

轻型屋顶绿化植物栽培基质配方筛选研究

史正军^{1,2}, 范雅文²

(1. 深圳市中国科学院 仙湖植物园, 广东 深圳 518004; 2. 深圳市亚热带植物多样性重点实验室, 广东 深圳 518004)

摘要:以垂盆草(*Sedum sarmentosum*)、凹叶景天(*Sedum emarginatum*)、高景天(*Sedum kamtschaticum* var. *ellacombeum*)等 3 种景天科植物为供试植物,以堆肥、煤渣、陶粒、河沙等为原料,进行了不同配比的轻型屋顶绿化栽培基质配方试验;并采用聚类分析及投影寻踪综合评价方法,对栽培基质配方理化特性及栽培效果进行了比较,以期筛选出不同植物适宜的栽培基质配方。结果表明:采用投影寻踪综合评价方法可对植物多指标参数进行有效降维处理,是栽培基质筛选研究的良好方法;筛选出的栽培基质配方适宜我国轻型屋顶绿化系统特征,具有较好的推广前景。

关键词:轻型屋顶绿化;栽培基质;配方筛选

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)14-0073-05

轻型屋顶绿化是屋顶绿化的主要形式之一,具有荷载要求低、建造方便、管理粗放、便于推广等优势,已在国内外发展多年,尤其在德国等欧美发达国家发展最为成熟^[1-2],但在国内近年来才逐渐兴起。景天科植物普遍具有生长缓慢、抗旱、喜光、抗瘠薄等特点,已在轻型屋顶绿化中得到广泛应用^[3]。在轻型屋顶绿化栽培系统中,栽培基质不仅决定着植物生长,而且在雨水截留、建筑降温方面发挥着重要作用^[4-5]。现从我国轻型屋顶绿化的实际需要出发,选择当地方便易得的原材料,以不同材料配比来调节栽培基质的肥力水平,对比研究基质理化性质和植物栽培效果,以期筛选出适宜轻型屋顶绿化植物栽培需要的基质配方。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物垂盆草(*Sedum sarmentosum*)、凹叶景天(*Sedum emarginatum*)、高景天(*Sedum kamtschaticum* var. *ellacombeum*)均为轻型屋顶绿化常用的景天科植物。基质配制原料为木屑堆肥、煤渣、园艺陶粒、河沙。木屑堆肥有机质含量 37%,N、P、K 总量 3%,pH 6.5。

1.2 试验方法

试验设 11 个处理(表 1),按供试原料不同配比设置 9 个配方(F1~F9),以高肥力水平的草花栽培基质配方(CK1)和堆肥、自然土壤混合基质配方(CK2)为对照。

表 1 不同处理基质材料用量配比

Table 1 Proportion of different treatments of substrate

处理 Treatment	堆肥 Compost	煤渣 Coal cinder	陶粒 Ceramisite	河沙 River sand
F1	2	6	2	2
F2	2	8	3	3
F3	2	10	4	4
F4	4	6	3	4
F5	4	8	4	2
F6	4	10	2	3
F7	6	6	4	3
F8	6	8	2	4
F9	6	10	3	2
CK1	7	0	1	2
CK2	堆肥:土壤=4:6			

注:表中各数据为不同处理原料质量比例。

Note: The data in the table is mass ratio of different material in each treatment.

3 种供试植物均采用塑料育苗方盘扦插种植,方盘面积 0.13 m²。栽植前,先将各处理基质按表 1 不同配比用量混匀后分别装盘,再将事先准备好的植物枝条均匀插入盘中。垂盆草扦插密度为 40 株/盘;凹叶景天、高景天分别为 24 株/盘;基质层厚度均为 5 cm,每盘为 1 次重复,每处理设 4 次重复。栽培生长期由当年 5 月至翌年 4 月共 12 个月,期间灌溉按常规管理,不追施肥料。

1.3 项目测定

对表 1 所列不同基质的理化性质进行了取样分析,主要包括有机质(OM)、pH、全氮(TN)、全磷(TP)、全钾(TK)、碱解氮(AN)、有效磷(AP)、速效钾(AK)、EC、容重(BD)、总孔隙度(TPR)等。分析方法借鉴国家林业标准(LY/T 系列)的相关规定^[6]。植物收获后,测定垂盆草的地上、地下部分的鲜重和干重;测定凹叶景天的叶

第一作者简介:史正军(1976-),男,博士,高级农艺师,研究方向为城市土壤及废弃物资源利用。E-mail:shizj1976@163.com.

