

## 简单式屋顶绿化基质厚度筛选<sup>\*</sup>

叶少萍 张俊涛 苏 杨 许昌超

(广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405)

**摘要** 薄层基质技术是降低屋顶负荷的关键, 筛选满足简单式屋顶绿化植物生长和快速覆盖的最小基质厚度显得尤为必要。通过蓄水盆栽栽培试验, 研究了基质厚度 2, 4, 6, 8 cm 对八宝景天 (*Sedum spectabile*)、佛甲草 (*Sedum lineare*)、长寿花 (*Kalanchoe blossfeldiana*)、吊竹梅 (*Zebrina pendula*)、铺地锦竹草 (*Callisia repens*) 地被植物生长及覆盖效率的影响。结果表明: 基质厚度越大, 植物长势越好; 基质厚度为 8 cm 时, 直立生长型植物八宝景天株高、根系体积、最长根长、地上部和地下部生物量均显著高于其它厚度处理 ( $P<0.05$ ); 吊竹梅在基质厚度 6 cm 时最快 36 d 达到 100% 覆盖, 铺地锦竹草则在基质厚度 6, 8 cm 时最快 45 d 达到 100% 覆盖; 佛甲草、长寿花则生长较慢, 基质越薄、成活率越低。综合分析植物生长指标, 建议八宝景天、吊竹梅、铺地锦竹草可选择最小基质厚度分别为 8, 6, 4 cm; 佛甲草、长寿花最小基质厚度则需要继续开展试验研究。

**关键词** 简单式屋顶绿化; 基质厚度; 屋顶绿化植物; 植物盖度; 蓄水盆

中图分类号: S731.5 文献标识码: A 文章编号: 2096-2053 (2018) 02-0058-06

## Screening on the Suitable Substrate Thickness for Extensive Roof Greening

YE Shaoping ZHANG Juntao SU Yang XU Changchao

(Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou, Guangdong 510405, China)

**Abstract** Thin-layer substrates techniques contributes a lot to reducing the load bearing of roof. The screening and using of the suitable substrates thickness for the fast growth and coverage of roof greening plants become more and more necessary. Planting experiments with *Sedum spectabile*, *Sedum lineare*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Zebrina pendula* and *Callisia repens* in water storage containers were performed to study the effects of different substrate thicknesses (2, 4, 6 and 8 cm) on plants growth and coverage rate. The results showed that the plants grew better with the increase of the substrate thickness. When the thickness of the substrate was 8 cm, the plant height, root volume, the longest root length, the overground and underground part biomass of *S. spectabile* were significantly higher than the other three thickness treatments ( $P<0.05$ ). The 100% vegetation coverage of *Z. pendula* needed at least 36 days in 6 cm thickness substrate and that of *C. repens* needed at least 45 days in 6 cm or 8 cm thickness substrate. *S. lineare* and *K. blossfeldiana* grew slowly and their survival rates became lower as the decrease of substrates thickness. A comprehensive analysis of plant growth indexes suggested that the minimum cultivation substrate thickness for *S. spectabile*, *Z. pendula* and *C. repens* were 8 cm, 6 cm and 4 cm, respectively. Besides, more experiments are needed for screening on the minimum cultivation

<sup>\*</sup> 基金项目: 广东省科技计划项目“环保节约型屋顶绿化关键技术与示范推广”(2012A030600009)和广东省省级科技计划项目“节能减排屋顶绿化配套产品研发与示范”(2013A011401004)。

第一作者: 叶少萍 (1985—), 女, 工程师, 主要从事立体绿化技术研究, E-mail: yshp08@163.com。

通信作者: 张俊涛 (1981—), 男, 高级工程师, 主要从事植物营养、风景园林研究, E-mail: 350965652@qq.com。

substrate thickness of *Sedum lineare* and *Kalanchoe blossfeldiana*.

