

# 深圳市百合科地被植物应用现状及水分适应性研究

许建新<sup>1</sup>, 王莺璇<sup>2</sup>, 钱塘璜<sup>1</sup>, 雷江丽<sup>3\*</sup>

(1. 深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东 深圳 518040; 2. 广东环境保护工程职业学院, 广东 佛山 528216; 3. 深圳市中国科学院仙湖植物园, 南亚热带植物多样性重点实验室, 广东 深圳 518004)

**摘要:** 为探讨在满足园林观赏性前提下植物的节水灌溉量, 通过盆栽控水试验, 比较了麦冬(*Ophiopogon japonicus*)、银边山菅兰(*Dianella ensifolia* ‘Silvery Stripe’)、蜘蛛抱蛋(*Aspidistra elatior*)、天门冬(*Asparagus cochinchinensis*)等4种百合科植物在不同水分条件下植株的生长和光合指标的变化。结果表明, 在土壤相对含水量为60%~65% (适宜水分)下, 4种百合科地被植物均长势旺盛。麦冬、银边山菅兰、天门冬在土壤含水量为40%~45% (中度胁迫)时, 仍可保持较好的观赏性。蜘蛛抱蛋耐旱性较强, 可在20%~25% (重度胁迫)的土壤相对含水量下生长良好。这对百合科园林地被植物水分管理具有指导意义。

**关键词:** 百合科; 地被植物; 植物应用; 水分适应性

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.005

## Studies on the Application and Water Adaptability of Ground Cover Plants of Liliaceae in Shenzhen

XU Jian-xin<sup>1</sup>, WANG Ying-xuan<sup>2</sup>, QIAN Tang-huang<sup>1</sup>, LEI Jiang-li<sup>3\*</sup>

(1. Shenzhen Teehand Ecology & Environment CO., LTD., Shenzhen 518040, Guangdong, China; 2. Guangdong Vocational College of Environmental Protection Engineering, Foshan 528216, Guangdong, China; 3. Key Laboratory of Subtropical Plants Diversity, Fairy Lake Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences and Shenzhen, Shenzhen 518004, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to understand the water-saving irrigation quantity in Shenzhen, the growth and photosynthetic characters of four Liliaceae ground cover plants, such as *Ophiopogon japonicus*, *Dianella ensifolia* ‘Silvery Stripe’, *Aspidistra elatior* and *Asparagus cochinchinensis*, were studied under different relative soil water contents by potted water control method. The results showed that all of four ground cover plants grown strongly under relative soil water content of 60% to 65%. *Ophiopogon japonicus*, *Dianella ensifolia* cv. ‘Silvery Stripe’ and *Asparagus cochinchinensis* grow well with good ornamental value under relative soil water content from 40% to 45%. *Aspidistra elatior* grows normally under relative soil water content from 20% to 25%. Therefore, it was instructive for water management of Liliaceae ground cover plants.

**Key words:** Liliaceae; Ground cover plants; Plants application; Water adaptability

城市绿地中地被植物多植于林荫下, 对耐阴性要求较高, 同时因其根系分布较浅, 相对乔灌木对土壤水分胁迫更敏感, 因此地被植物的抗旱性和耐

阴性是其抗逆性研究的主要方面。百合科(Liliaceae)植物多为多年生草本, 兼具观花、观叶、观果等优良性状。许多研究证实百合科植物的大部分种类具

收稿日期: 2015-09-07

接受日期: 2016-02-24

基金项目: 深圳市城管局科研项目(201616); 广东省省级科技计划项目(2014B090903015, 2015B090904008)资助

This work was supported by Scientific Research Project of Shenzhen Urban Management (Grant No. 201616); and the Science and Technology Planning Project of Guangdong Province (Grant No. 2014B090903015, 2015B090904008).

作者简介: 许建新(1982-), 男, 博士, 研究方向为植物生态与生理学。E-mail: 582546461@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: lei-ji@163.com

有良好的耐荫性<sup>[1-4]</sup>，但对百合科植物的抗旱性研究报道较少<sup>[5-6]</sup>。本研究对深圳市百合科地被植物的应用现状进行了实地调查，总结了该科园林地被植物的应用种类及其配置方式；选择麦冬(*Ophiopogon japonicas*)、银边山菅兰(*Dianella ensifolia* ‘Silvery Stripe’)、蜘蛛抱蛋(*Aspidistra elatior*)、天门冬(*Asparagus cochinchinensis*)等 4 种代表植物为研究对象，通过测定其在长期土壤水分胁迫下的观赏性状、生长量以及光合、蒸腾速率等指标，探讨在满足园林观赏性前提下植物所需要最小土壤相对含水量，为确定其在园林绿地应用中的节水灌溉量提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 百合科地被植物应用情况调查

