



文章栏目：固体废物处理与资源化

DOI 10.12030/j.cjee.202112209 中图分类号 X72 文献标识码 A

刘梦欣, 李素艳, 孙向阳, 等. 园林废弃物堆肥用于屋顶绿化轻型基质的配方筛选[J]. 环境工程学报, 2022, 16(7): 2374-2380. [LIU Mengxin, LI Suyan, SUN Xiangyang, et al. Screening of light substrate formulations of garden waste compost for roof greening[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(7): 2374-2380.]

## 园林废弃物堆肥用于屋顶绿化轻型基质的配方筛选

刘梦欣, 李素艳<sup>✉</sup>, 孙向阳, 郝惠蓉, 李逸楠, 谭其言, 王颖, 李国栋

北京林业大学林学院, 森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083

**摘要** 针对用于屋顶绿化基质的泥炭存在资源不足的问题, 以园林废弃物堆肥、泥炭和珍珠岩配制 9 组混合基质, 以马蔺为供试植物, 通过基质筛选和屋顶绿化模拟栽培实验研究园林废弃物堆肥替代泥炭用于屋顶绿化轻型基质的效果。结果表明, 9 组基质干容重为  $0.08\sim 0.11\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、饱和水容重为  $0.46\sim 0.56\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。添加 20% 泥炭的处理组总孔隙度和通气孔隙度较小, 持水孔隙度较大。9 组基质的 pH 和 EC 适宜植物生长。结合隶属度评价结果和北京市《屋顶绿化规范》, 筛选 T3 组 (10% 园林废弃物堆肥+90% 珍珠岩) 和 T6 组 (10% 园林废弃物堆肥+10% 泥炭+80% 珍珠岩) 2 组处理用于屋顶绿化模拟栽培实验。结果表明, 2 组基质全氮、有效磷、速效钾质量分数变化趋势基本一致, T6 组中 10% 园林废弃物堆肥和 10% 泥炭的混合加入提升了基质全氮和有机质质量分数, 但抑制了基质有效磷和速效钾的释放。2 组处理中的马蔺均生长良好, T3 组 ( $1.475\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) 马蔺叶绿素质量分数比 T6 组 ( $1.154\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) 处理提升了 27.82%, 而 T6 组基质促进了株高增长、地上部和地下部生物量积累。主成分综合评价得分为 T3 组>T6 组, 即 10% 园林废弃物堆肥与 90% 珍珠岩混合配制的基质得分最高, 能够替代泥炭用于屋顶绿化中。本研究结果可为园林废弃物堆肥用作屋顶绿化轻型基质提供参考。

**关键词** 园林废弃物堆肥; 屋顶绿化; 轻型基质; 马蔺

屋顶绿化指在各类建筑物、构筑物等的顶部以及天台、露台上进行造园, 脱离自然土壤种植植物的一种形式<sup>[1-2]</sup>。屋顶绿化技术的应用对解决城市生态问题、降低“热岛效应”、改善建筑物屋顶构造性能等方面起到重要作用<sup>[3-4]</sup>。基质是屋顶绿化系统中的基础, 应兼备质轻、保水、保肥等特点<sup>[5-6]</sup>。泥炭因含有大量有机质及植物生长所需的养分而常与珍珠岩混合配制基质用于屋顶绿化工程中<sup>[7-8]</sup>。但泥炭属于不可再生资源, 大量开采会导致不可逆转的破坏。

近年来, 寻求泥炭替代基质的研究被广泛开展, 并在屋顶绿化系统中取得了一定成果。黄蓉等<sup>[9]</sup>利用田园土、蛭石和椰糠部分取代泥炭配制出适合兰州市屋顶绿化地被植物的基质。韦文杰等<sup>[10]</sup>提出体积比为 40% 的铝污泥配制简单式屋顶绿化基质的可行性。SOLODAR 等<sup>[11]</sup>研究发现 80% 粉煤灰+20% 堆肥能够适用于干旱地区屋顶绿化系统。NOYA 等<sup>[12]</sup>研究得出适宜大面积屋顶绿化的最佳基质配比为陈化禽粪:木屑=1:1。

