

# 模拟酸雨对萱草光合特性的影响

魏湘萍, 于晓英, 熊 旋, 侯志勇, 谢 荣, 洪晓晓

(湖南农业大学 园艺园林学院 湖南 长沙 410128)

**摘 要:** 采用人工喷洒的方法, 研究了不同 pH 值(2.0、3.5、5.0、6.5)的模拟酸雨对6个萱草属光合特性的影响。用 LI-6400 型便携式光合作用测定系统对萱草的光合特性进行测定, 在研究光合指标与抗酸性关系的基础上, 采用隶属函数法对6种萱草属进行综合评价。结果表明: 与对照相比, pH 3.5 酸雨降低了萱草的光补偿点、光饱和点, 在 pH 3.5~2.0 强酸雨胁迫下, 6个萱草属植物材料受伤严重, 但材料之间有一定差异, 它们的受伤程度依次为: 野生重瓣萱草< 玫瑰红萱草< 黄花菜< 大花萱草< 金娃娃萱草< 折叶萱草。

**关键词:** 萱草; 模拟酸雨; 光合特性; 净光合速率; 蒸腾速率

**中图分类号:** S 682.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)06-0175-03

酸雨是目前世界生态环境主要问题之一, 近年来我国酸雨分布以城市为中心向远郊和农村蔓延, 长江以南大部分地区降水 pH<4.5, 年均降水 pH<5.6 的区域已占国土面积的 40% 左右<sup>[1,2]</sup>。萱草(*Hemerocallis*) 花色鲜艳, 栽培容易, 对土壤要求不严, 适应性强, 园林中多从植或用于花坛、花镜、路旁栽植, 是很好的地被材料。通过用不同 pH 值的模拟酸雨喷淋试验材料, 模拟酸雨胁迫环境对萱草光合特性的反应, 了解其响应酸雨胁迫规律, 为城市环境绿化、美化合理布局提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2008 年 2 月 18 日将 6 种萱草材料: A 野生重瓣萱草(*Hemerocallis fulva* var. *florepleno*), B 玫瑰红萱草(*Hemerocallis fulva* var. *rosea*), C 黄花菜(*Hemerocallis citrina*), D 大花萱草(*Hemerocallis hybrida*), E 金娃娃萱草(*Hemerocallis fulva* 'Stella de Oro'), F 折叶萱草(*Hemerocallis plicata* Stapf) 移植于湖南农业大学苗圃种植槽中, 搭置通风挡雨的塑料棚, 缓苗期间用自来水浇灌, 2008 年 3 月, 各材料长势一致, 开始进行人工酸雨浇灌。

### 1.2 设计

模拟酸雨配制参照湖南省各主要酸雨区<sup>[2]</sup> 的酸雨

元素构成与酸根离子比值( $\text{SO}_4^{2-} : \text{NO}_3^- = 8 : 1$ ), 用浓硫酸和浓硝酸配置成原液, 用蒸馏水稀释成 pH 2.0、3.5、5.0、6.5, 其中 6.5 为对照 CK。采用人工喷雾器喷洒叶面, 每天喷 1 次, 每次以喷至叶面滴液为止, 连续喷洒 3 d, 每组设 3 个重复。

### 1.3 方法

人工浇灌酸雨结束第 2 天, 在光合最旺盛时段 9:00~11:00, 选取每株材料第 3~4 叶序的功能叶, 叶温维持在  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度在  $350 \sim 450 \mu\text{L/L}$ , 光通量密度在  $600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。用 LI-6400 型便携式光合作用测定系统测定不同 pH 值模拟酸雨处理下萱草的光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度和蒸腾速率的变化。

### 1.4 分析方法

抗酸性隶属函数值计算方法<sup>[3]</sup>。  
(1) 隶属函数  $u(x) = (x - a_1) / (a_2 - a_1)$ ; (2) 与抗酸性呈负相关的指标按下式处理:  $u(x) = 1 - (x - a_1) / (a_2 - a_1)$ ; (3) 平均值:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u(x_i)$ , (1)、(2) 中,  $x$  为酸雨胁迫下的测定值,  $a_1 = \min\{x\}$ ,  $a_2 = \max\{x\}$ ; (3) 式中,  $n$  为指标性状数量,  $\bar{x}$  为品种抗酸隶属函数平均值,  $\bar{x}$  越大, 表明抗酸性越强。

## 2 结果与分析

酸雨胁迫既可以直接影响植物的生长, 也可以通过抑制为生长提供物质基础的光合作用而间接影响植物的生长, 植物生长下降与净光合速率的下降关系密切, 且随着胁迫时 pH 值越低, 胁迫时间越长, 其影响也越大<sup>[4,5]</sup>。