**Key words** extensive roof greening; substrate thickness; roof greening plants; vegetation coverage; water storage container

屋顶绿化是一种位于建筑物顶部空间的特殊绿化形式<sup>[1]</sup>，在美化空中景观的同时，能够保护生态、调节气候、净化空气、遮荫覆盖、降低室温、噪声和城市热岛效应、节水节能、保护屋顶结构和延长防水层的使用寿命，具有显著的生态、景观效益<sup>[2-3]</sup>。按难易程度，屋顶绿化一般分为花园式屋顶绿化和简单式屋顶绿化，两种绿化方式相应的功能与造价成本也差别较大<sup>[4]</sup>。花园式屋顶绿化即密集型屋顶绿化，利用植物绿化和园林造景设施、亭台楼阁、雕塑水景等因素进行屋顶设计；简单式屋顶绿化也可称为地毯式屋顶绿化，具有低荷载、低成本、低养护、低维护、寿命长等优点，欧美国家推广应用较早，也是目前广州市主要推广的屋顶绿化模式<sup>[5]</sup>。

研究表明，基质层越厚越有利于根系的延伸生长和吸收更多的养分、水分，也有利于增强屋面降温隔热和滞留雨水的效果<sup>[6]</sup>；基质过薄，保水性能差，肥力低，不仅不利于植物生长，而且养护成本高<sup>[7]</sup>。屋顶绿化基质厚度与荷载设计密切相关，资料显示简单式屋顶绿化建筑静荷载 $\geq 200 \text{ kg/m}^2$ ，降低基质厚度有助于降低一定的屋顶负荷<sup>[8]</sup>。因此，薄层基质技术成为简单式屋顶绿化关键技术之一。研究发现在美国 12 种景天属植物在 7 cm 基质上获得了最佳的快速覆盖效果<sup>[9]</sup>。此外，容器式屋顶绿化利用具有蓄水、排水、隔热、阻根等功能的容器种植植物，具有组装施工方便、养护管理容易等优点，在简单式屋顶绿化中得到了广泛运用<sup>[10]</sup>。市面上屋顶绿化蓄排水容器高度一般不超过 15 cm，其中基质层高度为 3~8 cm，配合使用轻型屋顶绿化基质，有助于将屋顶负荷影响降到最小。

屋顶环境一般比较复杂，植物生长往往需要克服高温、干旱、低温、强风等逆境条件，屋顶绿化植物定植、覆盖效率直接影响绿化景观效果<sup>[11]</sup>。根据不同地区的气候特点，屋顶绿化尽量选择适应本区气候且抗逆性强的乡土植物<sup>[12-15]</sup>。例如，具有耐热抗旱优点的松叶佛甲草 (*S. mexicanum*)<sup>[16]</sup> 以及花色艳丽、耐性强、繁殖力强的

野生乡土植物多毛马齿苋 (*Portulaca pilosa*)<sup>[17]</sup> 在华南地区的轻型屋顶绿化中具有较高的应用价值。此外，层次分析法结果显示，八宝景天 (*S. spectabile*)、佛甲草 (*S. lineare*)、长寿花 (*K. blossfeldiana*)、吊竹梅 (*Z. pendula*)、铺地锦竹草 (*C. repens*) 等植物具有抗逆性强、根系浅、生长快、观赏性状良好等特点，均适用于广州地区简单式屋顶绿化<sup>[5]</sup>。本试验采用蓄水盆栽培试验，以八宝景天、佛甲草、长寿花、吊竹梅、铺地锦竹草等简单式屋顶绿化地被植物为研究对象，在 4 个基质厚度水平下，研究基质厚度对供试地被植物生长及覆盖效率的影响，以筛选地被植物生长最小基质厚度，为简单式屋顶绿化技术推广提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试植物为课题组扩繁培养的八宝景天、佛甲草、长寿花、吊竹梅、铺地锦竹草。屋顶绿化基质由园林废弃物堆肥、国产泥炭、椰糠、陶粒、复合肥 (N:P:K=15:15:15)、有机肥按照指定比例配制而成，其基本理化性质为 pH 5.95，EC 1.18 mS/cm，总孔隙度 59.32%，有机质含量 64.58%，全氮 (N)、全磷 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )、全钾 ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 含量分别为 1.29%、0.40%、0.74%。种植容器为塑料蓄水盆，长度、宽度、高度分别为 50，50，13 cm，其中种植层高 8 cm、蓄水层高 5 cm，由广州市林业和园林科学研究院设计。