随着城市园林绿化面积的扩大, 产生了大量园林废弃物。园林废弃物经堆肥处理后含有大量

收稿日期: 2021-12-29; 录用日期: 2022-06-08

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目 (6202021)

第一作者: 刘梦欣 (1997—), 女, 硕士研究生, liumengxinx@163.com; ✉通信作者: 李素艳 (1968—), 女, 博士, 教授, lisuyan@bjfu.edu.cn

的矿质元素和有机质，可以作为优质的栽培基质，从而实现资源化利用<sup>[13]</sup>。但目前园林废弃物堆肥应用于屋顶绿化轻型基质的研究却相对较少。本研究以园林废弃物堆肥、泥炭和珍珠岩为原料混合配制屋顶绿化轻型基质，并以马蔺为栽培植物进行屋顶绿化模拟实验，探究园林废弃物堆肥替代泥炭用作屋顶绿化轻型基质的栽培效果。本研究可为园林废弃物应用于屋顶绿化基质提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试植物为生长健壮且长势一致的马蔺幼苗，苗龄1 a，由北京市某景观公司提供。供试基质原料包括珍珠岩、园林废弃物堆肥和泥炭。珍珠岩购自于河南某材料厂，基本理化性质：pH为7.76、EC为41.33  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、有效磷2.49  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾67.79  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。园林废弃物堆肥购自于某堆肥厂，基本理化性质：pH为7.38、EC为2 730.00  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、有效磷209.24  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾5 564.27  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。泥炭购自于北京某生态公司，基本理化性质为：pH为6.92、EC为580.00  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ 、有效磷25.30  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾400.00  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 实验方案

基质配制与筛选实验。将园林废弃物堆肥、泥炭和珍珠岩按照一定质量比混合，搅拌均匀后制成轻型基质，配方见表1。测定所配制基质的理化性质并运用隶属度综合评价法，筛选出优质基质进行栽培实验。

植物栽培实验。将筛选出的轻型基质装入种植槽中，考虑到珍珠岩的添加会极大降低混合基质的容重而不利于固定植物根系。因此，本研究中将陶粒均匀铺于种植槽表面，从而有效防止基质扬尘并对植物根系进行了有效固持。将马蔺幼苗移栽至种植槽中，每组基质每槽种植32株。移栽植物后将基质浇透水，随后每30 d浇水1次，每次浇水至种植槽底部排水口出水。实验期间，每30 d除草1次，不施肥处理。在8-12月每30 d采集基质样品，测定在马蔺生长条件下基质全氮、有效磷、速效钾和有机质动态变化。栽植1 a后测定马蔺生长指标。

### 1.3 指标测定

基质理化指标测定。物理指标包括干容重、饱和水容重、总孔隙度、通气孔隙度、持水孔隙度和大小孔隙比，采用环刀法测定<sup>[14]</sup>。pH和EC分别用pH计和电导率仪测定；全氮、有效磷和速效钾分别用开氏法、0.5  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 $\text{NaHCO}_3$ 法和 $\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度法测定<sup>[15]</sup>。

植物指标测定。植物指标包括株高、叶绿素、地上生物量鲜重和干重和地下生物量干重。株高采用卷尺进行测量；叶绿素采用分光光度法测定<sup>[16-17]</sup>；生物量采用称重法测定。

### 1.4 数据统计与分析

采用SPSS 22.0进行差异显著性检验。以特征值大于1为提取原则进行主成分分析。模糊隶属函数综合评价方法<sup>[18]</sup>如式(1)~式(2)所示。

$$X_f = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{f} (X_1 + X_2 + \dots + X_f) \quad (2)$$

表1 基质配方质量分数 %  
Table 1 Mass fraction of substrates for formulations %

实验组别	园林废弃物堆肥	泥炭	珍珠岩
T1	0	0	100
T2	5	0	95
T3	10	0	90
T4	0	10	90
T5	5	10	85
T6	10	10	80
T7	0	20	80
T8	5	20	75
T9	10	20	70

式中： $X$ 表示某一指标测定值； $X_{\min}$ 表示该指标测定的最小值； $X_{\max}$ 表示该指标测定的最大值； $X_f$ 表示第 $f$ 个指标的隶属函数值； $P$ 表示综合评价指数。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同配比基质理化性质分析

