

## 遮光对 3 种地被植物生长和生理生化的影响

徐召丹, 林夏珍, 蒋 挺

(浙江林学院 园林学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 对花叶玉簪甜心 *Hosta × hybrida* ‘So Sweet’, 花叶蜘蛛抱蛋 *Aspidistra elatior* ‘Punctata’ 和白穗花 *Speirantha gardenii* 等 3 种地被植物进行不同程度遮光处理, 研究了遮光条件下 3 种植物形态指标、叶片叶绿素质量分数、丙二醛 (MDA) 质量摩尔浓度和保护酶活性的变化。结果表明: 在遮光处理下, 3 种植物形态指标都显著高于对照 (全光照), 花叶玉簪甜心在遮光 75% 下达到最大值, 花叶蜘蛛抱蛋和白穗花在遮光 90% 下达到最大值。3 种植物叶片叶绿素 a、叶绿素 b 质量分数均较对照显著升高, 以白穗花的增幅最大。叶绿素 a/b 比值显著下降, 以白穗花的降幅最大。3 种植物丙二醛质量摩尔浓度变化呈先下降后上升的趋势, 但均显著低于对照; 3 种植物的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性均显著低于对照, 花叶玉簪甜心叶片的 SOD 活性先下降后上升, 花叶蜘蛛抱蛋和白穗花叶片的 SOD 活性呈缓慢下降的趋势; 花叶玉簪甜心和花叶蜘蛛抱蛋过氧化物酶 (POD) 活性变化均为先下降后上升, 白穗花叶片的 POD 活性在遮光 50% 时下降, 而到遮光 75% 时又明显上升, 后又下降。通过隶属函数法综合分析可知, 3 种地被植物的耐荫性由强到弱为: 白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋 > 花叶玉簪甜心。图 3 表 3 参 22

**关键词:** 森林生物学; 地被植物; 遮光; 形态指标; 生理生化指标; 隶属函数法

中图分类号: Q945; S718.3

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2010)01-0069-07

## Shading with growth, physiological indexes, biochemical indexes of three ground-cover plants

XU Zhao-dan, LIN Xia-zhen, JIANG Ting

(School of Landscape Architecture, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Changes in morphological indexes, chlorophyll mass fraction, malondialdehyde (MDA) molal concentration and protective enzyme activities of *Hosta × hybrida* ‘So Sweet’, *Aspidistra elatior* ‘Punctata’, *Speirantha gardenii* with shading treatments of 50%, 75%, 90% and a control of 0% were studied using the subordination function method. Results showed that the morphological indexes of the three plants were significantly higher ( $P < 0.05$ ) than the control. Indexes of *H. × hybrida* ‘So Sweet’ were greatest with 75% shading, but the indexes of *A. elatior* ‘Punctata’ and *S. gardenii* were largest with 90% shading. The mass fraction of chlorophyll a (Chl a) and chlorophyll b (Chl b) for shading treatments were significantly higher ( $P < 0.05$ ) than the control and the increased range of *S. gardenii* was biggest. Chl a/Chl b was significantly lower ( $P < 0.05$ ) than the control and the decreased range of *S. gardenii* was biggest. Malondialdehyde (MDA) molal concentration was significantly lower ( $P < 0.05$ ) with shading treatments than the control. The changes of superoxide dismutase (SOD) activities of *H. × hybrida* ‘So Sweet’ decreased first and then increased, while those of *A. elatior* ‘Punctata’ and *S. gardenii* gradually decreased. With increased shading, changes in peroxidase (POD) activities of *H. × hybrida* ‘So Sweet’ and *A. elatior* ‘Punctata’ decreased to a certain degree and then increased. POD activities of *S. gardenii* decreased with 50% shading,

收稿日期: 2008-12-11; 修回日期: 2009-05-12

基金项目: 国家星火计划项目 (2007EA700003)

作者简介: 徐召丹, 从事园林植物资源研究与开发。E-mail: yingzi0724@126.com。通信作者: 林夏珍, 副教授, 博士, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: linxz100@hotmail.com

but increased with 75% shading and then decreased. According to the subordination function method, shade tolerance of the three plants was in the order: *Speirantha gardenii* > *Aspidistra elatior* 'Punctata' > *Hosta × hybrida* 'So Sweet'. [Ch, 3 fig. 3 tab. 22 ref.]

