, Changsha, 410125, China)

**Abstract:** To uncover the diurnal dynamic character of photosynthesis and its impacting factors of *Arundo donax* var. *versicolor* in ecological ditch, net photosynthetic rate ( $P_n$ ), photosynthetically active radiation ( $PAR$ ), stomatal conductance ( $G_s$ ), intercellular carbon dioxide concentration ( $C_i$ ), leaf temperature ( $T_l$ ), atmospheric temperature around the leaves ( $T_a$ ) and transpiration rate ( $Tr$ ) were measured in clear days using portable photosynthetic system (the model type is CID-340). The results showed: ①The diurnal  $P_n$  curve of *Arundo donax* var. *versicolor* presented a single-peak, which occurred at about 3 pm with a value of  $19.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . ②Results of stepwise regression indicated that  $Tr$ ,  $C_i$ ,  $T_l$  and  $T_a$  took an important effect on  $P_n$ . ③Results of partial correlation analysis and path analysis indicated that  $C_i$  and  $Tr$  were two important factors influencing to  $P_n$ , and  $C_i$  had larger impact on  $P_n$  in comparison with  $Tr$ .

**Key words:** *Arundo donax* var. *versicolor*; photosynthetic characteristics; emergent plant; ecological restoration

花叶芦竹(*Arundo donax* var. *versicolor*)是禾本科芦竹属植物, 是芦竹(*Arundo donax*)的变种, 比原种具有更高的园林观赏价值<sup>[1]</sup>, 近年来在水体植物景观设计和施工中运用较多, 在湖南、广东、海南

等省均有引种栽培。国内关于芦竹对重金属的富集、耐性能力等方面的研究较多<sup>[2-6]</sup>, 也有关于人工湿地条件下芦竹生理、生态特性的初步研究<sup>[7]</sup>。对花叶芦竹的研究主要集中在其繁殖、处理生活污水以

收稿日期: 2012-11-03

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-T07); 益阳市科技计划项目(2012JZ52); 湖南城市学院科技计划项目(2011xj006)

作者简介: 余红兵(1976—), 女, 湖南益阳人, 博士, 主要从事园林植物及沟渠湿地植物净化研究, bingbingyu76@163.com; \*通信作者, xiaorl@isa.ac.cn

及湿地脱氮性能等方面<sup>[8-10]</sup>,而关于花叶芦竹生理、生态方面的研究尚少见报道。笔者探讨环境因子对花叶芦竹光合作用的影响,旨在为生态修复湖泊、沟渠等的污染水体时植物的利用提供参考。

## 1 研究地概况

试验区为湖南省长沙县金井镇中国科学院长沙农业环境观测站的1条生态沟渠。该沟渠位于城郊农业区环境质量修复与功能提升技术研究与示范基地。试验前对该区的排水沟渠进行了工程改造和植物种植。当地属于中亚热带南缘季风气候,年平均气温16.5~20.5℃;1月平均气温11.9℃,极端最低气温-5.2℃,7月平均气温27.9℃,极端最高气温39.1℃;10℃的有效积温6539℃,年平均降水量1389mm。降水多集中在4—6月,占全年降水的76%。周边以水稻田为主。整个试验区与外界的水体交换都通过沟渠系统。

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

自上而下分别设置水生美人蕉(*Canna glauca*)、铜钱草(*Hydrocotyle vulgaris*)、花叶芦竹(*Arundo donax* var. *versicolor*)等植物,由水泥砌成的堰和波浪形挡板将每种植物区隔开。在花叶芦竹生长旺盛的季节,于2010年8月中旬的晴朗天气,选取株型相近的花叶芦竹植株3株,从每株顶部向下第3片叶开始测定净光合速率、蒸腾速率等生理指标,每片叶测3次,7:00到19:00每2h测定1次,取每片叶的平均值作为该时刻的实测值。