### 2.1 酸雨胁迫对萱草净光合速率变化的影响

不同 pH 值酸雨对植物的净光合速率( $P_n$ )均有一定的影响, 其影响程度因酸雨 pH 值的不同而有所差异, 有研究结果表明<sup>[6,8]</sup>, 随着酸雨 pH 值的降低, 植物受伤

第一作者简介: 魏湘萍(1982-), 女, 硕士, 现从事观赏园艺学方向研究工作。E-mail: weixiangping2005@yahoo.com.cn。  
通讯作者: 于晓英(1968-), 女, 湖南绥宁人, 教授, 现从事观赏植物种质资源与生物技术方向研究工作。E-mail: yuxiaoying1578@hunau.net。  
基金项目: 湖南省教育厅资助项目(04C286)。  
收稿日期: 2009-01-27

害的程度增大,植物的净光合速率也随着酸雨的 pH 值的降低而降低。

图 1 是萱草 6 个材料在模拟酸雨胁迫下净光合速率变化情况。由图 1 可知,野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、

黄花菜和大花萱草净光合速率变化趋势随 pH 值的降低大致相似,在 pH 3.5 的模拟酸雨胁迫下,净光合速率下降到最低值,随后直线上升。金娃娃萱草和折叶萱草的净速率则明显低于前四者,这可能与两者植株叶片细短有关。

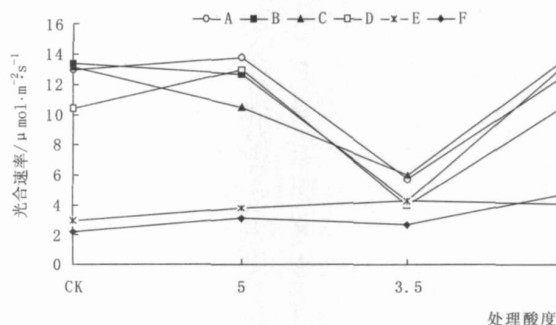


图 1 不同 pH 模拟酸雨处理下萱草净光合速率(Pn)变化

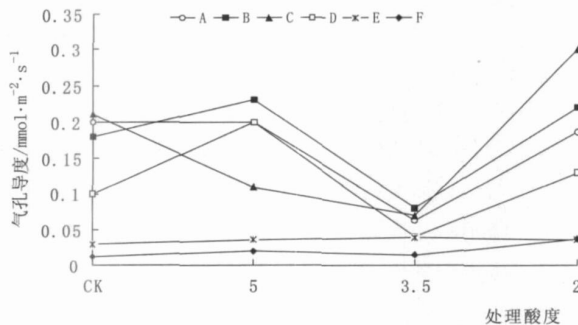


图 2 不同 pH 模拟酸雨处理对萱草气孔导度的影响

注 A. 野生重瓣萱草(*Hermercallis fulva* var. *florepleno*); B. 玫瑰红萱草(*Hermercallis fulva* var. *rosea*); C. 黄花菜(*Hermercallis citrina*); D. 大花萱草(*Hermercallis hybrida*); E. 金娃娃萱草(*Hermercallis fulva* 'Stella de Oro'); F. 折叶萱草(*Hermercallis plicata* Stapf), (图 2、3、4 同)。

## 2.2 酸雨胁迫对萱草气孔导度变化的影响

植物气孔不仅可以防止植物因蒸腾作用所引起的水分过分损失,确保植物获得足量的 CO<sub>2</sub> 气体进行光合作用,而且也是调控土壤-植被-大气连续体间同水分损失和碳素获取有关的物质和能量交换的关键环节<sup>[9]</sup>。

图 2 是萱草 6 个材料在模拟酸雨胁迫下气孔导度

的变化情况。图 2 所示,在 pH 5.0 处理下,气孔导度变化幅度最大的是黄花菜;在 pH 3.5 处理下野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、黄花菜和大花萱草 4 种萱草的气孔导度变化趋势基本一致;金娃娃萱草和折叶萱草气孔导度明显低于前四者。