基质理化性质见表2。9组基质干容重为0.08~0.11 g·cm<sup>-3</sup>、饱和水容重为0.46~0.56 g·cm<sup>-3</sup>。添加20%泥炭的处理组(T7~T9组)总孔隙度和通气孔隙度较小,持水孔隙度较大,且显著大于添加10%泥炭的处理组(T4~T6组)。基质的固体组成在很大程度上会影响其干容重和孔隙状况<sup>[19]</sup>。珍珠岩内部呈蜂窝状结构,较大的颗粒粒径和松散的存在状态增大了基质的总孔隙度。园林废弃物在堆肥过程中形成疏松多孔的絮状结构<sup>[20]</sup>,能够使基质保持良好的总孔隙度和通气孔隙度。泥炭中含有不同排列组合方式的纤维和腐殖质,碎块化的结构使泥炭的通气孔隙度较低。伴随微生物的分解作用,泥炭中残存的造炭植物残体不断分解细碎,使通气孔隙度减少,能够吸持水分的持水孔隙度占比增加<sup>[21]</sup>。

从表2可知,9组基质pH为5.65~7.76、EC为41.33~315.00 μs·cm<sup>-1</sup>,适宜大多数植物生长。泥炭添加量为0和10%的各处理组间(T1~T3组和T4~T6组)pH和EC差异显著,而添加量为20%的处理组间(T7~T9组)pH和EC没有显著差异。这说明,当基质泥炭添加量达到20%时,园林废弃物堆肥对基质pH和EC没有产生影响。堆肥化过程中,园林废弃物中尿素和蛋白质的降解产生的氨会提高堆肥产品pH,堆肥完成后产生大量小分子有机物和营养元素,因而能够改良基质酸碱性并调节基质EC。当泥炭添加量为20%时,可能是由于泥炭中的腐殖质和团粒结构对基质pH和EC的调节起到了缓冲作用,故导致园林废弃物堆肥对其影响不显著<sup>[22]</sup>。

表2 不同基质理化性质

Table 2 Physical and chemical properties of different substrates

实验组别	干容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	饱和水容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	持水孔隙度/%	大小孔隙比	pH	EC/(μs·cm <sup>-1</sup> )
T1	0.08d	0.51bc	70.70a	28.29ab	42.70a	0.70	7.76a	41.33f
T2	0.08cd	0.46d	62.79bc	23.7abc	38.10b	0.60	7.48ab	205.24d
T3	0.09bc	0.52ab	70.29a	27.56ab	43.36a	0.70	7.44b	282.67ab
T4	0.08bcd	0.46d	66.53ab	28.83a	37.79b	0.80	5.65e	136.00e
T5	0.09bc	0.48cd	67.32ab	29.31a	39.10b	0.80	6.22d	253.75c
T6	0.09bc	0.46d	60.48c	22.84bc	37.64b	0.60	6.87c	315.00a
T7	0.09b	0.53ab	54.53d	10.22d	43.87a	0.20	5.86e	295.00abc
T8	0.11a	0.56a	67.19ab	22.16bc	45.03a	0.50	6.31d	276.00bc
T9	0.10a	0.55a	62.08bc	17.57c	44.39a	0.40	6.29d	281.00abc

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 基质综合评价

9组处理的隶属度得分及综合排序结果见表3。T7、T6、T4和T3处理组得分较高,但T7组通气孔隙度只有10.22%,大小孔隙比为0.2,内部气少水多。因此,基质容易出现通气不良现象,植物无法从基质中获取足够的空气<sup>[23]</sup>。T4组大小孔隙比为0.80,基质通透性强但持水能力差,故需增加灌溉次数,在栽培养护中导致成本加大。北京市《屋顶绿化规范》(DB11/T 281—2015)<sup>[1]</sup>(以下简称《规范》)中给出的基质最佳pH为6.5~8.0。从表2可知,T4组基质pH为5.65,不符合《规范》要求。因此,结合隶属度综合评价结果和《规范》,选择T3和T6处理组进行屋顶绿化模拟栽培实验。