通过查阅文献统计深圳市百合科地被植物种类，并于 2011 年 8-9 月对深圳市具有代表性且植被种类丰富的公园(荔枝公园、洪湖公园、莲花山公园、彩田公园、海山公园、梅林公园、东湖公园等)进行实地调查。记录公园内百合科地被植物的种类及配置情况，选取百合科常见属的代表植物，记录生境的透光率(重复 5 次，取平均值)，透光率=生境光照/全光照。

### 1.2 材料

以百合科沿阶草属麦冬(*Ophiopogon japonicas*)、山菅兰属银边山菅兰(*Dianella ensifolia* ‘Silvery Stripe’)、蜘蛛抱蛋属蜘蛛抱蛋(*Aspidistra elatior*)、天门冬属天门冬(*Asparagus cochinchinensis*)等 4 种代表植物为材料。

### 1.3 方法

采用盆栽控水法，选取长势一致的植株，移栽至盆口直径 24 cm、高 19 cm 的黑色花盆中，每种 20 盆，以黄土：营养土=2：1 的混合土作为基质，

每盆基质 5 kg。正常养护 2 个月后，试验前将全部参试植株浇透水，使土壤充分吸水达到饱和状态。

参照郭素枝等<sup>[7]</sup>和钱璐璜等<sup>[8]</sup>的方法，设定 3 个土壤相对含水量：对照(Control)为适宜水分(60%~65%)；T1 为中度胁迫(40%~45%)；T2 为重度胁迫(20%~25%)，每个处理 5 个重复。试验前用取土烘干法测定试验用土的田间最大持水量，并计算出各水分梯度所需蒸发量。自 2011 年 11 月 1 日起采取自然干旱的方式，待土壤相对含水量分别降至各个水分梯度内后，采用称重法补水至控水上限，控制土壤相对含水量在设定范围内，准确记录蒸发量及加水量。盆底加直径为 24 cm 的托盘，以便渗出水及时返还至花盆中。4 个月后测定各水分梯度下植物的生长及光合指标。

### 1.4 检测指标

**观赏性状** 在定性标准的基础上，对参试植物的主要性状进行综合描述和量化评估。根据参试植物自身特点，结合前人的经验<sup>[9-12]</sup>确定评价标准(表 1)，对植物的生长势、株型、枝叶覆盖力、叶片长势等进行客观评价，各指标满分为 5 分，累积得分越高其观赏价值越高，其中枝叶覆盖力是以盆口直径 24 cm 花盆为参照。

**根冠比** 采用称重法测定。

#### 净光合速率(Pn)和净蒸腾速率(Tr)日变化

于 2012 年 3 月上旬在晴朗无风天气采用 Li-6400 光合分析仪测定，在自然光照下，棚内温度 16℃~20℃，测定时采用透明叶室，开放式气体回路，不离体测定植物叶片净光合速率和净蒸腾速率。每水分梯度选择 3 株植株，每植株选择 3 片成熟叶，重复测定 9 次。测定时间为 8:00-18:00，每 2 h 测定 1 次，全天共测定 6 次。

### 1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据方差分析

表 1 抗旱地被植物观赏性状评价标准

Table 1 Evaluation criterion of the ornamental characters of drought-resistant ground cover plants

等级 Grade	得分 Score	生长势 Growth vigor	株型 Plant type	覆盖力 Covering power	叶片长势 Leaf growth vigor
1	5~4	强壮、迅速	全年植株丰满，株型优美	全部或近于覆盖土面	浓绿，有光泽
2	4~3	较强壮	半年以上株型丰满、优美	覆盖土面约 80%	鲜绿，有光泽
3	3~2	中等	枝叶稀疏，株型一般	覆盖土面约 50%	有轻微焦边现象
4	2~1	较弱	枝叶稀少，株型较差	覆盖土面约 30%	发黄灰暗，无光泽
5	1~0	弱，甚至死亡	无观赏价值	覆盖土面 30%以下	干枯

和图表制作; DPS V 3.01 软件进行数据显著性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 深圳市百合科地被植物应用种类及配置形式

据文献统计, 深圳市百合科地被植物共有 54 种, 隶属于 15 属。对深圳市 7 个公园(荔枝公园、洪湖公园、莲花山公园、彩田公园、海山公园、梅林公园和东湖公园)的调查结果表明, 各大公园中百合科园林地被植物的应用较为广泛, 目前常见的园林应用种类共 11 种, 隶属于 6 属(表 2)。

