

基于建筑废弃物和园林废弃物利用的立体绿化栽培基质研究^{*}

Cultivation Substrate for Vertical Greening Based on the Use of Building Waste and Greening Waste

王佳 武琳苑 赵秀芳^{*}

WANG Jia, WU Lin-yuan, ZHAO Xiu-fang^{*}

摘要: 为减少泥炭的开采和提高废弃物资源的回收再利用率,探讨建筑废弃物和园林废弃物作为立体绿化栽培基质原料的可行性,将建筑废弃物、园林废弃物和黄壤土作为原料,按三因素三水平正交试验,最终得到了8种栽培基质配方。对不同栽培基质配方的容重、通气孔隙度、最大毛管持水量、有机物含量、有效磷、速效钾、碱解氮和pH值进行测定,结果表明:配方2(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:1.5:1)符合《立体绿化栽培基质通用技术标准》(T/CABEE 005—2020)相关要求,与商品化基质和常规黄壤土相比,对佛甲草 *Sedum lineare*、锦竹草 *Callisia repens* 和大花马齿苋 *Portulaca grandiflora* 生长促进效果更为明显。

关键词: 立体绿化; 屋顶绿化; 建筑废弃物; 园林废弃物; 栽培基质

中图分类号: S688

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641(2023)06-0083-04

收稿日期: 2022-08-30

修回日期: 2023-03-06

Abstract: In order to reduce the exploitation of peat and improve the recycling of waste resources, and to explore the feasibility of building waste and greening waste as raw materials for vertical greening cultivation substrate was studied. 8 kinds of cultivation substrates were obtained by using construction waste, greening waste and yellow loam through orthogonal design trial L9 (3³). Determination of bulk density, aeration porosity, water holding capacity, the organic compound, available phosphorus, exchangeable potassium, hydrolyzable nitrogen, and pH of different cultivation substrate formulations showed that No.2 (greening waste : construction waste: yellow loam =1 : 1.5 : 1) met the requirements of the *Technical Standard of Cultivation Substrates for Vertical Greening* (T/CABEE 005-2020). It had a more pronounced growth-promoting effect on *Sedum lineare*, *Callisia repens* and *Portulaca grandiflora* compared with commercialised substrates and yellow loam.

Keywords: Vertical greening; Roof greening; Building waste; Greening waste; Cultivation substrate

随着城市化的快速发展,城市绿地空间不断被占据,城市热岛效应、雾霾现象、城市内涝等生态环境问题频发。屋顶绿化作为立体绿化的主要形式之一,不仅弥补了传统平面绿化面积有限的不足,还有利于建筑节能和生态环境改善,具有重要的生态、社会及经济效益^[1-2]。由于屋顶条件有限,屋顶绿化技术体系不仅要考虑屋顶的承重能力,还须考虑强光照、干旱、大风、极端温度等恶劣自然条件对其稳定性的考验。栽培基质不仅决定着植物生长,也在雨水截留、建筑降温等方面发挥着重要作用,而且对整个体系长期稳定起着关键作用^[3-4]。因此,以我国屋顶绿化轻型化发展的趋势来看,选择当地方便易得的原材料,配制重量轻、持水性能好、透气性良好、营养适中的基质材料非常重要^[5-7]。

目前,用于屋顶绿化的栽培基质主要有3种:自然土壤、改良土和人工轻质栽培基质^[4, 8]。自然土壤最初常被作为屋顶绿化栽培基质,但其存在密度高、质量大、运输难、透气性差、易携带较多的病原体和杂草种子等问