表 3 隶属度得分及综合排序

Table 3 Score and comprehensive ranking of membership function

实验组别	干容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	饱和水容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度/%	通气孔隙度/%	持水孔隙度/%	大小孔隙比	pH	EC/(μs·cm <sup>-1</sup> )	综合得分	综合排名
T1	0.51	0.64	0.53	0.31	0.57	0.33	0.46	0.47	0.479	5
T2	0.30	0.29	0.44	0.61	0.30	0.55	0.49	0.56	0.443	8
T3	0.48	0.60	0.45	0.49	0.64	0.39	0.41	0.43	0.486	4
T4	0.30	0.52	0.63	0.65	0.43	0.62	0.49	0.59	0.529	3
T5	0.55	0.46	0.47	0.37	0.42	0.35	0.38	0.37	0.421	9
T6	0.76	0.48	0.54	0.64	0.38	0.66	0.68	0.34	0.559	2
T7	0.55	0.61	0.56	0.66	0.60	0.52	0.66	0.65	0.600	1
T8	0.36	0.48	0.59	0.55	0.46	0.53	0.37	0.41	0.468	7
T9	0.51	0.46	0.47	0.60	0.47	0.57	0.33	0.41	0.478	6

2.3 基质养分变化规律

马蔺生长过程中基质全氮、有效磷、速效钾和有机质质量分数变化趋势见图 1。T6 组全氮质量分数始终高于 T3 组，且后期供氮水平较为平稳。2 组基质全氮质量分数均呈现出先上升后下降的趋势，9 月达到峰值后逐渐降低。有研究表明，栽培植物与否对基质全氮的影响不明显，基质养分变化主要受本身的生化过程或淋洗、氨挥发、反硝化等作用的影响<sup>[24]</sup>。园林废弃物堆肥和泥炭