麦冬、银边山菅兰、蜘蛛抱蛋、天门冬为百合科

常见的代表植物, 对其生境透光率及应用形式进行调查。结果表明, 麦冬宜在林下或林缘半阴处栽植, 可替代草坪草, 大面积丛植、带状混植于林下、列植于林缘, 补充各种绿地、花坛空隙, 适宜的透光率为 23%~61%。银边山菅兰可片植于疏林下, 亦可于全阳光照下用于花坛点缀, 呈片状、条状混植于疏林下或小树林中, 作前景装饰绿地, 丛植于花坛边缘, 做镶边材料或用于石旁点缀, 生境透光率为 23%~100%。蜘蛛抱蛋可大面积丛植于林荫下; 片状、条状混植于茂密林荫下; 小范围丛植于岩石假山边作点缀, 生境透光率为 5%~58%。天门冬则喜光照, 用于花坛及建筑物旁点缀镶边, 或立交桥、墙面垂直绿化, 生境透光率为 72%~100%。

表 2 深圳市公园常见百合科地被植物种类

Table 2 Common ground cover plants of Liliaceae in Shenzhen

植物 Species	属 Genus	应用频率 Applying frequency
银丝沿阶草 <i>O. jaburan</i> 'Argenteus-vittatus'	沿阶草属 <i>Ophiopogon</i>	①②③④⑤⑥
麦冬 <i>O. japonicus</i>	沿阶草属 <i>Ophiopogon</i>	①②③④⑥
山麦冬 <i>L. spicata</i>	山麦冬属 <i>Liriope</i>	①②③⑥
银边山菅兰 <i>D. ensifolia</i> 'Silverly Stripe'	山菅兰属 <i>Dianella</i>	②③⑥⑦
吉祥草 <i>R. carnea</i>	吉祥草属 <i>Reineckea</i>	①④⑥
蜘蛛抱蛋 <i>A. elatior</i>	蜘蛛抱蛋属 <i>Aspidistra</i>	①⑦
金丝沿阶草 <i>O. jaburan</i> cv. 'Aureus-vittatus'	沿阶草属 <i>Ophiopogon</i>	②
矮麦冬 <i>O. japonicus</i> var. <i>nana</i>	沿阶草属 <i>Ophiopogon</i>	②
沿阶草 <i>O. jaburan</i>	沿阶草属 <i>Ophiopogon</i>	②
阔叶山麦冬 <i>L. platyphylla</i>	山麦冬属 <i>Liriope</i>	③
天门冬 <i>A. cochinchinensis</i>	天门冬属 <i>Asparagus</i>	⑥

①: 荔枝公园; ②: 洪湖公园; ③: 莲花山公园; ④: 彩田公园; ⑤: 海山公园; ⑥: 梅林公园; ⑦: 东湖公园。

①: Lichi Park; ②: Honghu Park; ③: Lianhuashan Park; ④: Caitian Park; ⑤: Haishan Park; ⑥: Meilin Park; ⑦: Donghu Park.

### 2.2 水分对地被植物生长特性的影响

**地被植物的观赏特性** 在不同水分条件下维持稳定生长量, 保持优良的观赏性状是园林植物美化功能的最大体现。从表 3 可见, 4 种参试植物的生长势、株型、覆盖力、叶片长势等观赏要素在不同水分梯度下的表现有较大差异。重度水分胁迫下, 麦冬叶片顶部轻微变焦, 观赏性稍差; 银边山菅兰少数叶片扭曲、白色边缘发黄; 天门冬叶片失去光泽; 而蜘蛛抱蛋则叶色浓绿, 株型挺拔, 仍保持较好观赏性。中度水分胁迫下, 麦冬、蜘蛛抱蛋、天门冬与对照差异不大, 株型饱满, 覆盖力及观赏性好; 银边山菅兰叶片生长势稍差, 但也可维持一定的观赏性。

**地被植物的根冠比** 根冠比常被用来反映植物抗旱能力的形态指标<sup>[8]</sup>。从表 4 可见, 4 种参试植物的根冠比均随干旱程度增加而显著提高, 提

高幅度与干旱程度呈正相关, 以天门冬、蜘蛛抱蛋的根冠比提高尤为明显。重度水分胁迫下, 蜘蛛抱蛋的根冠比是对照的 3.14 倍, 且中度水分胁迫下已明显提高, 与对照有显著差异( $P<0.05$ )。天门冬在中度水分胁迫下与对照无显著差异, 在重度水分胁迫下根冠比是对照的 2.37 倍。银边山菅兰在中度及重度水分胁迫下的差异不显著, 但与对照均差异显著。麦冬根冠比在中度水分胁迫下增加较小, 与对照的差异不显著, 在重度水分胁迫下显著增大。