### 1.2 试验方法

选取屋顶绿化基质厚度分别为 2，4，6，8 cm，每组处理 3 个重复。蓄水盆内放置隔网、无纺土工布，并装入不同厚度基质，浇水至基质饱和。2015 年 4 月 23 日，剪取生长一致、充分成熟、长度 8~10 cm 的供试植物枝条，八宝景天、长寿花、佛甲草采用扦插方式，每盆分别扦插 12，20，36 株；铺地锦竹草、吊竹梅采用撒播方式，每盆撒播数量分别为 20，12 株。试验在广州市林业和园林科学研究院三号楼屋顶进行，植物生长

期内不施肥，保持一致的水分管理。

1.3 测定项目

1.3.1 八宝景天生长指标 第 70 天，测定八宝景天植株顶端往下第 3 节轮生叶片叶面积<sup>[18]</sup>以及单株株高、分枝数、茎基部宽度、叶片 SPAD 值指标，并收获地上部、地下部样品，清洗干净后用滤纸将水吸干，称量鲜质量，然后放入 105 ℃烘箱内杀青 30 min，调至 70 ℃烘干至恒重，称重即为干质量；测定最长根系长度，利用排水法在量筒中测定其根系体积。

1.3.2 铺地锦竹草、吊竹梅生长指标 定期观察铺地锦竹草、吊竹梅长势，统计蓄水盆内植物盖度达到 100%<sup>[19]</sup>所需生长天数；第 30 天，记录植株茎长、分枝数；第 70 天，采集地上部成熟叶片，测量鲜质量和干质量，以鲜质量、干质量质量比表示肉质化程度<sup>[20]</sup>。

1.3.3 佛甲草、长寿花生长指标 由于试验期间佛甲草、长寿花长势较差，故只统计第 50 天佛甲草、长寿花株高、分枝数指标。

1.4 数据处理与分析

采用 SPSS 16.0 软件对试验数据进行统计分析，对不同基质厚度处理的植物生长指标进行单

因素方差分析，并用 Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 供试植物成活率

在 4 种基质厚度处理中，第 50 天时八宝景天、铺地锦竹草、吊竹梅扦插条成活率均为 100%（表 1）。长寿花在供试基质中生根效果较差，且容易出现茎基部腐烂问题，在厚度 2，4 cm 处理中成活率仅为 60% 左右。部分佛甲草扦插条茎基部也存在腐烂、死亡问题，基质厚度越薄、成活率越低，尤其是厚度 2 cm 时扦插条成活率为 0。

2.2 不同基质厚度对八宝景天生长的影响

随着基质厚度的增加，八宝景天长势越好，所测生长指标均呈现明显增加的趋势（表 2-3、图 1）。八宝景天在基质厚度 8 cm 时株高、根系体积、最长根长、地上部、地下部生物量最高，与其它厚度处理差异达到显著水平（ $P<0.05$ ）；除了叶片 SPAD 值，基质厚度 6 cm 处理的八宝景天生长指标均显著高于 2 cm 处理，同时叶面积、最长根长、地上部鲜质量也显著高于 4 cm 处理（ $P<0.05$ ）；厚度 4 cm 时八宝景天株高、地上部干质量显著高于 2 cm 处理（ $P<0.05$ ）。总体上，八

表 1 第 50 天不同基质厚度处理植物成活率  
Tab. 1 The plants survival rate under different substrate thickness treatments %

| 基质厚度<br>Substrate thickness/cm | 八宝景天<br><i>S. spectabile</i> | 铺地锦竹草<br><i>C. repens</i> | 吊竹梅<br><i>Z. pendula</i> | 长寿花<br><i>K.blossfeldiana</i> | 佛甲草<br><i>S. mexicanum</i> |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 2                              | 100.00 ± 0.00 a              | 100.00 ± 0.00 a           | 100.00 ± 0.00 a          | 60.11 ± 4.72 c                | 0.00 ± 0.00 c              |
| 4                              | 100.00 ± 0.00 a              | 100.00 ± 0.00 a           | 100.00 ± 0.00 a          | 60.34 ± 7.22 c                | 62.50 ± 5.21 b             |
| 6                              | 100.00 ± 0.00 a              | 100.00 ± 0.00 a           | 100.00 ± 0.00 a          | 80.15 ± 4.56 b                | 66.72 ± 4.64 b             |
| 8                              | 100.00 ± 0.00 a              | 100.00 ± 0.00 a           | 100.00 ± 0.00 a          | 100.00 ± 0.00 a               | 91.75 ± 3.62 a             |