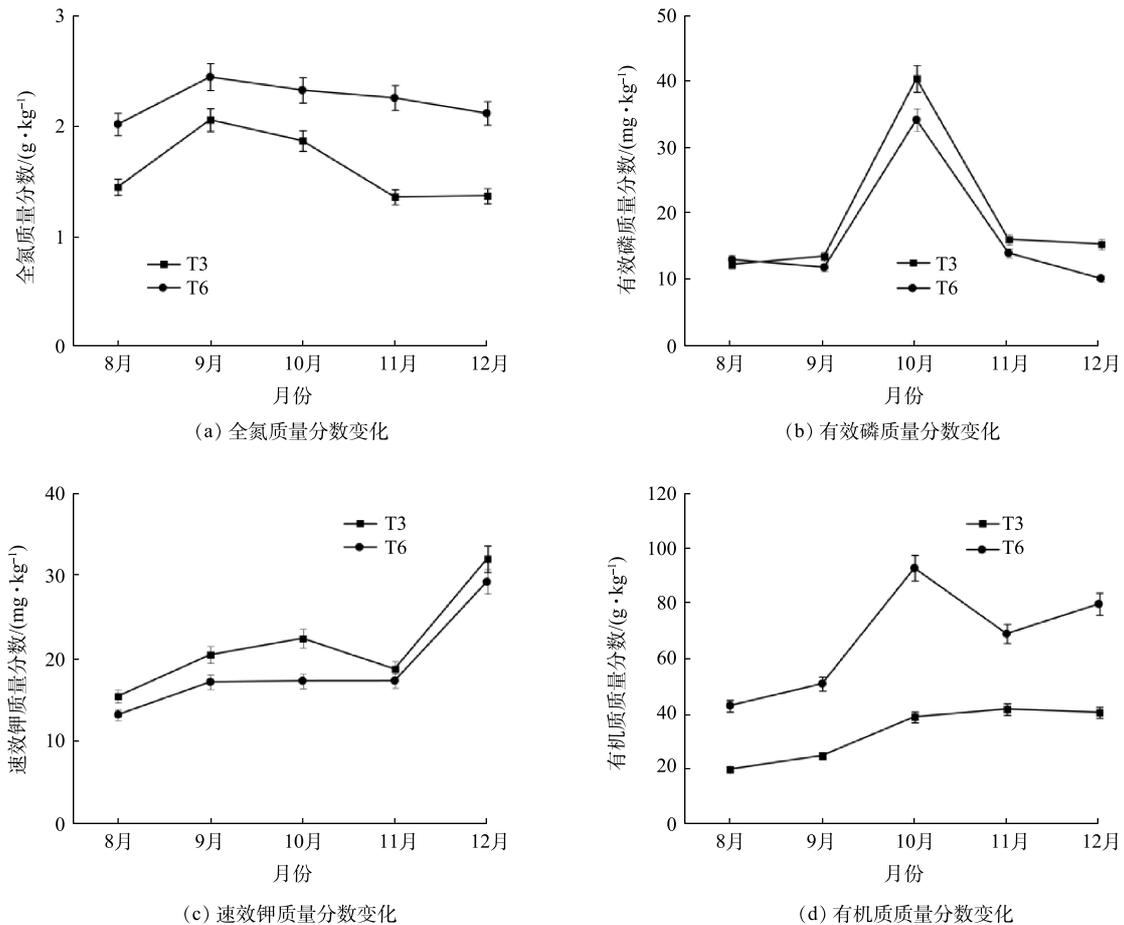


图 1 不同采样时间内基质全氮、有效磷、速效钾和有机质质量分数变化

Fig. 1 Changes of total nitrogen, available phosphorus, available potassium and organic matter contents in substrate in different sampling times

混合添加提高了基质全氮质量分数,泥炭中富含的纤维能够将松散的轻型基质颗粒紧密粘结起来,有利于基质吸附易流失的氮素<sup>[25]</sup>,故T6组氮素流失速率减缓,流失量减小,在后期保持了平稳的供氮能力。

2组基质有效磷质量分数相近且随采样时间的变化趋势一致,10月达到最大值,是初期的2倍多,波动较大。其原因可能是,基质释放磷素的初始速率较高,而植物本身对磷的吸收利用能力相对较差<sup>[26]</sup>。因此,在中期出现了基质磷素的累积上升,后期因季节原因,基质释放有效磷速率降低,从而质量分数逐渐降低。此外,刘帅成等<sup>[27]</sup>指出,基质养分的变化也受酸碱度的影响。本研究中,有效磷的波动也可能是由于pH的变化所导致。T3组速效钾质量分数在采样期间始终略高于T6组,但二者相差不大。在前4次测定中,2组基质速效钾波动平缓,而12月份速效钾质量分数出现急剧上升。这可能是因为,基质中的速效钾以水溶性离子的形式存在,除被植株吸收利用外,秋季降水丰富,气温偏高,导致一部分钾素随降水和挥发而散失;冬季植物对钾素的吸收利用速率降低,降水减少,导致速效钾产生了累积<sup>[28]</sup>。白龙强等<sup>[29]</sup>发现,添加了20%泥炭的基质有效磷略有降低,速效钾没有明显变化,这与本研究结果一致。

2组基质有机质质量分数变化趋势不同,T3组有机质随采样时间呈现缓慢上升趋势,T6组呈现出先上升后下降再上升的波动趋势,但始终高于T3组。这可能是泥炭本身富含的有机质与园林废弃物堆肥中的有机质相互叠加的结果<sup>[21]</sup>。T6组有机质在测定过程中出现较大幅度波动的原因可能是,秋季植物开始出现凋萎枯落,采样时枯落枝叶和马蔺细小根系进入基质,从而造成了有机物的外源添加。