**地被植物的光合特性** 从图 1 可见, 除蜘蛛抱蛋外其他 3 种百合科地被植物在不同水分梯度下的净光合速率峰值均出现在中午 12 点, 这可能与春季测定有关。麦冬在 3 个水分梯度下的净光合速率日变化趋势相同, 但随水分胁迫的加剧, 净光合速率呈下降趋势。银边山菅兰的净光合速率日变化在 3 个水分梯度下差别较大, 对照呈单峰曲线, 而

表 3 不同水分梯度下地被植物的观赏性状评分

Table 3 Scores of ornamental characters of ground cover plants under different water gradient

植物 Species	土壤含水量 Soil water content	生长势 Growth vigor	株型 Plant type	覆盖力 Covering power	叶片长势 Leaf growth vigor	总分 Total score
麦冬 <i>Ophiopogon japonicas</i>	对照 Control	4.5	5.0	4.0	4.5	18.0
	T1	4.0	4.8	4.0	4.5	17.3
	T2	3.5	4.5	3.0	4.0	15.0
银边山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i> 'Silvery Stripe'	对照 Control	4.7	5.0	4.5	4.5	18.7
	T1	4.0	4.5	4.0	3.5	16.0
	T2	3.0	4.0	3.0	3.0	13.0
蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>	对照 Control	4.2	5.0	4.0	4.5	17.7
	T1	4.0	5.0	4.0	4.5	17.5
	T2	4.0	5.0	4.0	4.5	17.5
天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	对照 Control	4.8	5.0	5.0	4.5	20.3
	T1	4.5	5.0	4.5	4.5	18.5
	T2	3.5	4.0	3.5	3.5	14.5

对照: 60%~65% (适宜水分); T1: 40%~45% (中度胁迫); T2: 20%~25% (重度胁迫)。下同。

Control: 60%~65% (Suitable soil water); T1: 40%~45% (Middle stress); T2: 20%~25% (Severe stress). The same is following Tables.

表 4 不同水分梯度下地被植物的根冠比

Table 4 Root/shoot of ground cover plants under different water gradient

植物 Species	处理 Treatment	根冠比 Root/Shoot
麦冬 <i>Ophiopogon japonicas</i>	对照 Control	0.69±0.05b
	T1	0.78±0.06ab
	T2	0.82±0.03a
银边山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i> 'Silvery stripe'	对照 Control	0.44±0.04b
	T1	0.62±0.04a
	T2	0.71±0.12a
蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>	对照 Control	0.35±0.06b
	T1	1.07±0.08a
	T2	1.10±0.10a
天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	对照 Control	0.67±0.07b
	T1	0.70±0.04b
	T2	1.59±0.02a

水分胁迫处理均呈双峰曲线, 峰值分别出现在 8:00、12:00 (中度胁迫) 和 12:00、18:00 (重度胁迫)。蜘蛛抱蛋的净光合速率日变化曲线在中度和重度水分胁迫下相似, 净光合速率与对照呈显著差异; 在重度水分胁迫下, 植株在早上 8:00 出现光合最大值, 这可能是植物对水分胁迫适应性的表现。天门冬在中度水分胁迫下净光合速率日变化与对照相似, 两者曲线近乎重叠; 但在重度水分胁迫下净光合速率显著降低。同时, 4 种百合科地被植物在 14:00 至 16:00 的光合速率或为零或显著降低, 而 16:00~18:00 的光合速率上升, 这可能是由于实验在温室内进行, 使用自然光, 位于温室大棚西南侧有一栋实验楼, 在 14:00~16:00 实验楼对太阳光有一定的遮挡, 而 16:00 后遮挡消失, 重新对植物有了刺激, 故而导致了该现象。

**地被植物蒸腾的日变化** 从图 2 可见, 4 种百合科地被植物在不同水分梯度下的蒸腾速率日

变化有显著差异。麦冬的蒸腾速率日变化在中度及重度水分梯度下的蒸腾速率均有一定程度降低, 三者的单峰曲线极相似。银边山菅兰在中度水分胁迫下, 12:00~14:00 的蒸腾速率比对照显著下降, 重度水分胁迫则在 12:00~16:00 比对照显著下降, 不同水分胁迫下的峰值均出现在 12:00。蜘蛛抱蛋在 3 个水分胁迫下的蒸腾速率日变化趋势相同, 且峰值均出现在 14:00~16:00; 在中度水分胁迫下的蒸腾速率均略高于对照。天门冬的蒸腾速率在中度水分胁迫下比对照的略小, 两者的单峰曲线近乎重叠, 但重度水分胁迫下的蒸腾速率显著降低, 在 8:00~14:00 蒸腾速率几近为 0。多数植物在受到干旱胁迫时, 会通过减小植株的蒸腾作用来维持体内水分抵御干旱胁迫, 但不同植物净蒸腾速率降低的幅度不同。这些表明, 麦冬、蜘蛛抱蛋在水分胁迫下与对照差异不大; 银边山菅兰在重度水分胁迫下于 12:00