题。随着自然土壤资源的日益贫乏及屋顶绿化轻质化的普及,人工轻质栽培基质被越来越多地应用^[4]。屋顶绿化的栽培基质原料一般有两类:一是无机材料,二是天然的有机材料或者废弃物有机材料^[9]。无机材料可改善土壤透气性、排水性、容重等物理性质,包括岩棉、蛭石、陶粒、炉渣、珍珠岩、浮石等^[10]。但传统的无机材料在长期使用后,易发生分解、上浮流失、堵塞等问题,如蛭石较容易被破坏,需要经常更换;珍珠岩相对密度比较小,当浇水过多时,会上浮流失;陶粒在连续使用后会盐分堵塞孔隙,影响过滤,且易破碎等^[11]。已有学者以年产量日益增长的建筑废弃物为研究对象,证明其作为基质中的无机材料具有良好的物理性质,具有一定的应用价值和前景,目前正被逐渐利用^[12-14]。有机材料包括泥炭、堆肥、沼渣、秸秆、经济作物副产品(秸秆、稻壳、动物粪便、蔗渣、椰壳)等^[10],其中泥炭有机质含量高,保肥性能好,曾被人们广泛应用,但天然的泥炭资源有限且成本较高,过度开采泥炭会进一步影

^{*}基金项目:广东省重点领域研发计划项目(2019B020214005);企业自主研发项目(KY-0087)

响生态环境。近年来,学者们发现通过堆肥获得废弃物有机材料是代替泥炭土开采的有效途径,能有效控制有害病原菌的传播,具有巨大的市场前景^[15]。

因此,本研究利用园林废弃物和建筑废弃物,研究理化性能稳定、原材料来源广泛、价格低廉、重量轻、排水性能好、营养适中和便于标准化的屋顶绿化栽培基质,以期为废弃料减量化提供参考,对于促进废弃物资源的有效利用和节约城市绿化成本具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

试验场地位于东莞市松山湖高新区中大365园区岭南生态科学研究院6楼露台。试验于2021年11月1日进行基质调配、晾晒,于12月15日进行幼苗移栽,于2022年6月15日结束。试验期间,屋顶最低气温为10℃,最高气温为38℃。

基质材料为园林废弃物、建筑废弃物、黄壤土。园林废弃物为市政园林废弃物的二次粉碎发酵物,粒径在1~4 mm。建筑废弃物由红砖和混凝土块组成,两者分别经人工粉碎过筛至3~6 mm,按9:1比例混合(红砖于东莞市制砖厂购买,混凝土于建筑施工地收集)。黄壤土为广东省东莞市松山湖中大365园区裸露地表层土。

植物材料为佛甲草 *Sedum lineare*、锦竹草 *Callisia repens* 和大花马齿苋 *Portulaca grandiflora*, 均为常用的屋顶绿化植物,具有叶片较小且肉质,茎匍匐或平卧,多分枝、适应性强等特点。

1.2 试验设计

采用三因素三水平的正交设计方案^[16],按照体积比对原料进行混合,最终得到8种配方(表1~2)。基质晾晒结束之后,进行随机取样,采用四分法测定每种基质配方的营养成分(有效磷、速效钾、碱解氮、pH)。开始试验时,每个处理设置6盆,随机排列,在每盆种植1株长势相近的月见草 *Oenothera biennis*。于栽植3个月(2022年3月)对基质配方进行型式检验,取样时采用不同深度混合的随机取样法,以单盆为一个重复,每个处理重复6次,并结合基质配方的营养成分数据进行评估,从而确定最佳的配比方案,用于开展后续试验。进一步利用筛选出的最佳配比方案与市场中的商品化基质和常规黄壤土进行同等条件栽植比对,并施以2 g/L的复合肥(N:P:K=15:15:15)。期间每60天进行一次拍照统计,从而综合评价基质性能。

1.3 试验方法

对不同处理的配方基质的理化性质进行取样分析,其中,物理性质即型式检验指标,包括容重、通气孔隙度、最大毛管持水量、有机物含量,参照《立体绿化栽培基质通用技术标准》(T/CABEE 005-2020)的相关方法测定;化学性质即基质养分指标,有效磷、速效钾、碱解氮的测定参照《森林土壤有效磷的测定》(LN/T 1233-