#### 2.4 2组基质对马蔺生长的影响

栽植1a后,2组处理马蔺均生长良好。T3组( $1.475 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )马蔺叶绿素质量分数比T6组( $1.154 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )处理提升了27.82%。T3组马蔺株高生长量为63.80 cm,T6组马蔺株高生长量为65.43 cm,没有显著性差异( $P>0.05$ )。T3组马蔺地上鲜重(32.24 g)显著低于T6组(37.213 g)( $P<0.05$ ),T3组马蔺地上和地下干重同样均显著低于T6组( $P<0.05$ ),地上干重分别为3.87 g和8.07 g,地下干重分别为3.53 g和6.05 g。与T3组相比,T6组不利于马蔺叶绿素质量分数提高,但能够促进株高的增长、地上部生物量和地下部生物量的积累。有研究同样表明<sup>[30]</sup>,园林废弃物堆肥和泥炭混合添加的轻型基质对叶绿素质量分数的提高没有促进作用。生长介质中的磷素水平与马蔺叶绿素积累具有正相关关系<sup>[31]</sup>,T6组中泥炭的添加抑制了基质有效磷的释放,进而对马蔺叶绿素质量分数提升产生了负面影响<sup>[32]</sup>。园林废弃物堆肥和泥炭混合添加影响了基质的孔隙度和通气状况,在过早和过涝条件下,T6组平衡水气的的能力减弱,不能协调植物高温缺水和水分过多产生的不利条件,因此导致叶绿素的合成受到影响<sup>[33]</sup>。而T6组更有利于马蔺株高和生物量的积累。其原因可能是,基质中富含的氮素能够有利于马蔺株高增长和根系的发育,从而促进了地下部生物量的积累。张璐等<sup>[34]</sup>指出,植物地下部生物量和养分的积累有利于地上部生物量的合成。因此,T6组处理的马蔺地上部生物量高于T3组。

#### 2.5 主成分综合评价

本研究以pH、EC、干容重等13个指标进行主成分分析,从而对2组基质进行综合评判。为保证主成分分析的有效性,本研究提取了特征值大于1的3个主成分。由表4可以看出,3个主成分累计方差贡献率达到了94.294%。这表明,提取的3个主成分保留了原始数据的绝大部分信息。第1主成分特征值为7.143,方差贡献率为54.950%,主要以pH、饱和水容重、总孔隙度、持水孔隙度和叶绿素质量分数为主。这说明第1主成分主要是这5个指标的综合反应。第2主成分特征值为3.167,方差贡献率为24.364%,主要以EC和干容重为主。这说明第2主成分主要是这2个指标的综合反应。第3主成分特征值为1.948,方差贡献率为14.981%,主要以株高为主。这说明第3主

表4 主成分分析结果  
Table 4 Results of principal component analysis

主成分	各指标得分系数													特征值	方差贡献率%	累计方差贡献率%
	pH	EC	干容重	饱和水容重	总孔隙度	通气孔隙度	持水孔隙度	大小孔隙比	株高	叶绿素质量分数	地上生物量鲜重	地上生物量干重	地下生物量干重			
1	0.889	0.009	0.473	0.814	0.938	0.635	0.822	0.108	-0.302	0.903	-0.837	-0.965	-0.978	7.143	54.950	54.950
2	-0.270	0.797	0.801	0.579	-0.009	-0.566	0.540	-0.848	0.086	0.003	0.286	0.188	0.162	3.167	24.364	79.313
3	-0.203	0.497	-0.056	0.028	0.327	0.493	0.021	0.463	0.852	0.368	0.456	0.095	0.112	1.948	14.981	94.294

成分主要反映株高信息。

以标准化处理的指标变量主成分载荷除以特征值的平方根, 得到3个主成分中每个指标对应的特征向量。以每个指标的特征向量为权重构建3个主成分的函数表达式并分别计算得分( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ ), 又由于3个主成分的方差贡献率各不相同。因此, 以各自的方差贡献率为权重, 构建的综合表达式如式(3)所示<sup>[35]</sup>。

$$F = \frac{54.950\% \times F_1 + 24.364\% \times F_2 + 14.981\% \times F_3}{94.294\%} \quad (3)$$

根据式(3)得出的主成分得分为 $F_{T_3}(0.487)$ 高于 $F_{T_6}(-0.487)$ 。因此, 最优处理组为T3, 基质配方为: 10% 园林废弃物堆肥+90% 珍珠岩(质量比)。

### 3 结论

1) 根据隶属函数综合评价结果和北京市《屋顶绿化规范》, T3组(10% 园林废弃物堆肥+90% 珍珠岩)和T6组(10% 园林废弃物堆肥+10% 泥炭+80% 珍珠岩)各项理化指标最适宜进行屋顶绿化模拟栽培实验。