基金项目:广东省科技计划资助项目(2010B020402003)。

收稿日期:2013-03-07

干重、根鲜重、分枝数、总覆盖面积、单株覆盖面积;测定高景天的地上和地下部分的干重。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件及 DPS 统计分析软件对所得数据进行了分析。统计方法包括多重比较、聚类分析及投影寻踪综合评价法^[7]等。投影寻踪综合评价法是处理高维问题,特别是高维非正态问题的新兴统计方法。已在生态学等领域得到良好的应用^[8-9]。投影寻踪建模过程包括:①样本评价指标集的归一化处理;②构造投影指标函数;③优化投影指标函数;④分类(优序排列)。把由步骤③求得的最佳投影方向代入模型可得各样本点的投影值。

表 2

不同配方基本理化性质

Table 2

The physical-chemical properties of substrates

处理号	有机质	pH	EC	全 N	全 P	全 K	碱解 N	有效 P	速效 K	容重	总孔隙度
Treatment	OM/g · kg ⁻¹		/mS · cm ⁻¹	TN/g · kg ⁻¹	TP/g · kg ⁻¹	TK/g · kg ⁻¹	AN/mg · kg ⁻¹	AP/mg · kg ⁻¹	AK/mg · kg ⁻¹	BD/g · cm ⁻³	TPR/%
F1	50.2	8.3	0.59	1.37	0.23	2.50	114.5	24.7	679.0	0.61	0.83
F2	37.5	8.1	0.82	1.03	0.18	1.88	85.9	18.5	409.3	0.63	0.83
F3	30.0	8.3	0.54	0.82	0.14	1.50	68.7	11.8	407.4	0.64	0.82
F4	70.6	7.9	0.71	1.93	0.33	3.53	161.6	34.8	958.6	0.54	0.76
F5	66.1	8.0	0.68	1.82	0.31	3.33	152.7	32.9	905.3	0.58	0.87
F6	63.5	8.0	0.70	1.73	0.29	3.16	144.6	31.2	857.7	0.59	0.83
F7	94.8	7.9	0.75	2.59	0.44	4.74	216.9	46.7	1 086.5	0.51	0.81
F8	90.9	7.9	0.70	2.46	0.42	4.50	206.1	44.4	1 222.2	0.53	0.78
F9	85.0	7.8	0.81	2.34	0.40	4.29	196.3	42.3	1 164.0	0.56	0.87
CK1	254.3	6.4	1.15	8.82	1.28	14.3	602.5	157.1	3 596.2	0.57	0.72
CK2	68.7	6.1	0.46	1.05	0.67	2.44	125.6	37.5	550.0	0.61	0.53

分别采用 R 型聚类(即指标聚类)和 Q 型聚类(即样本聚类)方法对基质理化性质进行了多变量分析,得到各指标的 R 型聚类枝状图和各处理样品的 Q 型聚类枝状图,见图 1、2。

由图 1 可以看出,有机质指标与其它指标的疏远程度最大,明显可以单独归为 1 类,其次为 pH。由此可见,第 1 类群为有机质指标、第 2 类群为 pH 指标、第 3 类群为 EC、养分、容重等指标,由于第 3 类群各指标的疏

2 结果与分析

2.1 不同基质配方理化特性的聚类分析

从表 2 可以看出,处理 1~9 的有机质含量、N、P、K 养分水平均远低于 CK1,而与 CK2 整体相近。CK1 是专门针对草花栽培而设计的配方,并已在草花生产中得到成功的应用。CK2 处理模拟肥力良好的自然土壤栽培条件,借此来比较自然土壤栽培与无土基质栽培的效果差异。由表 2 还可以看出,各处理间基质的容重、总孔隙度变化不大;处理 1~3 处于相对低肥力水平,处理 4~6 处于相对中肥力水平,处理 7~9 处于相对高肥力水平。