为了解花叶芦竹净光合速率与其生理、生态因子的关系,分析花叶芦竹净光合速率与其各生理、生态因子的相关性。因为影响净光合速率的因素很多,因此,二元变量的简单相关分析在某些情况下无法真实、准确地反映变量之间的关系。逐步多元回归分析方法能有效地从众多生态、生理因子中挑选出对净光合速率贡献大的因子,所以,建立净光合速率与这些因子的“最优”回归方程<sup>[11]</sup>,进一步对花叶芦竹净光合速率与其主要影响因子进行途径分析。

### 2.2 测定指标及方法

采用美国CID公司生产的CID-340光合测定系统对所选植株叶片进行自动测定。直接测定的指标有叶室面积(6.25 cm<sup>2</sup>)、气温、叶温、光合有效辐射( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )、空气相对湿度(%)、空气CO<sub>2</sub>浓度( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )、蒸腾速率( $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )、气孔导度( $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )、净光合速率( $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ )。

### 2.3 数据分析

使用Excel 2003进行数据处理。用SPSS软件进行回归、偏相关及途径等分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 花叶芦竹净光合速率及其生态因子的日变化

由图1可见,花叶芦竹叶片的净光合速率( $P_n$ )的日变化曲线呈单峰型,从9:00缓慢上升,11:00达15.31  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,在15:00达到峰值19.76  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,未出现光合“午休”现象。净光合速率日均为11.38  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

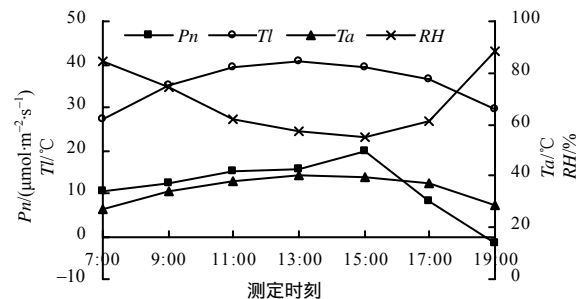


图1 花叶芦竹净光合速率、气温、叶温和空气湿度的日变化

Fig.1 Diurnal change of  $P_n$ ,  $T_a$ ,  $T_l$  and  $RH$  of *Arundo donax* var. *versicolor*

气温( $T_a$ )和叶温( $T_l$ )的日变化曲线均呈单峰型,在13:00达到峰值,其中气温最高值为40.43℃,叶温最高值为40.73℃(图1)。

大气相对湿度( $RH$ )随气温的上升和太阳辐射的加强而下降,在13:00—15:00降至最低(图1)。空气相对湿度为54.7%~88.53%。由于8月生态沟渠比较湿润,所以花叶芦竹生长旺盛。

### 3.2 花叶芦竹生理因子的日变化

由图2可见,花叶芦竹光合有效辐射( $PAR$ )日变

化曲线呈单峰型，具体表现为中午高，早、晚低，峰值出现在 11:00 左右。花叶芦竹叶片净光合速率的日变化随着光合有效辐射的升降而升降(图 1、图 2)。

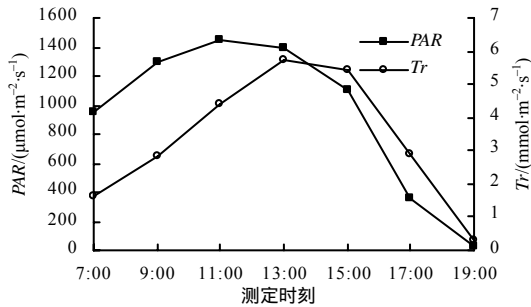


图2 花叶芦竹光合有效辐射和蒸腾速率的日变化

Fig.2 Diurnal change of PAR and Tr of *Arundo donax* var. *versicolor*

从图 1、图 2 可见，蒸腾速率(*Tr*)的日变化曲线与净光合速率的日变化曲线相似，日均蒸腾速率为 3.32 mmol/(m<sup>2</sup>·s)，也呈单峰型；蒸腾速率峰值(5.72 mmol/(m<sup>2</sup>·s))的出现比净光合速率峰值的出现早。由图 2、图 3 可见，随着午间气孔导度的增加，蒸腾速率也增加，并且维持在较高的水平。