2) 2组基质全氮、有效磷、速效钾质量分数变化趋势基本一致, 加入10% 泥炭有利于基质全氮和有机质质量分数提高, 但会抑制有效磷和速效钾的释放。马蔺在2组基质中均生长良好, 10% 园林废弃物堆肥和10% 泥炭混合添加有利于马蔺株高和整体生物量积累, 但不利于马蔺叶绿素质量分数提高。

3) 主成分结果表明, T3组(10% 园林废弃物堆肥+90% 珍珠岩)基质综合评价最佳。即10% 园林废弃物堆肥与90% 珍珠岩混合能够用作屋顶绿化轻型基质, 且不需要添加泥炭, 从而能够解决基质配制过程中泥炭资源不足的问题。

### 参考文献

- [1] 北京市质量技术监督局. 屋顶绿化规范: DB11/T 281-2005[S]. 北京: 北京市园林绿化局, 2005.
- [2] 李树华, 殷丽峰. 世界屋顶花园的历史与分类[J]. 中国园林, 2005(5): 57-61.
- [3] 陈辉, 任珺, 杜忠. 屋顶绿化的功能及国内外发展状况[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(2): 162-165.
- [4] 杨渝兰, 郑星, 刘葆华, 等. 屋顶绿化的功能及应用现状[J]. 节能, 2011, 30(6): 4-6.
- [5] 邓雄, 彭晓春, 覃超梅. 屋顶绿化的功能、特点及其在我国的现状和存在的问题[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(S1): 99-101.
- [6] 吉文丽, 李卫忠, 王诚吉, 等. 屋顶花园发展现状及北方屋顶绿化植物选择与种植设计[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 180-183, 188.
- [7] 孟宪民. 我国泥炭资源概况与园艺种苗基质解决方案[J]. 中国花卉园艺, 2004(22): 14-17.
- [8] 杜林峰, 孙向阳, 沈彦. 泥炭作为园艺基质的研究进展[J]. 北方园艺, 2007(10): 68-70.
- [9] 黄蓉, 吴永华, 张建旗, 等. 兰州市屋顶绿化地被植物种植基质的筛选[J]. 草业科学, 2020, 37(6): 1088-1097.
- [10] 韦杰文, 韩柳, 赵晓红, 等. 给水厂铝污泥作为屋顶绿化基质应用的关键问题分析[J]. 环境工程, 2019, 37(12): 34-40.
- [11] SOLODAR A, BAWAB O, LEVY S, et al. Comparing grey water versus tap water and coal ash versus perlite on growth of two plant species on green roofs[J]. Science of the Total Environment, 2018, 633: 1272-1279.
- [12] NOYA M G, CUQUEL F L, SCHAFFER G, et al. Substrates for cultivating herbaceous perennial plants in extensive green roofs[J]. Ecological Engineering, 2017, 102: 662-669.
- [13] 陈彤, 邱军付, 齐兴育, 等. 园林废弃物基栽培基质的配方筛选及综合