远关系很小,因此不必再划分。该分析结果的意义在于可以用有机质、pH 等少数指标来评价栽培基质的性质。

由图 2 可以看出,对照 2 与其它样本的相似性最小。按所列的不同处理样本相似性距离远近,可以大致分为 3 类,第 1 类为 CK2,第 2 类为处理 6~9 及 CK1,第 3 类为处理 1~5。表明由于 CK2 是自然土壤和堆肥的混合物,而其它处理均为无土配方,所以二者之间的综合性质有着明显的差别。

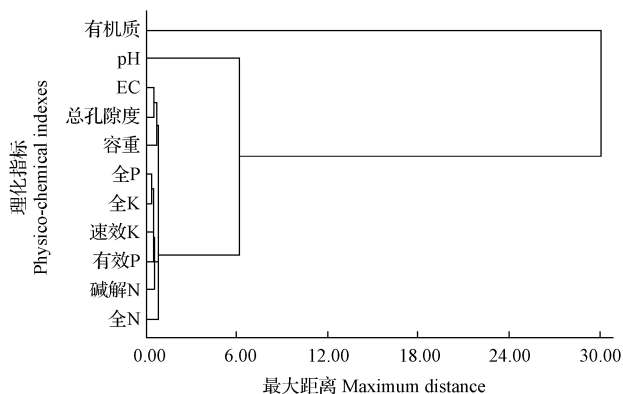


图 1 基质理化指标最大距离法的 R 型聚类枝状图

Fig. 1 The R clustering tree of physical-chemical properties of substrates by maximum distance method

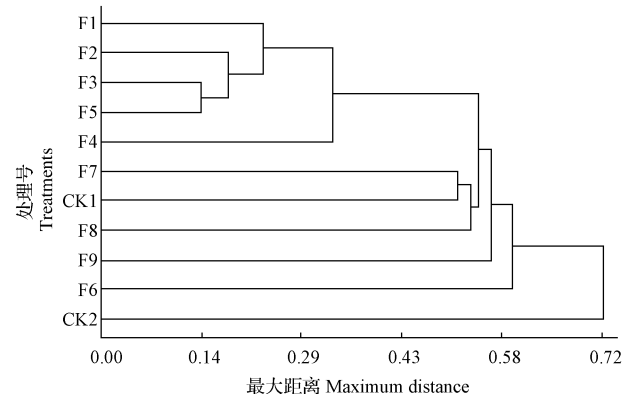


图 2 栽培基质不同配方最大距离法的 Q 型聚类枝状图

Fig. 2 The Q clustering tree of physical-chemical properties of substrates by maximum distance method

2.2 3种屋顶绿化植物的栽培结果及分析

表3~5为垂盆草、凹叶景天、高景天的指标测定结果。垂盆草F1~F9号配方的地上、地下部生长量及根冠比总体上均高于CK1和CK2;F3号配方在各处理中根冠比最大。由表4可以看出,凹叶景天F7~F9号配

方及2个对照处理的各指标总体高于其它处理。由表5可以看出,土壤栽培对照处理的高景天地上、地下干生物量均最大,但根冠比最小。结合表3~5,可以发现各供试植物不同指标对基质配方反应不一致,难以通过单指标对基质优劣进行筛选。

表3 不同栽培配方处理的垂盆草各指标

Table 3 Properties of *Sedum sarmentosum* in different treatments

处理 Treatment	地上部鲜重 Fresh weight of aboveground part/g	地上部干重 Dry weight of aboveground part/g	地下部鲜重 Fresh weight of underground part/g	地下部干重 Dry weight of underground part/g	鲜根冠比 /×100 Fresh R/S ratio/×100	干根冠比 /×100 Dry R/S ratio/×100
F1	775.97b	70.18a	14.95ab	5.79b	1.93b	8.26bc
F2	658.27d	57.17c	13.13b	4.29bc	1.99b	7.51c
F3	704.71c	60.22b	17.09a	7.14a	2.42a	11.86a
F4	855.31a	68.06a	10.98c	5.25b	1.28d	7.72c
F5	754.53bc	63.09b	12.54b	5.01bc	1.66c	7.95bc
F6	728.53bc	45.26d	17.99a	4.09c	2.47a	9.05b
F7	786.01b	66.05ab	12.9b	2.42d	1.64c	3.67d
F8	718.2bc	63.68ab	12.96b	2.48d	1.81b	3.89d
F9	647.38d	46.28d	8.19d	2.38d	1.27d	5.15cd
CK1	668.00d	51.49cd	10.81c	2.88d	1.62bc	5.6cd
CK2	351.81e	27.25e	4.53e	0.94e	1.29d	3.43d