1999)中的浸提-钼锑抗比色法、火焰光度计法和碱解扩散法,土壤pH参照《土壤pH的测定》(NY/T-1377-2077)中的电位法进行测定。

1.4 数据分析

采用SPSS 23.0软件进行数据分析,采用Duncan多重比较检验进行单因素分析($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同基质配方的营养状况

8个处理间的养分状况具有显著差异(表3)。其中,有效磷、速效钾、碱解氮3个指标含量最高的处理组为S7,最低的为S3;各处理pH变化范围较小,为6.11~6.53,符合技术要求。总体而言,S7(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:1.5:0)中园林废弃物原料的配置比例最高,富含有机材料,因此养分含量最高;反之,S3(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:2:2)养分含量最低。

2.2 不同基质配方的物理性质

8个处理间的物理性质也有显著差异(表4)。其中,S3的容重显著高于其他处理,且超出技术标准范围;S3、S4、S6的通气孔隙度低于技术标准范围;8个处理的最大毛管持水量在30.01%~62.38%,均符合技术标准;各处理间的有机物含量差异显著,仅S2、S3符合技术要求。以上4项指标反映了基质的单位体积重量、透气性能、持水性能和有机成分比例,是基质物理性质的关键指标。因此,S2(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:1.5:1)符合技术标准推荐的屋顶绿化基质理化性质要求。

表1 试验方案三因素三水平正交表 $L_9(3^3)$

水平	因子		
	园林废弃物	建筑废弃物	黄壤土
1	1	1	0
2	2	1.5	1
3	3	2	2

表2 基质处理原料配比

序号	处理	基质配比(体积比)
1	S1	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:1:0
2	S2	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:1.5:1
3	S3	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:2:2
4	S4	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=2:1:1
5	S5	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=2:1.5:2
6	-	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=2:2:0
7	S6	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:1:2
8	S7	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:1.5:0
9	S8	园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:2:1

注:序号6处理与序号1处理基质成分配比重复

2.3 不同基质对植物生长状况的影响

通过前期的筛选研究,初步确定S2处理为最佳配方。利用3种常见的屋顶绿化植物,对S2混合基质与商品化基质、常规黄壤土进行等条件种植比对,发现:同其他2种基质相比,S2混合基质中佛甲草(图1)的生物量在种植30 d时明显增加,在90 d达到最大,其长势好。锦竹草(图2)生长速度较慢,30 d时无明显差异,90 d时匍匐茎数量明显增多,180 d时S2混合基质中的锦竹草色泽浓绿,叶片整齐,而其他2种基质中的植物长势较差,呈现凋落趋势。大花马齿苋(图3)在种植90 d时出现差异,在S2混合基质与商品化基质中萌蘖次数多,而在黄壤土中植株矮小;S2混合基质中的大花马齿苋在180 d时持续开花,花量较大,而其他2种基质中的植物叶片脱落,呈现枯萎死亡的趋势。

3 结论与讨论

不同的基质材料有不同的理化性质,有机材料和无机材料的配比对基质的整体理化性质有很大的影响^[17]。有机基质材料的优点在于具有团聚作用,能为植物生长提供正常的养分供应,保持混合物的疏松,稳定混合物的容重。而无机基质材料多具有持水能力强、空气孔隙大、水力传导率高和化学稳定性强的特点^[18]。在本研究中的基质配比试验中,随着园林废弃物占比的增

加,基质的容重减少,最大毛管持水量增加,基质营养成分增加,如S7(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:1.5:0)、S8(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=3:2:1)的园林废弃物占比较高,则容重较低,通气孔隙度和最大毛管持水量较大。S4(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=2:1:1)虽然最大毛管持水量也较大,但通气孔隙度较小,可能是因为S4中添加的大量黄壤土填充了园林废弃物和建筑废弃物的孔隙。毛管持水量的大小部分取决于有机物含量,因为有机物含量较高的材料,能显著提高土壤田间持水量^[19]。但有机物含量过高和细小颗粒比例较高的材料饱和导水率较低,因为有机物含量高的材料表现出一定的疏水性,导致基质易流失^[20]。在本研究中,随着建筑废弃物的添加,基质中的有机物含量减少,最大毛管持水量降低,如S2(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:1.5:1)、S3(园林废弃物:建筑废弃物:黄壤土=1:2:2)。本研究所调制的基质配比的营养成分满足标准要求,进一步结合型式检验结果,从而确定S2处理为最佳配方。