**Key words:** forest biology; ground-cover plants; shading; morphological indexes; physiological and biochemical indexes; subordination function method

在园林植物造景中, 50%以上园林绿地都被高层建筑遮挡<sup>[1]</sup>, 终年不能接受太阳直射光; 复层结构植物群落下层的光照范围多为直射光的 10% ~ 60%; 室内环境的光照范围在直射光的 3% ~ 25%<sup>[2]</sup>, 因此, 耐荫植物的筛选和应用在城市绿化中日益受到重视。不同的光照强度和光照时数会使园林植物产生生理、形态、解剖和营养上的一系列变化, 因而研究园林植物在遮光条件下生长及生理方面的变化有着重要的现实意义。目前, 国内有关园林植物的耐荫性研究主要集中在形态指标<sup>[3-4]</sup>、生长量<sup>[5-6]</sup>、解剖结构<sup>[7-8]</sup>、光合特性以及叶绿素荧光参数<sup>[9-10]</sup>等方面, 对植物抗氧化系统适应性方面了解较少。花叶玉簪甜心 *Hosta × hybrida* 'So Sweet', 花叶蜘蛛抱蛋 *Aspidistra elatior* 'Punctata' 和白穗花 *Speirantha gardenii* 均为百合科 Liliaceae 多年生草本植物, 是近几年新兴的园林绿化植物。这 3 种植物生长强健, 植株清秀, 叶色鲜艳, 花叶共赏, 耐荫性强, 既可成片种植在林下, 也可盆栽供室内观赏, 具有广泛的园林应用前景<sup>[11]</sup>。本研究对不同遮光条件下 3 种植物形态指标、叶绿素质量分数、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度及保护酶活性进行了研究, 旨在了解不同光强下 3 种植物叶片生理化的变化, 探讨光照条件对 3 种植物生长的影响。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与处理方法

实验材料来源于杭州蓝天园林种苗有限公司中泰苗圃。在 2008 年 3 月选取长势一致的植株上盆, 盆的规格为 24 cm × 24 cm, 盆土为园土: 泥炭: 珍珠岩 = 3: 1: 1 (体积比), 3 株·盆<sup>-1</sup>, 并在浙江林学院苗圃地缓苗 2 个月, 水肥管理一致, 5 月上旬开始遮光处理。

遮光处理方法为: 用竹子搭建 2 m 高的荫棚, 分别固定 1, 2, 3 层 50% 遮阳网, 遮阳网四周底线离地面 30 cm, 便于通风。在不同光强下用 ZDS-10 型自动换挡数字式照度计(上海市嘉定学联仪表厂生产)测得遮阳梯度分别为: 50%(1 层遮阳网)、75%(2 层遮阳网)、90%(3 层遮阳网), 并以 0%(全光照)作为对照。单因子随机区组设计, 各个处理小区均 5 盆试验材料, 为避免相互遮光, 设置 1 m 的区间距, 重复 3 次, 共计 12 个小区。遮光 4 个月后开始各项指标的测定。

### 1.2 测定方法

用直尺测量植株叶片长度和宽度、叶柄长度, 统计叶片数量, 观测株形、叶片色泽、整体观赏效果及病虫害情况。叶绿素测定采用丙酮-乙醇混合液法。丙二醛测定采用硫代巴比妥酸法。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)还原法; 过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法。

### 1.3 数据统计与处理方法

采用 Excel 和 DPS 统计软件进行数据分析和处理, 用模糊数学中的隶属函数法<sup>[12]</sup>综合评价 3 种植物的耐荫性。

## 2 结果与分析

### 2.1 遮光对生长发育的影响

表 1 表明, 遮光条件下, 3 种植物的叶片长度、宽度、叶柄长度和叶片数量都有不同程度增加, 与对照差异显著。其中花叶玉簪甜心在 75% 遮光条件下形态指标达到最大值, 说明 75% 遮光条件最有利于花叶玉簪的生长。花叶蜘蛛抱蛋和白穗花的形态指标与遮光度成正相关关系, 随着遮光强度加强, 各项指标也升高, 但遮光 75% 和 90% 条件下差异不显著。

表 1 遮光对 3 种地被植物形态指标的影响

Table 1 Effects of shading treatment on morphological indexes of three ground-cover plants