注:数据为同一处理4次重复的平均值。同列具有相同字母标记的数字间无显著差异(LSD法, $P<0.05$)。下同。

Note: Data presented in the table are mean values of four repetitions in the same treatments. The same letter in the same column represents that there is no difference among different treatments($P<0.05$). The same below.

表4 不同栽培配方处理的凹叶景天各指标

Table 4 Properties of *Sedum emarginatum* in different treatments

处理 Treatment	叶鲜重 Fresh weight of leaf/g	地上部鲜重 Fresh weight of aboveground part/g	分枝数 Branching number	总覆盖面积 Total cover area/cm ²	单株覆盖面积 Individual cover area/cm ²
F1	94.6b	10.6b	221.6b	644.3cd	169.1d
F2	57.0d	4.8d	160.2d	498.8e	174.1d
F3	73.8c	6.0d	198.2c	790.0c	209.7c
F4	58.6e	5.6d	167.0c	467.6e	148.1e
F5	92.4b	9.4bc	198.4b	681.9cd	187.2d
F6	75.4c	7.2c	211.0b	672.2cd	199.7cd
F7	99.4c	10.2b	203.6b	904.6ab	342.2a
F8	81.4c	10.4b	204.4b	585.7d	168.4e
F9	95.4b	15.2a	211.4a	803.5c	225.9c
CK1	167.2a	11.2b	302.8a	1100.5a	302.8ab
CK2	275.2a	15.4a	269.2a	1418.8a	423.4a

表5 不同栽培配方处理的高景天各指标

Table 5 Properties of *Sedum kamtschaticum* var. *ellacombeanum* in different treatments

处理 Treatment	地上部干重 Dry weight of aboveground part/g	地下部干重 Dry weight of underground part/g	干根冠比 /×100 Dry R/S ratio/×100
1	3.3a	8.5b	39.7a
2	1.7c	5.1d	28.8ab
3	2.6b	7.5bc	35.5a
4	1.8c	5.0d	37.1a
5	2.2bc	8.7b	25.3b
6	1.9c	6.8c	28.9ab
7	2.3b	8.4b	27.0b
8	2.3b	6.1cd	36.0a
9	3.1a	8.3b	40.1a
CK1	2.7b	10.5b	25.1b
CK2	3.6a	22.7a	16.7c

2.3 最优栽培基质配方筛选的综合评价分析

由于植物对栽培基质配方的生长反应不一致,不能从植物单项指标评价进行对栽培配方的筛选,需通过综合评价的方法降维处理,对各植物适宜的基质配方进行筛选。现应用 DPS 统计软件的投影寻踪回归程序,对该试验设置的 9 个配方处理栽培试验的植物指标进行了分析,求得不同栽培基质配方的植物综合指标(即投影值)。

由图 3 可以看出,垂盆草、凹叶景天、高景天对于不同基质配方的反应具有较好的一致性。7 号配方 3 种植物指标的投影值均最高,且均在零点投影值以上,故可以推断其为最优配方,9 号配方的 3 种植物指标的投影值也均在零点投影值以上,说明该配方也较好。3 号配方对垂盆草栽培效果较好,对于凹叶景天栽培也较适合,但对于高景天栽培则不理想;总体来说,2 号和 4 号配方的栽培效果最差。

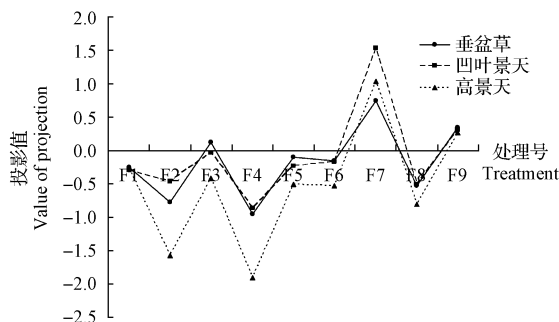


图 3 投影寻踪综合评价法不同配方处理的投影值

Fig. 3 The projection value of different treatments by a projection pursuit method