由图 3 可见，花叶芦竹气孔导度(*Gs*) 的日变化曲线呈单峰型，变化趋势与净光合速率一致，并且其峰值的出现时间均在 15:00。

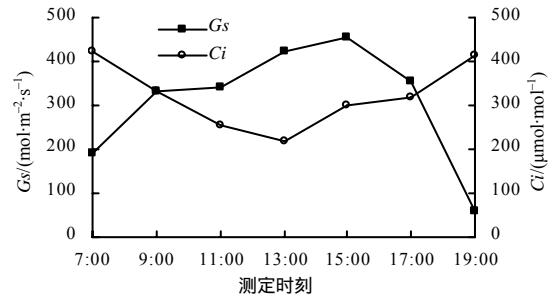


图3 花叶芦竹气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化

Fig.3 Diurnal change of *Gs* and *Ci* of *Arundo donax* var. *versicolor*

花叶芦竹胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(*Ci*)曲线为凹形抛物线，其日变化与净光合速率和气孔导度的变化相反，谷值出现在 13:00(图 3)。

### 3.3 花叶芦竹光合作用相关因素分析

由表 1 可见，净光合速率与蒸腾速率、光合有效辐射、气温、气孔导度和叶温呈正相关，且存在极显著差异，而与空气相对湿度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈负相关。这表明花叶芦竹的光合作用是一个复杂的过程，是在其生理、生态因子共同作用下进行的。净光合速率的变化是由各生理、生态因子综合作用的结果，而不同阶段各因子的影响存在差异，甚至效应相反。

表 1 花叶芦竹净光合速率与生理、生态因子的相关系数

因子	相关系数							
	<i>Pn</i>	<i>Tl</i>	<i>PAR</i>	<i>Tr</i>	<i>Gs</i>	<i>Ci</i>	<i>RH</i>	<i>Ta</i>
<i>Pn</i>	1							
<i>Tl</i>	0.698**	1						
<i>PAR</i>	0.859**	0.561*	1					
<i>Tr</i>	0.894**	0.911**	0.734**	1				
<i>Gs</i>	0.886**	0.874**	0.666**	0.935**	1			
<i>Ci</i>	-0.688**	-0.962**	-0.654**	-0.907**	-0.832**	1		
<i>RH</i>	-0.775**	-0.938**	-0.505*	-0.931**	-0.943**	0.883**	1	
<i>Ta</i>	0.702**	0.994**	0.528*	0.922**	0.903**	-0.948**	-0.968**	1

\*示差异显著( $P < 0.05$ )；\*\*示差异极显著( $P < 0.01$ )。

#### 3.3.1 逐步回归分析结果

逐步回归方程为： $Pn = 32.6573 - 1.09737Ta + 0.03892Tl + 5.170168Tr - 0.0412Ci$  ( $R = 0.988$ )。这表明净光合速率受蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、叶温和气温的影响较大。

#### 3.3.2 偏相关分析和通径分析结果

表 2 中的偏相关系数表明，蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与花叶芦竹净光合速率的偏相关达极显著水平。从通径系数看，胞间 CO<sub>2</sub> 浓度对净光合速率的直接影响(绝对值)大于蒸腾速率的影响。

表 2 主要因子对净光合速率的直接途径系数与偏相关系数

因子	偏相关系数	直接途径系数
$Tr$	0.854**	1.685
$C_i$	-0.845**	-1.739

“\*\*”示极显著水平。

#### 4 结论与讨论

花叶芦竹叶片净光合速率日变化曲线呈单峰型。净光合速率峰值  $19.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$  出现在 15:00 左右,这主要是由相对湿度的降低和温度的升高导致。日均净光合速率为  $11.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,日均蒸腾速率为  $3.38 \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。本试验中,气孔导度和蒸腾速率呈极显著正相关,说明叶片气孔开启的大小直接影响进入叶片内部参与光合作用  $\text{CO}_2$  浓度的大小,从而间接影响光合作用的进行,这与王静等<sup>[12]</sup>的研究结果相似。花叶芦竹的  $P_n$  与  $G_s$  呈极显著正相关,表明净光合速率受气孔导度的影响较大,气孔行为对花叶芦竹光合作用碳的固定具有主导控制作用。尽管气孔的开张受多种因素影响,但在一天内无论其怎样变化都是以尽可能少的水分消耗来维持尽可能多的  $\text{CO}_2$  供应<sup>[13]</sup>,即便是生长在水分不受限制的湿地中的植物也不例外,这与赵平的研究结果一致<sup>[14]</sup>。