植物名	遮光处理/%	叶片长度/cm	叶片宽度/cm	叶柄长度/cm	叶片数/片
花叶玉簪甜心	0	14.27 ± 0.49 dD	2.83 ± 0.23 cC	5.91 ± 0.71 dD	23.3 ± 4.2 cA
	50	23.37 ± 2.01 cC	4.71 ± 0.33 bB	12.92 ± 1.38 cC	25.4 ± 4.2 bcAB
	75	28.75 ± 1.59 bB	6.30 ± 0.50 aA	17.30 ± 1.01 bB	29.7 ± 2.1 bB
	90	25.24 ± 1.76 aA	6.26 ± 0.70 aA	14.83 ± 1.92 cA	26.6 ± 4.1 aB
花叶蜘蛛抱蛋	0	60.28 ± 4.29 bB	10.46 ± 1.58 aA	20.92 ± 2.59 bB	3.2 ± 0.4 cC
	50	68.15 ± 6.74 aAB	11.40 ± 1.61 aA	22.89 ± 4.49 abAB	4.4 ± 0.6 bB
	75	68.97 ± 9.43 aA	11.79 ± 1.48 abA	23.16 ± 4.44 abAB	5.1 ± 0.81 aAB
	90	72.91 ± 11.03 aA	12.01 ± 2.04 bA	25.13 ± 4.17 aA	5.5 ± 0.8 aA
白穗花	0	11.51 ± 0.54 cC	3.69 ± 0.61 bB	0.51 ± 0.08 aA	4.3 ± 0.5 dD
	50	14.83 ± 1.28 bB	3.71 ± 0.36 bB	1.29 ± 0.16 bB	5.7 ± 0.5cC
	75	19.43 ± 2.21 aA	3.88 ± 0.65 bAB	1.67 ± 0.12 cC	6.5 ± 0.5 bB
	90	20.34 ± 1.81 aA	4.27 ± 0.40 aA	2.38 ± 0.15 dD	7.5 ± 0.5 aA

说明：同一种植物同一列内不同大写字母为差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ )，不同小写字母为差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 遮光对观赏特性的影响

试验 4 个月时，由于气温过高，光照强烈，对照处理的花叶蜘蛛抱蛋和白穗花分别出现不同程度的干枯现象，白穗花甚至出现试验材料死亡现象，感官效果极差。而花叶玉簪甜心叶片变小，叶缘乳黄色变浅，植株变矮，观赏性明显降低。在遮光条件下，3 种植物叶色变绿，植株变丰满，观赏效果明显提高。其中花叶玉簪甜心在 75% 遮光条件下长势最好，观赏效果最佳。花叶蜘蛛抱蛋和白穗花在 90% 遮光条件下叶色浓绿，观赏性最好，说明这 2 种植物适宜在极荫蔽的环境下生长。

## 2.3 遮光对叶片叶绿素影响

遮光处理后，3 种植物叶片叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素质量分数均较对照极显著升高(表 2)。3 种植物总叶绿素质量分数的增幅由大到小为：白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋 > 花叶玉簪甜心，说明遮光对白穗花叶片总叶绿素质量分数变化的影响最大。表 2 还显示，3 种植物叶片总叶绿素质量分数与遮光度呈正比关系，随着遮光度的增加，总叶绿素质量分数升高，3 种植物均在 90% 遮光处理下达到最高值。

遮光后，3 种植物叶片的叶绿素 a/b 呈下降趋势，且与对照差异显著(除花叶玉簪甜心叶片在 50% 遮光处理下与对照差异不显著)。遮光条件下，叶片的叶绿素 a/b 始终是花叶玉簪甜心 > 白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋。在 50%、75% 和 90% 遮光条件下，花叶玉簪甜心叶片的叶绿素 a/b 比对照分别降低了 2%、5%、13%，花叶蜘蛛抱蛋叶片的叶绿素 a/b 比对照分别降低了 4%、14%、37%，白穗花叶片的叶绿素 a/b 比对照分别降低了 21%、36%、43%，3 种植物叶绿素 a/b 的降幅由大到小为：白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋 > 花叶玉簪甜心。