## 2.3 酸雨胁迫对萱草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化的影响

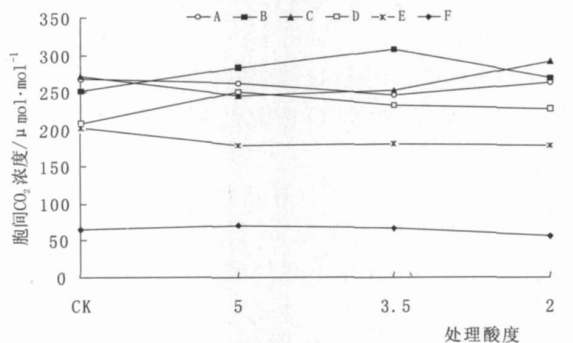


图 3 不同 pH 模拟酸雨处理对萱草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的影响

由图 3 中可以看出,随着 pH 值的降低,野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、黄花菜和大花萱草 4 种萱草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化平缓;而金娃娃萱草和折叶萱草胞间 CO<sub>2</sub> 浓度依然明显低于前四者。说明酸雨胁迫对萱草各品种的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度影响不大。

## 2.4 酸雨胁迫对萱草蒸腾速率变化的影响

蒸腾速率随天气状况、叶面积大小、土壤水分等因素的变化而变化,在一定程度上也反映了植物调节水分损失和对环境胁迫的适应能力。有试验结果表明,蒸腾速率随土壤水分的减少而呈降低趋势<sup>[9]</sup>。

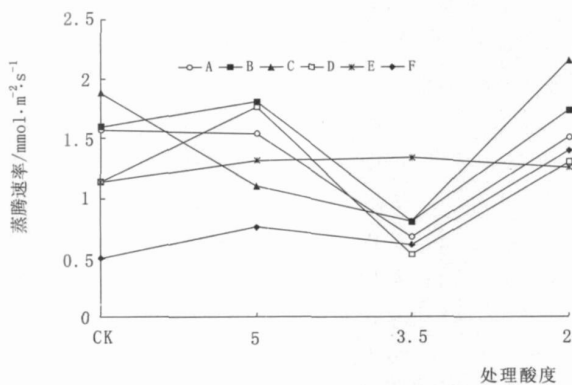


图 4 不同 pH 模拟酸雨处理对萱草蒸腾速率的影响

由图 4 可知,随着 pH 值的降低,黄花菜胁迫处理下蒸腾速率变化最为剧烈。野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、大花萱草和折叶萱草变化次之。金娃娃萱草蒸腾速率变化比较平缓。

## 2.5 6 个萱草品种抗酸能力的综合评价

植物的抗酸性是一个复杂性状,而隶属函数提供了一种在多指标测定基础上对材料抗酸性进行综合评价的途径,它可以克服仅利用少数指标对 1~2 个品种进行评价的不足,提高筛选抗酸品种的可靠性。通过综合评判,6 个供试品种的抗酸能力依次为野生重瓣萱草、玫

瑰红萱草、黄花菜、大花萱草、金娃娃萱草和折叶萱草。

表 1 6 个萱草属材料光合生理指标与抗酸性的综合评价

品种	净光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	综合评价结果	排序
黄花菜 ( <i>Hermercallis citrina</i> )	0.191	0.167	0.768	0.331	0.364	3
玫瑰红萱草 ( <i>Hermercallis fulva</i> var. <i>rosea</i> )	0.223	0.210	0.8	0.334	0.392	2
金娃娃萱草 ( <i>Hermercallis fulva</i> )	0.063	0.379	0.196	0.155	0.198	5
折叶萱草 ( <i>Hermercallis plicata</i> Stapf)	0.024	0.123	0.218	0.068	0.108	6
野生重瓣萱草 ( <i>Hermercallis fulva</i> var. <i>Florepleno</i> )	0.201	0.354	0.8	0.329	0.421	1
大花萱草 ( <i>Hermercallis hybrida</i> )	0.172	0.745	0.012	0.320	0.312	4

3 讨论

植物光合作用是一个极其复杂的生物物理和生物化学过程,受到许多环境因素的制约。6 种萱草材料在模拟酸雨不同 pH 值处理,下光合特性变化情况不完全一样。总体而言,随着 pH 值的降低,萱草各材料的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均呈下降后上升的趋势。而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度变化趋势不明显,刘遵春等人在对 3 个白菜品种抗水分胁迫的研究结果同样表明胞间 CO<sub>2</sub> 浓度无显著差异<sup>[10]</sup>。

试验结果表明,与对照相比, pH 3.5 的模拟酸雨明显降低了萱草的光补偿点、光饱和点。在模拟酸雨 pH 3.5 处理下,除了金娃娃萱草和折叶萱草,野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、黄花菜和大花萱草的光合特性发生剧烈变化,这与黄建昌等人<sup>[10]</sup>在酸雨对植物叶片急性伤害特征观察中的结果基本相似<sup>[10]</sup>,因此,模拟酸雨 pH 3.5 可作为萱草植物伤害阈值的参考。金娃娃萱草、折叶萱草植株矮小,叶片细短,与野生重瓣萱草、玫瑰红萱草、