3 结论与讨论

在著名的德国屋顶绿化 FLL 标准^[5]中,规定了轻型屋顶绿化栽培基质的有机质含量为 30~80 g/kg,相应的养分水平也很低,仅为自然土壤的 1~3 倍。该试验通过筛选得出 3 个适宜景天科植物栽培的基质配方,其有机质和养分水平与 FLL 标准基本一致。与欧美国家轻型屋顶绿化强调植被自然生长的理念不同,我国目前的轻型屋顶绿化对景观效果要求相对较高,植物栽培也具有高密度、草坪化模式的需求。因此,在保证植被系统安全、稳定的前提下,采用适度高肥力水平的栽培基

质符合我国轻型屋顶绿化发展的实际。建议对于需要成坪栽植的屋顶绿化植物,如垂盆草、佛甲草等,尽量选择肥力水平较低的基质,如该研究筛选出的 3 号配方。这是因为成坪植物栽培密度高,个体生长势较弱,应诱导其稳定生长,提高整体抗逆性;7 号、9 号基质配方则适用于栽培密度低、肥力要求相对较高的屋顶绿化植物。

以工农业废弃物替代自然土壤、泥炭等不可再生资源配制栽培基质,将是轻型屋顶绿化今后发展的方向^[2,10]。该研究所选的栽培基质原料中,木屑废弃物堆肥是良好的有机原料,煤渣等废弃物材料也在近年来开始在土壤改良等农业、环保领域中得到应用^[11-12]。此外,可用于轻型屋顶绿化栽培基质的废弃物材料还有很多,应根据当地实际情况,以严谨的科学态度,充分研究挖掘当地廉价、易得的原料资源,尤其应注重对废弃物资源的循环利用。

参考文献

- [1] Werner Peter Kuesters Germany. 德国屋顶花园绿化[J]. 中国园林, 2005, 21(4): 71-75.
- [2] Getter K L, Rowe D B. The role of extensive green roofs in sustainable development[J]. Hort Science, 2006, 41(5): 1276-1285.
- [3] 周媛, 徐冬云, 董艳芳, 等. 9 种轻型屋顶绿化景天属植物的抗旱性研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(25): 294-301.
- [4] Carter T, Keeler A. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems[J]. J Environ Manage, 2008, 87(3): 350-363.
- [5] Carrillo L, Jauch M, Meinken E. Determination of substrate quality for extensive green roof according to FLL guideline[J]. Acta Horticulture, 2012, 938: 431.
- [6] 中国标准出版社第二编辑室. 环境监测方法标准汇编-土壤环境与固体废物[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [7] 唐启义. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析 & 数据挖掘[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2010.
- [8] 陈广洲, 汪家权. 基于投影寻踪的城市生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4918-4923.
- [9] 禹明甫, 张艳枝, 刘军和. 基于投影寻踪回归方法对李小食心虫种群空间格局的分析[J]. 生态科学, 2008, 27(6): 474-477.
- [10] Jim C Y, Peng L L H. Substrate moisture effect on water balance and thermal regime of a tropical extensive green roof[J]. Ecological Engineering, 2012, 47: 9-23.
- [11] Schlossberg M J, Vanags C P, Miller W P. Bermudagrass sod growth and metal uptake in coal combustion by-product-amended media[J]. Journal of Environmental Quality, 2004, 33(2): 740-748.
- [12] 崔理华, 朱夕珍, 骆世明, 等. 煤渣-草炭基质垂直流人工湿地系统对城市污水的净化效果[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 597-600.