## 2.4 遮光对叶片丙二醛质量摩尔浓度的影响

从图 1 得知，随着遮光度增大，3 种植物叶片的丙二醛质量摩尔浓度变化呈相同趋势，都表现为先下降后上升，但遮光后 3 种植物叶片的丙二醛质量摩尔浓度均显著低于对照在 75% 遮光处理下，3 种植物叶片丙二醛质量摩尔浓度达到最低点，花叶玉簪甜心，花叶蜘蛛抱蛋和白穗花分别比对照降低了 37%、76% 和 45%。白穗花叶片的丙二醛质量摩尔浓度始终大于花叶玉簪甜心和花叶蜘蛛抱蛋。方差分析显示，在遮光 75% 和 90% 处理下，花叶玉簪甜心和白穗花叶片丙二醛质量摩尔浓度差异不显著，但 2 种植物与对照和遮光 50% 处理的差异达到极显著水平；而花叶蜘蛛抱蛋则在遮光 50% 和

表2 遮光对3种地被植物叶片叶绿素质量分数的影响

Table 2 Effects of shading treatment on the photosynthesis pigment of leaves of three ground-cover plants

植物名	遮光处理/%	叶绿素 a/(mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素 b/(mg·g <sup>-1</sup> )	总叶绿素/(mg·g <sup>-1</sup> )	叶绿素 a/b
花叶玉簪甜心	0	0.818 ± 0.012 dD	0.359 ± 0.006 dD	1.177 ± 0.013 dD	2.277 ± 0.035 aA
	50	0.900 ± 0.002 cC	0.405 ± 0.077 cC	1.304 ± 0.003 cC	2.224 ± 0.031 aAB
	75	1.168 ± 0.006 bB	0.541 ± 0.111 bB	1.709 ± 0.011 bB	2.156 ± 0.016 bB
	90	1.304 ± 0.020 aA	0.661 ± 0.059 aA	1.966 ± 0.041 aA	1.972 ± 0.038 cC
花叶蜘蛛抱蛋	0	1.053 ± 0.040 dD	0.589 ± 0.017 dD	1.641 ± 0.059 dD	1.788 ± 0.011 aA
	50	1.443 ± 0.018 cC	0.840 ± 0.019 cC	2.282 ± 0.033 cC	1.719 ± 0.034 bA
	75	1.611 ± 0.011 bB	1.051 ± 0.020 bB	2.662 ± 0.018 bB	1.532 ± 0.009 cB
	90	1.774 ± 0.011 aA	1.572 ± 0.009 aA	3.347 ± 0.093 aA	1.131 ± 0.053 dC
白穗花	0	0.648 ± 0.008 dD	0.255 ± 0.013 dD	0.903 ± 0.021 aA	2.547 ± 0.095 dD
	50	1.151 ± 0.087 cC	0.572 ± 0.033 cC	1.724 ± 0.112 bB	2.012 ± 0.108 cC
	75	1.667 ± 0.010 bB	1.024 ± 0.035 bB	2.691 ± 0.035 cC	1.629 ± 0.058 bB
	90	1.689 ± 0.007 aA	1.170 ± 0.035 aA	2.859 ± 0.042 dC	1.445 ± 0.038 aA

说明：同一种植物同一列内不同大写字母为差异达极显著水平 ( $P < 0.01$ )，不同小写字母为差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

75%处理下叶片丙二醛质量摩尔浓度差异不显著，但与对照及遮光90%相比差异极显著。不同遮光处理下，花叶玉簪甜心叶片的丙二醛质量摩尔浓度变化幅度最小。

## 2.5 遮光对叶片 SOD 活性的影响

从图2看出，遮光条件下，3种植物的SOD活性均显著低于对照，说明全光照环境对3种植物的生长构成了胁迫，刺激了SOD活性的表达。随着遮光度的增大，花叶玉簪叶片的SOD活性先下降后上升，在50%遮光下达到最低值，为3.553  $\mu\text{kat}\cdot\text{g}^{-1}$ ，比对照降低了42%。花叶蜘蛛抱蛋和白穗花叶片的SOD活性呈缓慢下降的趋势，在遮光50%，75%和90%处理下，花叶蜘蛛抱蛋和白穗花叶片的SOD活性分别比对照下降了6%，22%，31%和4%，15%，33%。花叶玉簪在90%遮光下叶片SOD活性与对照差异不显著，但50%和75%遮光下，SOD活性与对照差异极显著。花叶蜘蛛抱蛋和白穗花在50%遮光下，SOD活性与对照差异不显著，但75%和90%遮光下，SOD活性与对照差异显著。不同处理下，白穗花叶片的SOD活性始终大于花叶玉簪甜心和花叶蜘蛛抱蛋。