黄花菜和大花萱草存在明显的品种差异,两者耐酸性较弱,在光合特性上也得到体现,在园林植物抗酸选育中考虑排除。运用隶属函数对 6 个品种的抗酸性进行综合评价,野生重瓣萱草和玫瑰红萱草在光合特性指标中表现优良,抗酸性较强,是理想的园林地被植物。

参考文献

[ 1 ] 谢媚.“九五”广州地区酸雨污染基本特征研究[ J ].环境科学研究,2002,15(1):31-33.  
[ 2 ] 蒋益民,曾光明,张龚,等.长沙市大气湿沉降化学及变化特征[ J ].城市环境与城市生态,2003,16(增刊):23-25.  
[ 3 ] 北京林业大学园林花卉教研组.花卉学[ M ].北京:中国林业出版社,1990:281-283.  
[ 4 ] 付晓萍,田大伦,黄智勇.模拟酸雨对植物形态学效应的影响[ J ].浙江林学院学报,2006,23(5):521-526.  
[ 5 ] 田大伦,罗勇,项文化,等.樟树幼树光合特性及其对 CO<sub>2</sub> 浓度和温度升高的响应[ J ].林业科学,2004,40(5):88-92.  
[ 6 ] 付晓萍,田大伦,闫文德,等.模拟酸雨对樟树光合日变化的影响[ J ].中南林学院学报,2006,26(6):38-43.  
[ 7 ] 李庆新,谢田,徐中际,等.酸雨对菠菜光合作用的影响[ J ].环保科技,1993,15(2):17-21.  
[ 8 ] 邱栋梁,刘星辉.模拟酸雨对龙眼叶绿体活性的影响[ J ].应用生态学报,2002,13(12):1559-1562.  
[ 9 ] 单长卷,田雪亮,吴雪平,等.干旱胁迫下冬小麦幼苗蒸腾速率及其影响因子研究[ J ].安徽农业科学,2006(9):23-26.  
[ 10 ] 刘遵春,包东娥,单长卷,等.水分胁迫下白菜光合特性和抗旱性关系的研究[ J ].西北农业学报,2008,17(3):263-266.  
[ 11 ] 王玉辉,周广胜.羊草叶片气孔导度对环境因子的响应模拟[ J ].植物生态学报,2000,24(6):739-743.  
[ 12 ] 邱栋梁.模拟酸雨对荔枝叶片膜透性的影响[ J ].福建农业大学学报,2001(1):33-35.  
[ 13 ] 杨振德,陈锐亮,程玉兰,等.几种园林树种对酸雨抗性的研究[ J ].广西科学院学报,1998,14(3):28-31.  
[ 14 ] 黄继山,温文保,简万煌,等.酸雨对树木叶细胞伤害的模拟研究[ J ].林业科学研究,2002,15(2):219-224.  
[ 15 ] 黄建昌,肖艳,张运新,等.模拟酸雨对芒果的生理伤害和生长研究[ J ].热带作物学报,2003,24(1):28-30.

Effect of Simulated Acid Rain on Photosynthetic Characteristics in *Hermercallis*

WEI Xiang-ping, YU Xiao-ying, XIONG Xuan, HOU Zhi-yong, XIE Rong, HONG Xiao-xiao  
(College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128, China)

**Abstract:** Through the artificial sprinkling method, impact of simulated acid rain with various pH values (2.0, 3.5, 5.0, 6.5) on photosynthetic system was studied. The photosynthetic characteristics of live mature leaves in *Hermercallis* plants were determined with the LI-6400 portable photosynthesis system, on the basis of the relationship between photosynthesis and acid-fast indicator, the comprehensive evaluation of the six *Hermercallis* handled by subordinate function method. The results showed that: The light compensation point and saturation point of *Hermercallis* fell down under pH 3.5. With the strong acid rain stress in pH 3.5~2.0, six *Hermercallis* species materials were seriously injured, but there were differences between the materials, the extent of their injuries were *Hermercallis fulva* var. *Florepleno* < *Hermercallis fulva* var. *rosea* < *Hermercallis citrine* < *Hermercallis hybrida* < *Hermercallis fulva* < *Hermercallis plicata* Stapf.

**Key words:** *Hermercallis*; Simulated acid rain; Photosynthetic characteristics; Net photosynthetic rate; Transpiration rate