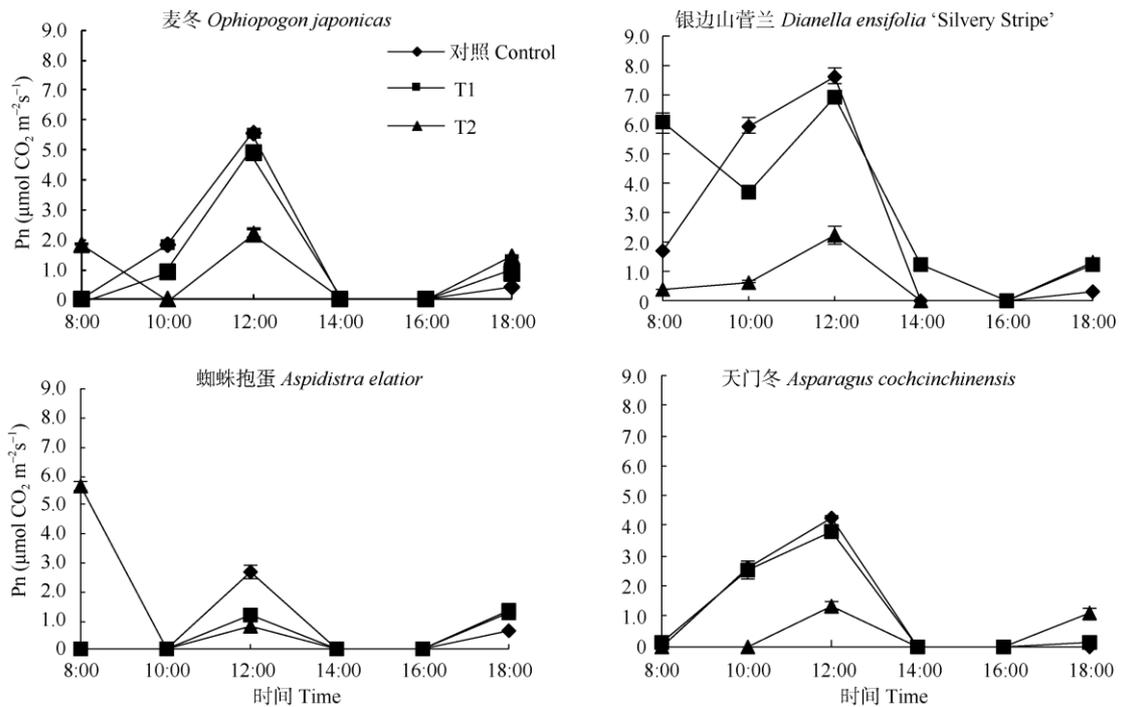


图 1 不同水分梯度下地被植物的净光合速率(Pn)日变化

Fig. 1 Daily changes in net photosynthetic rate (Pn) of ground cover plants under different water gradients