## 2.6 遮光对叶片 POD 活性的影响

图3表明，花叶玉簪甜心叶片的POD活性始终大于花叶蜘蛛抱蛋和白穗花。遮光处理后，花叶玉簪甜心和花叶蜘蛛抱蛋叶片的POD活性变化均为先下降后上升，在50%遮光处理下达到最低值，分别为184.179和61.828  $\mu\text{kat}\cdot\text{g}^{-1}$ ，分别比对照降低了30%和57%。白穗花叶片的POD活性不稳定，出现较大波动，其活性在50%遮光时下降，而到75%遮光时又明显上升，后又下降。遮光处理后，花叶玉簪甜心和白穗花叶片的POD活性显著低于对照，花叶玉簪甜心叶片POD活性在50%和75%遮光2个处理之间差异不显著；花叶蜘蛛抱蛋在90%遮光处理下与对照差异不显著，但50%和75%遮光条件下与对照差异显著。

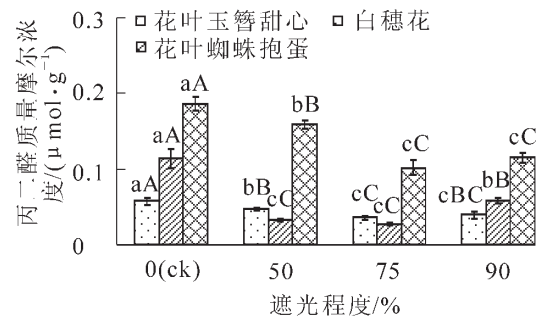


图1 遮光对3种地被植物叶片丙二醛质量摩尔浓度的影响

Figure 1 Effect of shading on MDA concentration of the leaves of three ground-cover plants



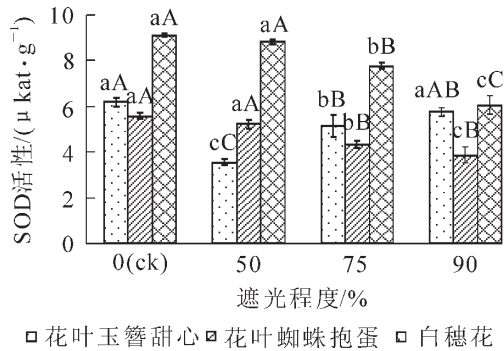


图 2 遮光对 3 种地被植物叶片 SOD 活性的影响

Figure 2 Effect of shading on SOD activities of the leaves of three ground-cover plants

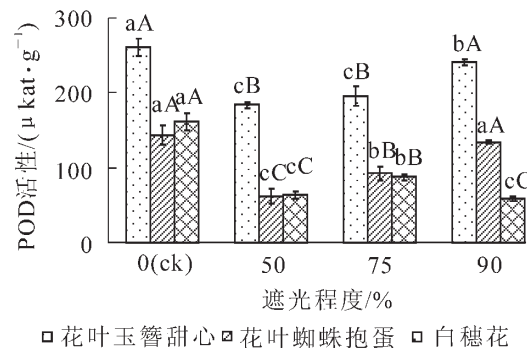


图 3 遮光对 3 种地被植物叶片 POD 活性影响

Figure 3 Effect of shading on POD activities of the leaves of three ground-cover plants

## 2.7 3 种地被植物耐荫性综合评价

植物耐荫性强弱与多种因素有关，因而以某一项指标评价其耐荫性虽有一定相关性，但不能反应整体生理生态机制，而对每一个指标，又不能等量齐观。为此，本试验采用模糊数学中的隶属函数法<sup>[12]</sup>，对 3 种供试材料的生理生化指标进行综合评定，求取隶属平均值，进行种间比较，以评定 3 种植物的耐荫性。对已测各指标用下式求出各种、指标的具体函数值：

$$X_{ij} = (x_{ij} - x_{j\min}) / (x_{j\max} - x_{j\min}); \quad (1)$$

$$X_{ij} = (x_{j\max} - x_{ij}) / (x_{j\max} - x_{j\min}). \quad (2)$$

式中， $X_{ij}$  为  $i$  植物  $j$  指标的隶属函数值， $x_{ij}$  为  $i$  植物的  $j$  性状值， $x_{j\min}$  为各种  $j$  性状的最小值， $x_{j\max}$  为各种  $j$  性状的最大值。当  $j$  性状与植物的耐荫性成正相关时用(1)式，当  $j$  性状与植物的耐荫性成负相关时用(2)式，结果详见表 2。通过隶属函数法综合分析可知，3 种地被植物的耐荫性由强到弱为：白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋 > 花叶玉簪甜心。