注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

表 2 不同基质厚度处理八宝景天鲜质量和干质量  
Tab. 2 The fresh and dried weights of *S. spectabile* under different substrate thickness treatments g

| 基质厚度<br>Substrate thickness /<br>cm | 地上部鲜质量<br>Overground fresh weight | 地上部干质量<br>Overground dried weight | 地下部鲜质量<br>Underground fresh weight | 地下部干质量<br>Underground dried weight |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2                                   | 4.81 ± 1.82 c                     | 0.51 ± 0.19 c                     | 0.20 ± 0.09 c                      | 0.04 ± 0.04 c                      |
| 4                                   | 11.52 ± 1.66 bc                   | 1.33 ± 0.24 b                     | 0.93 ± 0.29 bc                     | 0.23 ± 0.06 bc                     |
| 6                                   | 18.76 ± 0.22 b                    | 2.08 ± 0.05 b                     | 1.58 ± 0.42 b                      | 0.37 ± 0.11 b                      |
| 8                                   | 43.40 ± 4.76 a                    | 4.08 ± 0.37 a                     | 3.98 ± 0.30 a                      | 0.94 ± 0.07 a                      |

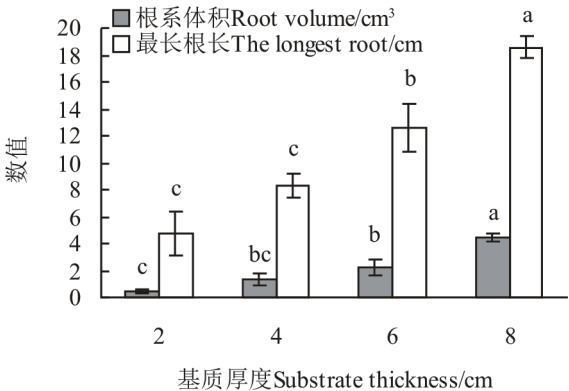
注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

表 3 不同基质厚度处理八宝景天生长指标  
Tab. 3 The growth characteristics of *S. spectabile* under different substrate thickness treatments

| 基质厚度<br>Substrate thickness /cm | 株高<br>Height /cm | 茎基部宽度<br>Stem base width /mm | 叶片 SPAD 值<br>SPAD value of leaves | 叶面积<br>Leaves area /cm <sup>2</sup> |
|---------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 2                               | 11.60 ± 1.88 c   | 5.11 ± 0.46 b                | 42.48 ± 2.15 ab                   | 3.64 ± 0.46 b                       |
| 4                               | 16.45 ± 0.68 b   | 6.25 ± 0.53 ab               | 43.98 ± 1.27 ab                   | 5.22 ± 0.48 b                       |
| 6                               | 16.85 ± 0.86 b   | 6.52 ± 0.15 a                | 40.75 ± 2.97 b                    | 7.44 ± 0.49 a                       |
| 8                               | 27.50 ± 0.80 a   | 7.09 ± 0.28 a                | 48.78 ± 1.78 a                    | 8.03 ± 0.60 a                       |

注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

宝景天在 8 cm 基质上生长最优，6 cm，4 cm 基质次之，2 cm 基质上生长效果最差。八宝景天为直立生长地被植物，基质厚度越厚，其根系延伸固着效果越好，地上部分生长越旺盛，因此在蓄水盆栽培时建议选择 8 cm 基质厚度。



注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，不同小写字母表示同一个指标不同厚度之间差异显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same characteristic indicate significant difference among different substrate thickness treatments ( $P<0.05$ ).