通过观察佛甲草、锦竹草和大花马齿苋的生长情况,得出S2混合基质与商品化基质、黄壤土相比,对植物的株高和覆盖度具有更加明显的促进作用。这可能是因为S2混合基质中经过人工调控堆肥处理后的园林废弃物可以为植物生长提供全面的营养物质,而建筑废弃物能有效降低土壤容重,增加土壤孔隙度,提高土壤的透

表3 不同基质配方的营养状况

处理	有效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	碱解氮/(mg/kg)	pH
S1	148.74±3.58 cd	1 108.33±10.14 e	186.67±1.23 d	6.49±0.10 a
S2	122.19±4.27 ef	1 040.00±34.03 f	133.00±1.62 f	6.53±0.09 a
S3	99.91±5.00 f	1 013.33±20.88 f	118.53±3.27 g	6.34±0.06 ab
S4	163.92±0.82 bc	1 628.33±15.90 b	212.80±0.81 b	6.24±0.11 b
S5	129.3±3.76 de	1 181.67±26.82 d	150.27±4.45 e	6.11±0.05 b
S6	178.14±15.61 b	1 530.00±5.00 c	203.00±0.81 c	6.17±0.01 b
S7	206.12±2.84 a	1 995.00±20.00 a	242.67±1.23 a	6.13±0.02 b
S8	171.03±2.17 bc	1 568.33±26.03 bc	191.80±2.91 d	6.20±0.02 b

注:同一列数据(平均值±标准差,n=6)的不同字母表示处理间存在显著差异($P<0.05$),下同

表4 不同基质配方的物理性质

处理	容重/(g/cm ³)	通气孔隙度/%	最大毛管持水量/%	有机物含量/%
标准要求	0.4~0.9	≥20	30~80	≤15
S1	0.69±0.01 d	31.02±1.65 a	44.21±2.72 cd	22.55±1.52 b
S2	0.88±0.06 b	22.62±1.26 bcd	35.67±1.84 de	14.35±0.19 d
S3	0.97±0.04 a	17.88±2.88 cd	33.01±1.59 e	11.75±0.88 d
S4	0.74±0.03 c	12.67±4.56 e	62.38±4.30 a	24.62±1.01 b
S5	0.87±0.03 b	20.43±0.42 cd	38.69±0.12 de	18.93±0.46 c
S6	0.74±0.01 c	17.43±1.73 de	55.51±2.33 ab	24.83±0.24 b
S7	0.56±0.04 e	29.10±1.20 ab	60.66±5.28 a	30.88±1.25 a
S8	0.70±0.02 d	25.10±1.60 abc	49.07±0.88 bc	25.58±1.11 b