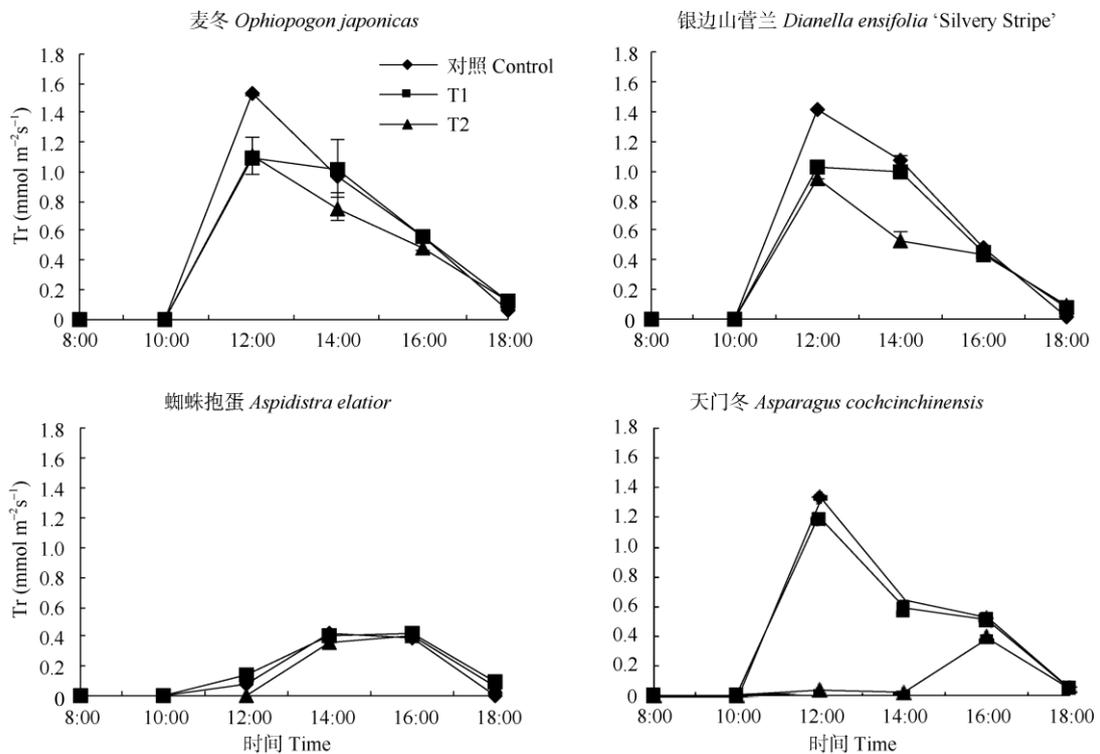


图 2 不同水分梯度下 4 种百合科园林地被植物净蒸腾速率(Tr)日变化

Fig. 2 Daily changes in transpiration rate (Tr) of ground cover plants under different water gradient

后蒸腾速率显著降低; 天门冬在重度水分胁迫下蒸腾速率明显减小。

**地被植物的光合指标** 从表 5 来看, 麦冬和天门冬的日平均净光合速率在中度水分胁迫与对

照的差异不显著( $P<0.05$ ), 而银边山菅兰和蜘蛛抱蛋的日平均净光合速率分别在中度和重度水分胁迫下达到最大。植物在不同水分条件下的日平均净光合速率值在一定程度上反映了植物的水分适应性, 其值越大, 说明其水分条件越适合, 是植物抗旱性评价的一个重要指标。4 种植物的日平均净蒸腾速率随水分胁迫的加剧均有不同程度的下降, 其

中蜘蛛抱蛋的净蒸腾速率在 3 个水分梯度下相差不大, 说明土壤水分的降低对其叶片的蒸腾速率影响不大, 植株具有一定的抗旱性。从植株水分利用率来看, 麦冬在适宜水分和轻度水分胁迫下利用率较高, 且二者差异不显著, 银边山菅兰在轻度水分胁迫下利用率较高, 而蜘蛛抱蛋和天门冬则在重度水分胁迫下水分利用率最高。

表 5 不同水分梯度下地被植物的光合指标

Table 5 Photosynthetic indexes of ground cover plants under different water gradients

植物 Species	处理 Treatment	日均净光合速率 Daily mean net photosynthetic rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	日均蒸腾速率 Daily mean net transpiration rate ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	水分利用率 Water utilization efficiency ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )
麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	对照 Control	1.32±0.03a	0.52±0.02a	2.53a
	T1	1.20±0.12a	0.47±0.03b	2.55a
	T2	0.91±0.03b	0.41±0.018c	2.21b
银边山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i> 'Silvery stripe'	对照 Control	2.58±0.07b	0.50±0.01a	5.16b
	T1	3.19±0.01a	0.42±0.01b	7.59a
	T2	0.76±0.02c	0.33±0.01c	2.30c
蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>	对照 Control	0.57±0.03b	0.15±0.00b	3.8b
	T1	0.43±0.00c	0.18±0.00a	2.39c
	T2	1.31±0.00a	0.14±0.00c	9.36a
天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	对照 Control	1.15±0.02a	0.42±0.00a	2.74b
	T1	1.11±0.02a	0.38±0.01b	2.92b
	T2	0.41±0.04b	0.09±0.00c	4.56a

### 3 讨论和结论

在适宜的水分条件下植物能维持稳定的生长量, 保持良好的观赏性, 是园林植物美化功能和绿地节水的最佳模式。本试验蜘蛛抱蛋在 20%~25% 的土壤相对含水量(重度胁迫)下, 观赏性状综合评分和适宜水分下无差别, 其它植物在土壤含水量为 40%~45% (中度胁迫)时生长良好, 故可根据其水分适应性特征, 在实际园林灌溉中酌情减少灌水量。

植物在土壤水分不足时, 新梢和叶片生长受到抑制, 总的干物质积累减少, 导致根冠比随着土壤水分胁迫的加剧而增大<sup>[13-15]</sup>。本研究结果表明, 4 种参试植物的根冠比在土壤水分胁迫下有明显增高, 且随土壤相对含水量的减少而增加, 与土壤相对含水量呈显著负相关。

光合速率、蒸腾速率对生长环境变化的响应比生长指标敏感得多<sup>[16]</sup>。在干热天的中午, 叶片蒸腾失水加剧, 若此时土壤水分亏缺严重, 植株失水将远大于吸水, 光合速率大幅下降, 呈现“午睡”现象, 且这种现象随土壤含水量的降低而加剧<sup>[17-18]</sup>。本试