图 1 不同基质厚度处理八宝景天根系体积和最长根长  
Fig. 1 The root volume and the longest root length of *S. spectabile* under different substrate thickness treatments

2.3 不同基质厚度对铺地锦竹草和吊竹梅生长的影响

铺地锦竹草和吊竹梅均为匍匐生长的屋顶绿化常用地被植物。试验结果显示，吊竹梅生长速度快，4 组厚度处理中盖度达到 100% 较铺地锦竹草快 7 天以上（表 4-5）。基质厚度增加，供试植物达到完全覆盖所需天数减少，6 cm 厚度处理吊竹梅最快 36 天达到 100% 覆盖，6，8 cm 厚度处理铺地锦竹草最快 45 天达到 100% 覆盖。从吊竹梅生长情况来看，第 30 天时 4，6，8 cm 厚度

处理植株茎长较 2 cm 处理分别显著增加 28.57%、34.29%、20.00%（ $P<0.05$ ）；第 70 天时，8 cm 厚度处理植株鲜质量、干质量最高，4，6 cm 处理次之，2 cm 处理最低。此外，6，8 cm 厚度处理之间铺地锦竹草鲜质量、干质量、肉质化程度、茎长差异不明显，但均显著高于 2，4 cm 厚度处理（ $P<0.05$ ）。随着基质厚度增加，地被植物生长效果越好，综合来看，吊竹梅、铺地锦竹草达到快速覆盖时可选择最小基质厚度分别为 4，6 cm。

2.4 不同基质厚度对佛甲草和长寿花生长的影响

由表 6 可知，4 组基质厚度处理长寿花扦插条生长速度非常慢，第 50 天时新叶少、长势较差，株高增长量仅为 1.17~3.16 cm、分枝数仅为 2.5~3.2 个，其中 2 cm 厚度处理株高增长量显著低于其它三组处理（ $P<0.05$ ）。类似地，第 50 天 6，8 cm 厚度处理佛甲草株高、分枝数显著高于 4 cm 处理（ $P<0.05$ ），但 3 组处理佛甲草长势较差。

3 结论与讨论

屋顶绿化基质厚度直接影响植物生长质量和覆盖效率<sup>[21]</sup>，筛选满足屋顶绿化植物生长和快速覆盖的最小基质厚度，在保证屋顶绿化景观效果的同时也有利于适当降低对建筑屋顶负荷的影响。本研究结果显示，蓄水盆不同基质厚度对八宝景天、佛甲草、长寿花、吊竹梅、铺地锦竹草等简单式屋顶绿化地被植物生长效果存在差异，其中基质厚度达到 8 cm 时，直立生长型八宝景天地上部分以及根系生长指标最优；铺地锦竹草、吊竹梅则分别在最小基质厚度为 4 cm，6 cm 时可达到快速覆盖，这与其匍匐生长特性有关。佛甲草、长寿花则出现茎基部腐烂、成活率低等问题，基质越薄、成活率越低，推测可能与试验期间雨水较多引起薄层基质被淋散、导致扦插条无法固着

表 4 不同基质厚度处理吊竹梅生长指标

Tab. 4 The growth characteristics of *Z. pendula* under different substrate thickness treatments

| 基质厚度<br>Substrate thickness/<br>cm | 盖度 100%<br>100% cover-<br>age/d | 鲜质量<br>Fresh weight/<br>(g · pot <sup>-1</sup> ) | 干质量<br>Dry weight/<br>(g · pot <sup>-1</sup> ) | 肉质化程度<br>Carnification/% | 茎长<br>Stem length/cm | 分枝数<br>Branch<br>number/ 个 |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| 2                                  | 45.13 ± 2.02 a                  | 505.30 ± 5.74 c                                  | 36.24 ± 3.14 b                                 | 13.95 ± 1.02 ab          | 26.25 ± 0.75 b       | 8.0 ± 0.8 a                |
| 4                                  | 45.06 ± 4.16 a                  | 850.45 ± 36.10 b                                 | 66.08 ± 9.77 a                                 | 12.87 ± 0.53 b           | 33.75 ± 2.69 a       | 8.2 ± 0.5 a                |
| 6                                  | 36.31 ± 1.18 b                  | 923.63 ± 64.16 b                                 | 68.36 ± 5.82 a                                 | 13.51 ± 1.12 ab          | 35.25 ± 3.01 a       | 9.0 ± 0.6 a                |
| 8                                  | 38.42 ± 3.06 b                  | 1280.64 ± 143.25 a                               | 82.80 ± 9.01 a                                 | 15.47 ± 0.99 a           | 31.50 ± 1.94 ab      | 8.5 ± 0.5 a                |