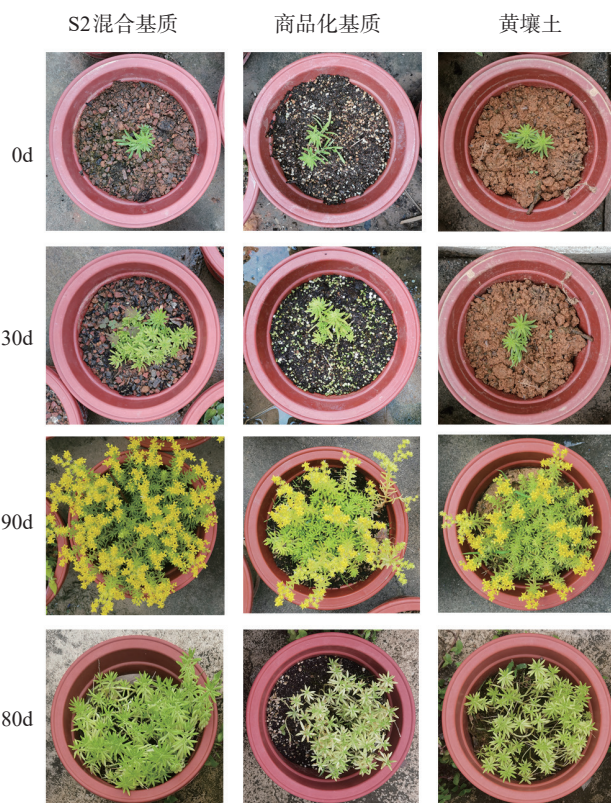


图1 佛甲草在不同基质上的生长表现

气性和蓄水性,改善土壤质地和生长环境,故促进植物的生长。从效益回报来说,试验阶段的S2混合基质成本为0.41元/L,商品化基质价格为0.83元/L,故S2混合基质更具有价格优势,开发潜力更为突出。因此,充分利用废弃物开发栽培基质,不仅可以保护环境,节约能源,

还能保障植物正常生长,并且降低成本,为最终实现资源的合理化、最大化利用发挥重要的作用。

注:图片为作者自摄

参考文献:

- [1] 冯晓燕,殷金岩,汪田野,等.屋顶绿化基质及植物耐旱性研究[J].江苏农业科学,2020,48(10):162-168.
- [2] 陆芸.绿色屋顶的生态效益研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [3] 和晓艳.屋顶绿化的相关技术研究[D].南京:南京林业大学,2013.
- [4] 史正军,雷江丽,谭一凡,等.轻型屋顶绿化栽培基质的研究[J].深圳土木与建筑,2005(2):52-54.
- [5] GRACESON A, HARE M, MONAGHAN J, et al. The water retention capabilities of growing media for green roofs[J]. Ecological Engineering, 2013, 61: 328-334.
- [6] OLLY L, BATES A, SADLER J, et al. An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2011, 10(4): 311-316.
- [7] 中国建筑节能协会.立体绿化栽培基质通用技术标准: T/CABEE 005—2020[S].北京:中国建材工业出版社,2020.
- [8] 黄森木.屋顶绿化的种植基质[J].湖南林业,2007,34(9):23.
- [9] A'SAF T, AL-AJLOUNI M, AYAD J Y, et al. Performance of six different soilless green roof substrates for the Mediterranean region[J]. Science of the Total Environment, 2020, 730: 139182.
- [10] 张智斌,王蕾,杜喜春.屋顶绿化无土栽培基质问题研究[J].陕西农业科学,2014,60(9):61-63.
- [11] 李雪梅,廖立兵,曾青云,等.蛭石的有机改性研究进展[J].矿物岩石地球化学通报,2007,26(4):410-418.
- [12] CASTRO M, ROSSO A, OSORIO W, et al. Promotion of plant growth in soils degraded by urban mining through the addition of construction and demolition waste[J]. Journal of Solid Waste Technology and Management, 2019, 45(1): 13-20.
- [13] XIE T, SUN H, ZHOU W. Effects of construction waste on the growth of Potted Chinese Rose[J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 647(1): 12201-12210.
- [14] 朱兆华,叶建军,魏道江,等.建筑垃圾代替砂石配制屋顶绿化基材对比试验研究[J].西北林学院学报,2017,32(4):128-132.
- [15] YOGEV A, RAVIV M, HADAR Y, et al. Induced resistance as a putative component of compost suppressiveness[J]. Biological Control, 2010, 54(1): 46-51.
- [16] 自新桂.数据分析与试验优化设计[M].北京:清华大学出版社,1989:151-179.
- [17] 刘海荣,史滢滢,齐立海,等.不同基质对生物滞留设施性能的影响研究[J].天津农林科技,2022(5):6.
- [18] VIJAYARAGHAVAN K, RAJA F D. Design and development of green roof substrate to improve runoff water quality: Plant growth experiments and adsorption[J]. Water Research, 2014, 63(Oct.15): 94-101.
- [19] 杨忠赞.有机肥替代氮肥对黑土理化性状及玉米产量的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [20] 姜隽.疏水性有机物在生物富集中对有机物的吸附[J].山西科技,2016,31(6):62-65.