表 3 3 种地被植物耐荫性综合评价

Table 3 Comprehensive appraisal of shading tolerance of three ground-cover plants

植物名	叶片长度	叶片宽度	叶柄长度	叶片数量	总叶绿素	叶绿素 a/b	丙二醛	SOD 活性	POD 活性	平均隶属值	耐荫力排序
花叶玉簪甜心	0.093	0.262	0.547	1.000	0.000	0.000	0.000	0.863	0.000	0.307	3
花叶蜘蛛抱蛋	1.000	1.000	1.000	0.000	0.247	0.782	0.250	0.000	0.583	0.540	2
白穗花	0.000	0.000	0.000	0.080	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.564	1

## 3 结论和讨论

植物生长的状况与其所处的光环境密切相关。随着光照强度的降低，植物从生长上会产生一定的适应性，特别是作为进行光合作用的主要器官叶片，会随光强的减弱发生明显变化，主要表现为随着相对照度的降低，平均单叶面积的相应增加。3 种植物在遮光条件下叶片长度、宽度以及叶柄长度都不同程度增加，说明在荫蔽环境下，植物通过形态和生长调节，如增加植株高度、扩大叶片面积等主动适应环境。3 种植物在遮光条件下的叶片数量显著多于对照，生物量明显增加，说明 3 种植物适宜在荫蔽环境下生长。

叶片中叶绿素质量分数是维持观叶植物正常光合作用以及叶片色泽、彩化度的主要指标，它既取决于立地条件，又取决于植物的特性。遮光环境下，3 种植物叶片叶绿素质量分数均较对照极显著升高，说明在遮光条件下，叶片更绿，因而相应其观赏品质也有所提高；同时，色素含量的提高可明显增强光系统对低密度光量子的吸收、传递和转化能力<sup>[13]</sup>，这与半夏 *Pinellia ternate*<sup>[14]</sup>，异株荨麻 *Urtica dioica*<sup>[15]</sup>，丰香草莓 *Fragaria ananassa* ‘Toyonoka’<sup>[16]</sup> 等多种植物的研究结果一致。遮光后，3 种植物叶

片的叶绿素 a/b 显著降低, 极大地提高了利用蓝紫光的能力, 其中以白穗花的叶绿素 a/b 最低且降幅最大, 说明白穗花在弱光环境下形成更多的集光色素以适应荫蔽环境。

许多研究证实, 植物在逆境条件下, 细胞内的活性氧代谢会失调, 细胞会产生过量的自由基, 引发膜脂过氧化作用, 破坏膜的结构, 积累许多有害的过氧化物, 造成膜的损伤<sup>[17-21]</sup>。试验结果表明, 全光照下 3 种植物叶片的丙二醛质量摩尔浓度均显著高于遮光处理, 说明 3 种植物在全光照的环境遭受到了不同程度的逆境胁迫, 发生了较严重的膜脂过氧化作用。在全光照下, 3 种植物叶片丙二醛质量摩尔浓度由高到低排列为白穗花 > 花叶蜘蛛抱蛋 > 花叶玉簪甜心, 说明白穗花生长受强光影响最大, 花叶玉簪甜心最小, 这与形态观察结果吻合: 在全光照下, 白穗花生长不良, 植株叶片逐渐变黄甚至死亡, 花叶蜘蛛抱蛋出现叶尖和叶缘变焦现象, 而花叶玉簪甜心除叶片变小, 叶色变淡, 叶缘乳黄色变浅, 植物矮化, 观赏价值降低外, 长势良好。花叶玉簪甜心叶片丙二醛变幅最小, 可能是因为花叶玉簪甜心对光环境的适应范围更大。