注：吊竹梅茎长、分枝数测定时间为第 30 天，盖度、鲜质量、干质量、肉质化程度测定时间为第 70 天；表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Stem length and branch number were measured at 30 days after planting; coverage, fresh weight, dry weight and carnification extent were measured at 70 days after planting. The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 5 不同基质厚度处理铺地锦竹草生长指标

Tab. 5 The growth characteristics of *C. repens* under different substrate thickness treatments

| 基质厚度<br>Substrate thickness/cm | 盖度 100%<br>100% coverage/d | 鲜质量<br>Fresh weight/(g · pot <sup>-1</sup> ) | 干质量<br>Dry weight/(g · pot <sup>-1</sup> ) | 肉质化程度<br>Carnification/% | 茎长<br>Stem length/cm |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 2                              | 70.23 ± 8.16 a             | 263.84 ± 21.98 d                             | 20.52 ± 1.08 d                             | 12.86 ± 0.71 b           | 15.80 ± 2.46 c       |
| 4                              | 56.02 ± 2.69 b             | 561.72 ± 40.81 c                             | 35.84 ± 2.92 c                             | 15.67 ± 1.23 a           | 18.60 ± 3.33 bc      |
| 6                              | 45.45 ± 1.36 c             | 1092.00 ± 78.70 b                            | 63.96 ± 2.34 b                             | 17.07 ± 1.54 a           | 25.80 ± 1.59 ab      |
| 8                              | 45.26 ± 3.14 c             | 1266.84 ± 48.58 a                            | 77.72 ± 6.19 a                             | 16.30 ± 0.46 a           | 27.00 ± 2.92 a       |

注：铺地锦竹草茎长测定时间为第 30 天，盖度、鲜质量、干质量、肉质化程度测定时间为第 70 天。表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Stem length and branch number were measured at 30 days after planting; coverage, fresh weight, dry weight and carnification extent were measured at 70 days after planting. The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 6 不同基质厚度处理佛甲草、长寿花生长指标

Tab. 6 The growth characteristics of *S. lineare* and *K. blossfeldiana* under different substrate thickness treatments

| 基质厚度<br>Substrate thickness/cm | 佛甲草 <i>S. lineare</i>              |                          | 长寿花 <i>K. blossfeldiana</i>        |                          |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|
|                                | 株高增长量<br>Increased plant height/cm | 分枝数 / 个<br>Branch number | 株高增长量<br>Increased plant height/cm | 分枝数 / 个<br>Branch number |
| 2                              |                                    |                          | 1.17 ± 0.59 b                      | 2.7 ± 0.3 a              |
| 4                              | 4.13 ± 0.42 b                      | 3.13 ± 0.32 b            | 2.20 ± 0.47 ab                     | 2.7 ± 0.3 a              |
| 6                              | 6.11 ± 0.60 a                      | 5.21 ± 0.55 a            | 2.20 ± 0.11 ab                     | 2.5 ± 0.3 a              |
| 8                              | 6.18 ± 0.43 a                      | 4.90 ± 0.47 a            | 3.16 ± 0.48 a                      | 3.2 ± 0.4 a              |

注：佛甲草和长寿花株高增长量、分枝数测定时间为第 50 天。表中所示数值为平均值 ± 标准误，同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Increased plant height and branch number of *S. lineare* and *K. blossfeldiana* were measured at 50 days after planting. The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