验中 4 种百合科地被植物的光合速率最大值均出现在中午 12:00, 且随着水分胁迫程度的加剧光合速率峰值有不同程度的降低, 因试验正值春季, 正午温度适宜, 水分胁迫并未达到完全抑制光合作用的程度; 而下午 14:00-16:00 光合速率下降, 甚至停止, 至 18:00 光合速率又有所回升, 则是因为在实验大棚的西南侧有楼遮挡了阳光对实验造成了一定的误差。从蒸腾速率日变化来看, 麦冬和银边山菅兰在 12:00 后开始减小; 而蜘蛛抱蛋则在 16:00 后才开始减小; 天门冬在重度水分胁迫下 14:00-18:00 才有明显的蒸腾作用。说明植物在受到水分胁迫, 不同植物的应急反应不同, 且植物的耐旱性不同, 在不同梯度的水分条件下表现也不同<sup>[8]</sup>。

植物为维持水分平衡, 在光合和蒸腾之间进行适度调节。水分利用效率是净光合速率与蒸腾速率的比值, 它反映了植物对水分的利用效率, 也在一定程度上反映植物的耗水性和抗旱性<sup>[16]</sup>。本试验 4 种地被植物的日平均蒸腾速率随着胁迫程度加剧均有所降低, 但就日平均净光合速率来看, 银边山

菅兰与蜘蛛抱蛋的最大值分别出现在中度和重度水分胁迫下, 麦冬与天门冬在中度水分胁迫和适宜水分条件下均显著高于重度水分胁迫, 但二者之间无显著差异; 因此, 反映在水分利用效率指标上, 蜘蛛抱蛋在重度胁迫下最高, 其余3种均在中度胁迫下最高。在干旱条件下, 水分是最重要的限制因子, 选择大幅降低蒸腾速率, 同时为了提供能量, 光合速率仍然维持适当的水平, 因而水分利用效率有所提高, 植物表现出抗旱能力<sup>[19]</sup>。因此相对而言, 蜘蛛抱蛋抗旱性较强, 在较低的土壤相对含水量下即可保持良好的景观效果。

在园林应用中, 可根据植物的水分适应性特征, 降低土壤含水量至其需水上线即可, 从而既可保证观赏性又达到节水的目的, 本研究对百合科园林地被植物水分管理具有一定指导意义。

## 参考文献

- [1] LI Q Y, XIA Y P. The germplasm resources of *Hosta* in China and its application status in landscape architecture [J]. *China Landscape Archit*, 2004(2): 77-79. doi: 10.3969/j.issn.1000-6664.2004.02.025.  
李钱鱼, 夏宜平. 玉簪属植物种质资源及其园林应用现状 [J]. *中国园林*, 2004(2): 77-79. doi: 10.3969/j.issn.1000-6664.2004.02.025.
- [2] SHI A P. Studies on shade tolerance of the *Hosta* plants [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2004: 1-60.  
施爱萍. 玉簪属植物的耐阴性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2004: 1-60.
- [3] WANG X L. Studies on shade tolerance of several *Liripe* Lour. plants [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005: 1-73. doi: 10.7666/d.y724235.  
王晓玲. 几种山麦冬属植物的耐荫性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005: 1-73. doi: 10.7666/d.y724235.
- [4] XU S D. Study on shade-tolerance of six ground-cover plants of Liliaceae including *Hosta plantaginea* 'So Sweet', etc [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2009: 1-62.  
徐召丹. 花叶玉簪“甜心”等6种百合科地被植物耐荫性研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2009: 1-62.
- [5] ZHANG Q Y. The effects of water stress on the growth and photosynthetic characteristic of two species of *Hosta* [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011: 1-70.  
张起源. 水分胁迫对2种玉簪生长及光合特性的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2011: 1-70.
- [6] SHAO C Y. Studies on cultivation and drought resistance of daylilies [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009: 1-69.  
邵春艳. 萱草新品种的引种栽培及抗旱性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009: 1-69.
- [7] GUO S Z, ZHANG M H, DENG C Y, et al. Effect of drought stress on photosynthetic characteristics and ultrastructure of mesophyll cells in three cultivars of *Jaminum sambac* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2013, 21(2): 123-129. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.02.004.  
郭素枝, 张明辉, 邓传远, 等. 干旱胁迫对茉莉3个品种叶片光合特性和超微结构的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2013, 21(2): 123-129. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.02.004.
- [8] QIAN T H, LEI J L, ZHUANG X Y. Study on water adaptability of seven common species of ground cover plants in South China [J]. *China Landscape Archit*, 2012(12): 95-99.  
钱塘璜, 雷江丽, 庄雪影. 华南地区7种常见园林地被植物水分适应性研究 [J]. *中国园林*, 2012(12): 95-99.
- [9] WU J Y, TENG W J, WANG Q H. Evaluation of ornamental characters of introduced drought-tolerant perennial ornamental grasses in spring [J]. *Acta Agri Boreali-Sin*, 2006, 21(1): 129-132. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2006.01.029.  
武菊英, 腾文军, 王庆海. 耐旱多年生观赏草春季观赏性评价 [J]. *华北农学报*, 2006, 21(1): 129-132. doi: 10.3321/j.issn:1000-7091.2006.01.029.
- [10] WEI N. The ornamental evaluation and studies of cold resistance of introduced perennial flowers in Beijing area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006: 1-59.  
魏娜. 北京地区引种奥运宿根花卉观赏性评价及抗寒性研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2006: 1-59.
- [11] CAI H Y. The ornamental evaluation and studies of heat and cold resistance of several introduced perennial flowers [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2009: 1-58.  
蔡红艳. 几种引进宿根花卉观赏性评价及耐热性、抗寒性研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2009: 1-58.
- [12] WANG Z H, ZHANG W H, HE J F, et al. Assessment on the ornamental characteristics of wild arbor after domestication from Qinling Mountains [J]. *Shanxi For Sci Techn*, 2007(2): 9-13. doi: 10.3969/j.issn.1001-2117.2007.02.003.  
王贞红, 张文辉, 何景峰, 等. 秦岭山区野生乔木引种驯化后的观赏性评价 [J]. *陕西林业科技*, 2007(2): 9-13. doi: 10.3969/j.issn.1001-2117.2007.02.003.
- [13] CHEN X Y, GAO Z H, LIU X Y, et al. Effects of water stress on root/shoot relation and grain yield in winter wheat [J]. *Acta Agron Sin*, 2004, 30(7): 723-728. doi: 10.3321/j.issn:0496-3490.2004.07.016.  
陈晓远, 高志红, 刘晓英, 等. 水分胁迫对冬小麦根、冠生长关系及