植物细胞中存在着清除活性氧的保护酶系, 如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等, 当植物遇到逆境时, 体内会动员大量的抗氧化系统的保护酶。本试验表明, 遮光条件下, 3 种植物叶片 SOD 和 POD 活性基本趋势一致。全光照环境下, 3 种植物 SOD 和 POD 活性均高于遮光处理, 说明为防御活性氧的毒害, 植物体内的 SOD 和 POD 等保护酶活性提高。遮光处理后, 3 种植物叶片的 SOD 和 POD 活性下降, 说明弱光降低了植物叶片保护酶系统的活性, 这与孟祥海等<sup>[14]</sup>和周兴元等<sup>[22]</sup>的研究结果一致, 3 种植物叶片保护酶活性变化与膜脂过氧化水平基本一致, 这意味着在抗氧化酶系统的作用下, 植物体内的自由基产生与清除保持着一个平衡的过程。

#### 参考文献:

- [1] 白伟岚, 任建武, 高永伟. 园林植物的耐荫性研究[J]. 林业科技通讯, 1999 (2): 12 - 15.  
BAI Weilan, REN Jianwu, GAO Yongwei. Study on shade-tolerance of garden plants [J]. *For Sci Technol*, 1999 (2): 12 - 15.
- [2] 蔡仕珍. 花叶细辛等 4 种野生观赏植物耐荫性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005.  
CAI Shizhen. *Study on Shading-tolerance of Four Native Ornamental Plant Including Asarum splendens etc.* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2005.
- [3] 范燕萍, 余让才, 郭志华. 遮荫对匙叶天南星生长及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 1998, 25 (3): 270 - 274.  
FAN Yanping, YU Rangcai, GUO Zhihua. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics in *Spathiphyllum palls* [J]. *Acta Horti Sin*, 1998, 25 (3): 270 - 274.
- [4] 潘远智, 江明艳. 遮荫对盆栽一品红光合特性及生长的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33 (1): 95 - 100.  
PAN Yuanzhi, JIANG Mingyan. Effects of shade on the photosynthetic characteristics and growth of poinsettia [J]. *Acta Horti Sin*, 2006, 33 (1): 95 - 100.
- [5] 施爱萍, 张金政, 张启翔, 等. 不同遮荫水平下 4 个玉簪品种的生长性状分析[J]. 植物研究, 2004, 24 (4): 486 - 490.  
SHI Aiping, ZHANG Jinzheng, ZHANG Qixiang, et al. Growth characteristic analyse of shading levels on four *Hosta* cultivars [J]. *Bull Bot Res*, 2004, 24 (4): 486 - 490.
- [6] 王晓玲, 石雷, 孙吉雄, 等. 遮荫对山麦冬生长特性和生物量分配的影响[J]. 植物研究, 2006, 26 (2): 225 - 229.  
WANG Xiaoling, SHI Lei, SUN Jixiong, et al. Effect of shading on growth characteristics and biomass distribution of *Liriope spicata* (Thunb.) Lour. [J]. *Bull Bot Res*, 2006, 26 (2): 225 - 229.
- [7] 陈国菊, 刘厚诚, 杨瑞陶, 等. 遮荫对大花山牵牛和桂叶老鸦嘴生长及叶片组织结构的影响[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22 (3): 56 - 60.  
CHEN Guoju, LIU Houcheng, YANG Ruitao, et al. Effects of shading on growth and leaf microstructure of *Thunbergia grandiflora* (Rottl. et Willd.) Roxb. and *T. Laurifolia* Lindl. [J]. *J South China Agric Univ*, 2001, 22 (3): 56 - 60.
- [8] 郝日明, 李晓征, 胡金良. 遮荫处理下多脉青冈和金叶含笑叶解剖结构变化研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25 (6): 1083 - 1088.  
HAO Riming, LI Xiaozheng, HU Jinliang. Leaf structural change of *Cyclobalanopsis multinervis* and *Michelia foveolata* after shaded treatment [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2005, 25 (6): 1083 - 1088.