作者简介:

王佳/1987年生/女/湖南邵阳人/硕士/高级工程师/岭南生态文旅股份有限公司(东莞523125)/研究方向为植物资源与环境开发、立体绿化新技术开发与应用

武琳苑/1997年生/女/湖南郴州人/硕士/岭南生态文旅股份有限公司(东莞523125),华南农业大学园艺学院(广州510642)/专业方向为农作物生理研究

(*通信作者)赵秀芳/1980年生/女/吉林公主岭人/博士/岭南生态文旅股份有限公司(东莞523125)/教授级高级工程师/研究方向为生态修复与水土资源高效利用研究/E-mail: 450899459@qq.com

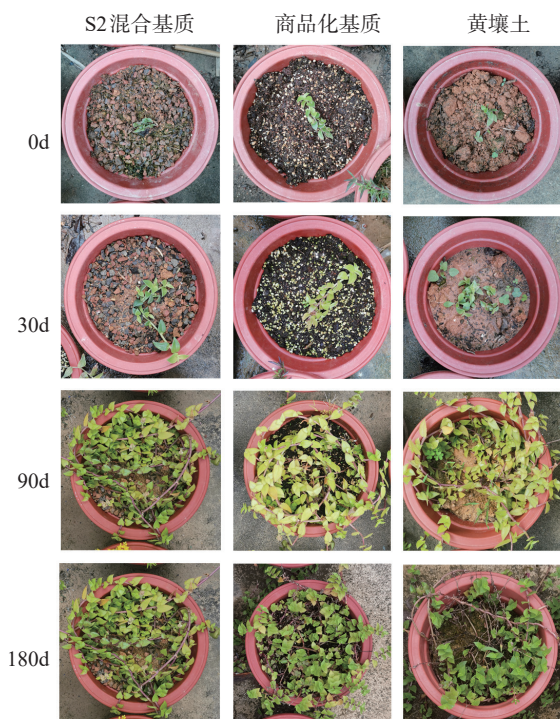


图2 锦竹草在不同基质上的生长表现

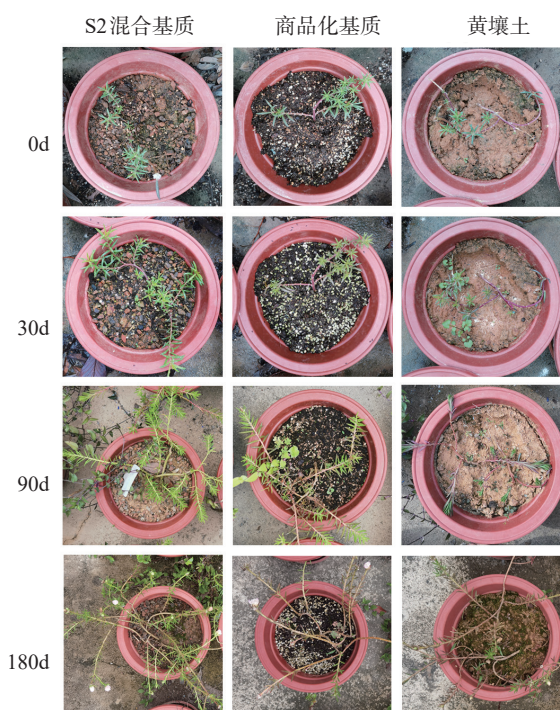


图3 大花马齿苋在不同基质上的生长表现