生根有关, 因此佛甲草、长寿花最小基质厚度则需要继续开展试验研究。

一般地, 简单式屋顶绿化需要克服较为复杂的屋顶环境条件, 不同基质厚度保水、保肥能力不同, 对植物适应高温、干旱、低温等逆境条件效果存在差异。研究发现地被植物如凹叶景天 (*S. emarginatum*)、垂盆草 (*S. sarmentosum*)、虎耳草 (*Saxifraga stolonifera*)、玉龙草 (*Ophiopogon japonicus* 'Nanus') 等在基质厚度为 5 cm 时对高温干旱共同胁迫的耐受性更优于 1, 3 cm 处理<sup>[22]</sup>。本试验植物八宝景天、吊竹梅、铺地锦竹草在供试基质 4 种厚度中适应性好, 佛甲草、长寿花长势较差, 考虑到广州地区常见的高温、多雨等气候特点, 建议增加不同基质厚度影响地被植物抗逆效果的研究, 对于推广简单式屋顶绿化具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 杨玉培, 靳敏. 发展屋顶绿化, 增加城市绿量[J]. 中国园林, 2000(6): 26-29.
- [2] 罗玉奎. 发展屋顶绿化 建设宜居靓城[J]. 园林科技, 2011(2): 44-45.
- [3] LI Y L, BABCOCK R W. Green roofs against pollution and climate change. A review[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2014, 34(4): 695-705.
- [4] 刘伟. 中国广州与美国檀香山密集型屋顶绿化比较[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2014.
- [5] 张继方, 张俊涛, 刘文, 等. 广州地区地毯式屋顶绿化植物筛选及其评价[J]. *热带农业科学*, 2014, 34(12): 98-104.
- [6] 王晓晨, 张新波, 赵新华, 等. 绿化屋顶基质材料及厚度对屋面径流雨水水质的影响[J]. *中国给水排水*, 2015, 31(1): 95-99.
- [7] 王晓红, 谢修鸿. 北方城市屋顶花园中土层厚度与基质的选配对植物生长的影响研究[J]. *长春大学学报*, 2012, 22(8): 991-994.
- [8] 韩丽莉, 柯思征, 陈美铃. 容器式屋顶绿化在古建筑中的应用——以上海黄浦区政协人大屋顶绿化为例[J]. *中国园林*, 2015, 31 (11): 9-12.
- [9] GETTER K L, ROWE D B. Media depth influences *Sedum* green roof establishment[J]. *Urban Ecosystems*, 2008, 11: 361-372.
- [10] NARDINI A, ANDRI S, CRASSO M. Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants[J]. *Urban Ecosystems*, 2012, 15(3): 697-708.
- [11] FAN P, WANG K L. Evaluation of cold resistance of ornamental species for planting as urban rooftop greening[J]. *Forestry Studies in China*, 2011 (3): 239-244.
- [12] 赵怡心, 舒志君, 郑俊鸣, 等. 浅识屋顶花园及野生乡土植物在其设计中的应用[J]. *中国园艺文摘*, 2016, 32(3): 107-110.
- [13] 乔煜. 轻型环保屋顶绿化技术研究初探[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2015.
- [14] 郭惠斌, 战国强, 张克. 佛甲草在广东屋顶绿化中的推广应用[J]. *广东林业科技*, 2013, 29(4): 98-100.
- [15] 罗丹, 陈红跃, 刘乾. 5种屋顶绿化植物抗旱性研究[J]. *广东林业科技*, 2009, 25(6): 81-85.
- [16] 郭微, 李婷婷, 郑娟华, 等. 屋顶绿化植物松叶佛甲草的耐旱抗旱性研究[J]. *广东农业科学*, 2014, 41(15): 43-46.
- [17] 徐志平, 谭建萍, 李映萍, 等. 多毛马齿苋在华南地区园林绿化中的应用[J]. *绿色科技*, 2015 (1): 89-90.
- [18] 田青, 曹致中, 张睿. 基于数码相机和Auto CAD软件测定园林植物叶面积的简便方法[J]. *草原与草坪*, 2008 (3): 25-28.
- [19] 宋海鹏. 轻型屋顶栽培基质厚度对6种景天属植物坪用性状的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [20] 王家利. 自然干旱和盐处理对大叶落地生根肉质化和光合作用的影响[D]. 济南: 山东师范大学, 2006.
- [21] 周初梅. 园林规划设计[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2006.
- [22] 秦秋婕, 苏顺军, 冯磊. 4种屋顶绿化植物适应性及其最适基质厚度的选择研究[J]. *绿色科技*, 2016 (13): 216-221.