- [9] 蔡仕珍, 陈其兵, 潘远智, 等. 遮光对花叶细辛光合特性和荧光参数的影响[J]. 四川农业大学学报, 2004, **22** (4): 326 – 331.  
CAI Shizhen, CHEN Qibing, PAN Yuanzhi, *et al.* Effects of photosynthetic characters and chlorophyll II fluorescence parameters on *Asarum splendens* under different sun-shading treatments[J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2004, **22** (4): 326 – 331.
- [10] 缴丽莉, 路冰社, 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.  
JIAO Lili, LU Bingshe, ZHOU Rujiu, *et al.* Effects of shading on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of leaf in david maple (*Acer davidii* Franch.) [J]. *Acta Horti Sin*, 2007, **34** (1): 173 – 177.
- [11] 吴玲. 地被植物与景观[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [12] 陈荣敏, 杨学举, 梁凤山, 等. 利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J]. 河北农业大学学报, 2002, **25** (2): 7 – 9.  
CHEN Rongmin, YANG Xueju, LIANG Fengshan, *et al.* Comprehensive evaluation on wheat drought-resistance traits by subordinate function values analysis [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2002, **25** (2): 7 – 9.
- [13] 李伟, 黄金丽, 睦晓蕾, 等. 黄瓜幼苗光合及荧光特性对弱光的响应[J]. 园艺学报, 2008, **35** (1): 119 – 122.  
LI Wei, HUANG Jinli, SUI Xiaolei, *et al.* Effects of low light on photosynthetic and fluorescent characteristics of seedlings of *Cucumis sativus* [J]. *Acta Horti Sin*, 2008, **35** (1): 119 – 122.
- [14] 孟祥海, 张跃进, 皮莉, 等. 遮荫对半夏叶片叶绿素与保护酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2007, **27** (6): 1167 – 1171.  
MENG Xianghai, ZHANG Yuejin, PI Li, *et al.* Effect of shading on the photosynthetic pigment and protective enzyme activities in *Pinellia ternate* leaves [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2007, **27** (6): 1167 – 1171.
- [15] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, **27** (8): 3457 – 3464.  
LIU Yueqiu, SUN Xiangyang, WANG Yong, *et al.* Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll II fluorescence parameters of *Urtica dioica* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27** (8): 3457 – 3464.
- [16] 刘卫琴, 汪良驹, 刘晖, 等. 遮荫对丰香草莓光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 果树学报, 2006, **23** (2): 209 – 213.  
LIU Weiqin, WANG Liangju, LIU Hui *et al.* Effects of shading on photosynthesis and chlorophyll II fluorescence characteristics of Toyonoka strawberry cultivar [J]. *J Fruit Sci*, 2006, **23** (2): 209 – 213.
- [17] MENCONI M, SGHERRI C L M, PINZINO C, *et al.* Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme [J]. *J Exp Bot*, 1995, **46**: 1123 – 1130.
- [18] 赵则海, 陈雄伟. 遮荫处理对 4 种草本植物生理生化特性的影响[J]. 生态环境, 2007, **16** (3): 931 – 934.  
ZHAO Zehai, CHEN Xiongwei. Effects of shading treatments on physiological and biochemical characteristics of four species of herbaceous plants [J]. *Ecol Environ*, 2007, **16** (3): 931 – 934.
- [19] 莫键彬, 陈必胜, 黄梅, 等. 高温对玉簪品种部分生理指标的影响研究[J]. 种子, 2007, **26** (5): 48 – 51.  
MO Jianbin, CHEN Bishen, HUANG Mei, *et al.* Study on effects of the high temperature on cultivars of *Hosta* [J]. *Seed*, 2007, **26** (5): 48 – 51.
- [20] 马丽清, 韩振海, 周二峰, 等. 盐胁迫对珠美海棠和山定子膜保护酶系统的影响[J]. 果树学报, 2006, **23** (4): 495 – 499.  
MA Liqing, HAN Zhenhai, ZHOU Er'feng, *et al.* Effect of salt stress on protective enzyme system of membrane in *Malus zumi* and *M. baccata* [J]. *J Fruit Sci*, 2006, **23** (4): 495 – 499.
- [21] 陈柯, 王小德. 常春油麻藤等 3 种藤本植物抗旱性生理指标研究[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (3): 314 – 318.  
CHEN Ke, WANG Xiaode. Physiological indices of three liana species (*Mucuna sempervirens*, *Hedera nepalensis* var. *sinensis* and *Euonymus fortunei*) with drought resistance [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (3): 314 – 318.
- [22] 周兴元, 曹福亮. 遮荫对假俭草抗氧化酶系统及光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, **30** (3): 32 – 36.  
ZHOU Xingyuan, CAO Fuliang. Effects of shading on the antioxidant enzymatic system and photosynthesis of centipede grass [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2006, **30** (3): 32 – 36.