偏相关分析及途径分析结果表明,  $Tr$  和  $C_i$  是花叶芦竹净光合速率的主要影响因子,且  $C_i$  对花叶芦竹  $P_n$  的直接影响大于  $Tr$  的。这说明植物的光合作用是一个对生态因子敏感的复杂的生理过程。生态因子不仅直接影响光合作用,而且还通过相互间的影响进而影响光合作用,各种因子之间有着错综复杂的关系<sup>[15]</sup>。

$C_4$  挺水植物具有相当高的净光合速率( $35 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ),而  $C_3$  挺水植物最高的净光合速率为  $10\sim 25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ <sup>[16]</sup>。花叶芦竹为  $C_3$  挺水植物,其光合速率最大值为  $19.76 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ,为  $C_3$  挺水植物中的较高值,这表明花叶芦竹是一种高光效阳性植物,对其加以利用有利于湿地生态系统的稳定。光合作用是湿地植物生长和污水净化的重要能量

来源,在实际工程中可将植物光合作用作为湿地植物选择的重要依据之一。

#### 参考文献:

- [1] 张金锋. 水生绿化植物新品种——花叶芦竹[J]. 农村新技术, 2008(9): 53.
- [2] 韩志萍, 胡正海. 芦竹对不同重金属耐性的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 161-165.
- [3] 韩志萍, 胡晓斌, 胡正海. 芦竹修复镉汞污染湿地的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 945-949.
- [4] 韩志萍. 利用芦竹修复湿地重金属污染的研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(8): 30-33.
- [5] 韩志萍. 铬铜镍在芦竹中的富集与分布[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(5): 106-108.
- [6] 韩志萍, 王趁义. 不同生态型芦竹对 Cd、Hg、Pb、Cu 的富集与分布[J]. 生态环境, 2007(4): 1092-1094.
- [7] 赵建松, 白梅, 程凤鸣, 等. 两种人工湿地条件下芦苇与芦竹生理生态特性研究[J]. 湿地科学, 2008, 6(3): 398-404.
- [8] 张群, 王海洋, 崔心红. 花叶芦竹冬季浸水萌芽试验的初步研究[J]. 西南农业大学学报, 2005(2): 248-251.
- [9] 谢龙, 汪德耀. 花叶芦竹水平潜流人工湿地脱氮性能研究[J]. 环境工程学报, 2009, 3(10): 1759-1762.
- [10] 谢龙, 汪德耀. 花叶芦竹潜流人工湿地处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5): 89-91.
- [11] 吴瑞云. 欧美杨杂交种“中嘉 8”净光合速率与若干生态因子的相关分析[J]. 亚热带植物科学, 2007, 36(4): 16-19.
- [12] 王静, 程积民, 万惠娥, 等. 黄土高原芨芨草叶片蒸腾作用和光合作用的初步研究[J]. 草业学报, 2003, 12(6): 47-52.
- [13] 苏培玺, 杜明武, 张立新, 等. 日光温室草莓光合特性及对  $\text{CO}_2$  浓度升高的响应[J]. 园艺学报, 2002, 29(5): 423-426.
- [14] 赵平, 孙谷畴, 曾小平, 等. 两种生态型榕树的叶绿素含量、荧光特性和叶片气体交换日变化的比较研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 327-332.
- [15] 陈模舜, 柯世省, 倪琼琼. 田间珊瑚树净光合速率及生态因子的日变化[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2004, 27(3): 299-301.
- [16] Jones M B. Photosynthetic responses of  $C_3$  and  $C_4$  wetland species in a tropical swamp[J]. Journal of Ecology, 1998, 76: 253-262.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库