- 评价[J]. 环境工程学报, 2021, 15(4): 1444-1450.
- [14] TIAN Y, SUN X, LI S, et al. Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv *fasciata*[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 143: 15-18.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析第3版[M]. 北京: 中国农业出版社. 2000.
- [16] 刘家尧, 刘新. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 高等教育出版社. 2010.
- [17] 蔡永萍. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社. 2008.
- [18] 肖超群, 郭小平, 刘玲, 等. 绿化废弃物堆肥配制屋顶绿化新型基质的研究[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(3): 598-604.
- [19] 王朴, 金晶, 康凯丽, 等. 园林有机废弃物在花卉栽培中的应用效果[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 155-157+161.
- [20] 田赟. 园林废弃物堆肥化处理及其产品的应用研究[D]. 北京林业大学, 2012.
- [21] 刘永和, 孟宪民, 王忠强. 泥炭资源的基本属性、理化性质和开发利用方向[J]. 干旱区资源与环境, 2003(2): 18-22.
- [22] 龚小强, 孙向阳, 李燕, 等. 组配改良剂对园林废弃物堆肥基质理化性质及鸟巢蕨生长影响[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 126-132.
- [23] 李斗争. 组成成分及颗粒粒径对基质孔隙特性的影响研究[D]. 山东农业大学, 2006.
- [24] 李光义, 余小兰, 徐林, 等. 木薯茎秆栽培基质氮变化规律研究[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(17): 68-71+75.
- [25] 杨梦珂, 郑思俊, 张青萍, 等. 应用于垂直绿化栽培的基质保肥性研究[J]. 河南农业科学, 2017, 46(11): 120-126.
- [26] 吴小盈. 基质配比对3种珍贵树种容器苗生长及养分积累的影响[D]. 浙江农林大学, 2021.
- [27] 刘帅成, 何洪城, 曾琴. 国内外育苗基质研究进展[J]. 北方园艺, 2014(15): 205-208.
- [28] 柴喜荣, 程智慧, 孟焕文, 等. 有机基质栽培番茄氮磷钾养分吸收与基质养分释放规律的研究[J]. 北方园艺, 2011(16): 4-7.
- [29] 白龙强, 李衍素, 贺超兴, 等. 添加草炭对基质栽培番茄生理特性、产量与品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(16): 57-62.
- [30] 倪肖卫, 郭建斌, 殷庆霁, 等. 园林废弃物堆肥用作绿化基质对佛甲草生长的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(4): 103-108.
- [31] 殷庆霁, 郭建斌, 倪肖卫, 等. 不同堆肥对南方屋顶绿化植物生长特性的影响[J]. 环境工程学报, 2017, 11(11): 6205-6213.
- [32] 赵倩雯, 孟军, 陈温福. 生物炭对大白菜幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(12): 2394-2401.
- [33] 张国斌. 低温弱光对辣椒幼苗生长与光合生理特性的影响[D]. 甘肃农业大学, 2005.
- [34] 张璐, 孙向阳, 田赟. 园林废弃物堆肥用于青苹果竹芋栽培研究[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(5): 109-114.
- [35] 周佩华, 高峰, 杨涵童, 等. 以菌渣为主料的人参栽培基质筛选研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2022, 43(1): 118-127.

(责任编辑: 金曙光)

## Screening of light substrate formulations of garden waste compost for roof greening

LIU Mengxin, LI Suyan\*, SUN Xiangyang, HAO Huirong, LI Yinan, TAN Qiyan, WANG Ying, LI Guodong

Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

\*Corresponding author, E-mail: lisuyan@bjfu.edu.cn

**Abstract** In order to solve the problem of insufficient resources of peat in light substrate of roof greening, nine groups of mixed substrates were prepared by using garden waste compost, peat and perlite, and *Iris lactea* Pall was selected as test plant. The effect of garden waste compost replacing peat used in the light substrate of roof greening were by carrying out the substrate screening and roof greening simulation cultivation experiment. The results showed that the dry bulk density of nine treatments was 0.08~0.11 g·cm<sup>-3</sup>, and saturated water bulk density was 0.46~0.56 g·cm<sup>-3</sup>. The treatment with 20% peat had smaller total porosity, aeration porosity, and larger water holding porosity. The pH and EC of nine treatments were all suitable for plant growth. Combined with the comprehensive evaluation results of membership function and the code for roof greening in Beijing, T3 (10% garden waste compost+90% perlite) and T6 (10% garden waste compost+10% peat+80% perlite) were screened for the simulated cultivation experiment of roof greening. The results showed that the dynamic change trends of total nitrogen, available phosphorus and available potassium in the two treatments were basically the same. The mixed addition of 10% garden waste compost and 10% peat of T6 elevated the total nitrogen and organic matter content in the substrate, but restricted the release of available phosphorus and available potassium. The leaf chlorophyll content of *Iris lactea* Pall in T3 (1.475 mg·g<sup>-1</sup>) was 27.82% higher than that in T6 (1.154 mg·g<sup>-1</sup>), but the growth of plant height, the biomass of both aboveground and underground in T6 were promoted. The comprehensive score evaluation showed that T3 gained higher score than T6, that is, the substrate constituted by 10% garden waste compost and 90% perlite had the highest score, which could replace peat for roof greening substrate. This study can provide a scientific reference for the application of garden waste compost as light substrate for roof greening.

**Keywords** garden waste compost; roof greening; light substrates; *Iris lactea* Pall