- 产量的影响 [J]. 作物学报 2004, 30(7): 723–728. doi: 10.3321/j.issn:0496-3490.2004.07.016.
- [14] GUO W, LI B, ZHANG X, et al. Architectural plasticity and growth responses of *Hippophae rhamnoides* and *Caragana intermedia* seedlings to simulated water stress [J]. J Arid Environ, 2007, 69(3): 385–399. doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.10.003.
- [15] GRECO S A, CAVAGNARO J B. Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of *Trichloris crinita* P. (Poaceae) a forage grass from the arid Monte region of Argentina [J]. Plant Ecol, 2003, 164(1): 125–135. doi: 10.1023/A:1021217614767.
- [16] WANG Y, WEI G Y, ZHANG Z Q, et al. Water use efficiency of seven afforestation tree species in different apportioning environment [J]. J Agri Univ Hebei, 2006, 29(6): 44–48. doi: 10.3969/j.issn.1000-1573.2006.06.011.
- 王颖, 魏国印, 张志强, 等. 7 种园林树种光合参数及水分利用效率的研究 [J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(6): 44–48. doi: 10.3969/j.issn.1000-1573.2006.06.011.
- [17] SONG S W, WANG Z H, ZHAO X Q, et al. Effects of water stress on diurnal changes in the net photosynthetic rate of adult litchi in different seasons [J]. J Trop Subtrop Bot, 2007, 15(6): 482–486. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2007.06.003.
- 宋世文, 王泽槐, 赵晓勤, 等. 水分胁迫对成年荔枝不同季节光合速率日变化的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2007, 15(6): 482–486. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2007.06.003.
- [18] LU Y C, JIANG Z R, FU T. Comparative study on photosynthetic characteristics of several psammophytes in the middle area of Heihe [J]. Gansu For Sci Techn, 2014, 39(1): 22–25,34. doi: 10.3969/j.issn.1006-0960.2014.01.004.
- 鲁玉超, 蒋志荣, 付涛. 黑河中游几种沙生植物的光合特征比较 [J]. 甘肃林业科技, 2014, 39(1): 22–25, 34. doi: 10.3969/j.issn.1006-0960.2014.01.004.
- [19] HUANG G, ZHAO X Y, CUI J Y, et al. Photosynthetic and water use efficiency characteristics of two annuals under drought stress in Korqin Sandy Lan [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2008, 28(11): 2306–2313. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2008.11.026.
- 黄刚, 赵学勇, 崔建垣, 等. 水分胁迫对 2 种科尔沁沙地植物光合和水分利用特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(11): 2306–2313. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2008.11.026.