Study on the Substrate Formulation Screening of Lightweight Roof Greening

SHI Zheng-jun^{1,2}, FAN Ya-wen¹

(1. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen and Chinese Academy of Science, Shenzhen, Guangdong 518004; 2. Key Laboratory of Southern Subtropical Plant Diversity, Shenzhen and Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518004)

凤仙花属不同花色株系间色素及营养物质含量的差异性研究

张永福^{1,2}, 吕金富³, 韩丽^{1,2}, 任禔^{1,2}, 莫丽玲^{1,2}, 吕晶^{1,2}

(1. 昆明学院 农学院, 云南 昆明 650214; 2. 云南省高校都市型现代农业工程研究中心, 云南 昆明 650214;

3. 云南省会泽县五星乡农业综合服务中心, 云南 会泽 654202)

摘要:以凤仙花的9种花色株系为试材,通过盆栽试验,测定花瓣、叶片和茎干的色素物质、非结构性碳水化合物及可滴定酸含量,并进行了相关性分析。结果表明:花瓣越红,花青苷含量越高,且差异显著;橙色、浅红和白色花瓣的类黄酮和总酚的含量显著低于深红色系花瓣;粉红、浅红和紫红色花瓣类胡萝卜素含量显著高于其它色系花瓣;但紫色花瓣中花青苷含量较低,说明其主要色素物质可能不是花青苷。此外,在叶片和茎干内也检测到了少量的花青苷,花色越红其含量越高。各试材间叶片叶绿素a含量差异不大,而红色花瓣的株系叶片叶绿素b和叶绿素a+b含量显著高于白色和浅红色株系。通过相关性分析发现,花瓣可溶性糖含量与花青苷含量呈显著正相关;类黄酮含量与叶片淀粉和可滴定酸含量呈显著正相关,而与叶片淀粉含量呈极显著负相关;花瓣总酚含量与可滴定酸含量呈显著正相关;类胡萝卜素含量与叶片可滴定酸呈极显著正相关,而与茎干淀粉含量呈极显著负相关。

关键词:凤仙花;株系;色素;营养物质;相关性

中图分类号:S 681.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)14-0077-05

凤仙花属(*Impatiens* L.)主要分布于热带和亚热带地区,目前作为观赏植物广泛栽培的种类有凤仙花(*I. balsamina*)和新几内亚凤仙(*I. hawkeri*)等^[1]。其中,凤仙花原产中国、印度和马来西亚,在我国大部分地区也有分布,多栽植于庭院作观赏用,也可入药。新几内亚凤仙是目前风靡世界的草花新秀,广泛用于盆栽、吊篮

及各种花坛景观布置,因其花朵漂亮、色彩丰富,以及花期极长和适应性较强而备受消费者青睐^[2]。无论是凤仙花还是新几内亚凤仙均具有丰富花色、花期长、抗性强、易栽培等特点,在园林造景中应用广泛^[3]。此外,二者全草、种子、茎、叶、花、根和果皮均可入药,有祛风、活血、消肿、止痛之功效^[4],且作为天然色素资源,充分开发利用以替代人工合成色素,使其在食品、制药以及化妆品生产等领域发挥重要作用^[5-6]。

凤仙花除了含有普通植物所共有的碳水化合物、脂质、蛋白质、单宁等常规化学成分外,还含有多种醌类和黄酮类化合物。研究表明,凤仙花中的醌类和黄酮类化合物具有抗菌、抗氧化等活性,故可用于医疗保健、天然食品添加剂及化妆品生产^[7]。该研究通过分析不同花

第一作者简介:张永福(1981-),男,博士,讲师,研究方向为花卉遗传育种。E-mail: yeefoo@163.com.

基金项目:云南省教育厅科学研究基金资助项目(2012Z097);昆明学院引进人才科研资助项目(YJL11030, YJL12002);昆明学院科学研究资助项目(XJ11L005)。

收稿日期:2013-03-05

Abstract: Taking three Crassulaceae plants *Sedum sarmentosum*, *Sedum emarginatum*, and *Sedum kamtschaticum* var. *ellacombeum* as test materials, and taking sawdust compost, coal cinder, horticultural ceramisite and river sand as the component materials in the substrate formulation, the substrate formulation screening test of different ratios in lightweight roof greening was done. The substrate physical-chemical properties and cultivation effect were evaluated by cluster analysis and projection pursuit method, in order to screen the optimum formulations. The results showed that efficiency of the projection pursuit method was demonstrated to substrate formulation screening by reducing the multiple parameters of plant growth, and the obtained substrate formulations were fit for the characters of lightweight roof greening system in China, promising with preferable promotion value.

Key words: lightweight roof greening; culture substrate; formulation screening