

屋顶绿化初绿化基材配方研究

叶建军^{1,2}, 余世孝², 刘文利³, 李业学¹

(1. 襄樊学院 建筑工程学院, 湖北 襄樊 441053; 2. 中山大学
生命科学学院, 广东 广州 510275; 3. 电子科技大学 中山学院, 广东 中山 528400)

摘要: 在总结和分析前人研究成果的基础上, 归纳了配制初绿化基材的基本配制原则和要求, 提出了一种适用于夏季有伏旱地区的高细颗粒含量的初绿化基材配方方案, 并研究了基材的配制验证了新型屋顶绿化添加剂对基材的改良效果。研究首先运用盆栽形式, 以壤土(A)、酒糟(B)、陶粒(C)和水泥(D)为4个因素, 各取3个水平; 以狗牙根和黑麦草发芽率为指标, 采取正交试验设计, 探索各因素及因素水平对试验指标的影响并找到最优和最不利配方; 随后选择最不利配方, 验证屋顶绿化添加剂对垂盆草生长、狗牙根和黑麦草发芽和生长的改善情况。结果表明: (1) 影响狗牙根和黑麦草发芽的4个因素重要性次序分别是: D→A→C→B; D→C→A→B, 最佳配比分别是 A₂ B₃ C₁ D₃, A₂ B₂ C₃ D₂。(2) 基材中水泥的用量对狗牙根和黑麦草的发芽率影响显著。对于狗牙根, 基材中水泥—壤土比不宜超过18%; 麦草耐碱性比狗牙根高, 但基材中水泥—壤土比也不宜超过23%。(3) 垂盆草有很好的耐碱性, 能在水泥—壤土比为23%的基材上生长。(4) 屋顶绿化添加剂用于水泥—壤土比为23%的最不利配方 A₃ B₃ C₂ D₁ 中, 能显著降低基材碱性, 显著提高两种盆栽草的发芽率, 显著促进垂盆草的生长。

关键词: 初绿化; 基材; 配方; 水泥; 盆栽; 屋顶绿化添加剂

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)04-0157-06

中图分类号: TU986

Substrate Mixing for an Extensive Green Roofs

YE Jian-jun^{1,2}, YU Shi-xiao², LIU Wen-li³, LI Ye-xue¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Xiangfan University, Xiangfan, Hubei 441053, China;
2. School of Life Science, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangzhou 510275, China;
3. Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: Through the summarizing and analysis of the previous researches, we put forward the principles and requirements in designing substrate for extensive green roofs, present a new type of substrate mixture which has higher content of fine particle matter and suits for the regions with the climate of summer drought, and investigate how to design the substrate mixture and check the application effect of our newly-invented additive for the green roofs. We firstly design orthogonal experiments with clay (A), distillers' grains (B), expanded clay (C), and cement (D) as the 4 factors (3 levels for each factor), and treat germination rates of Bermuda grass and Ryegrass as dependent variables to find out how the factors and levels influences germination rates of Bermuda grass and Ryegrass by pot culture experiments. Then, we compare the germination rates and growths of Bermuda grass and Ryegrass and growth of Stringy Stonecrop Herb between the most adverse substrate mixture and the substrate mixture added with additive for the green roofs. Results show that: (1) by the significance influencing the germination rates of Bermuda grass and Ryegrass, the orders of the factors are D→A→C→B and D→C→A→B, respectively, and the best substrate mixtures for the two grasses are A₂ B₃ C₁ D₃ and A₂ B₂ C₃ D₂, respectively. (2) The content of cement in substrate mixture influences significantly the germination rates of Bermuda grass and Ryegrass and the cement-clay ratio should not exceed 18% for the germination of Bermuda grass and 23% for Ryegrass. (3) Stringy Stonecrop Herb indicates good alkali endurance and can survive in substrate mixture with 23% cement-clay ratio. (4) When our newly-invented

收稿日期: 2010-04-08

修回日期: 2010-04-26

资助项目: 国家自然科学基金项目“多条节理构形及其对应力波传播规律的影响研究”(50974091); 国家科技攻关项目(2006BAC10B04); 湖北省教育厅杰出青年项目(Q20082501)

作者简介: 叶建军(1974—), 男(汉族), 湖北省英山县人, 硕士, 博士研究生, 讲师, 研究方向为边坡生态防护, 屋顶绿化。E-mail: yjjyc@126.com。

additive for the green roofs is added into the most adverse substrate mixture of A₃ B₃ C₂ D₁ with 23% cement-clay ratio, the pH value of the A₃ B₃ C₂ D₁ drops significantly. The pot cultured Bermuda grass and Ryegrass with this improved substrate gain much better germination rate and the pot cultured Stringy Stonecrop Herb grows much higher.

Keywords: extensive green roofs; substrate; substrate mixing; cement; pot culture; additive for green roofs

初绿化形式(extensive green roofs),也有人翻译为简单屋顶绿化形式或拓展型屋顶绿化,是近年来在德国兴起和发展起来的屋顶绿化技术^[1],由于栽种以景天科为主的多浆植物^[2],具有载荷轻(小于 150 kg/m²),不用对下部结构进行加固处理(特别是对上人屋面)、后期管理少、成本低的优点,已经成为欧洲屋顶绿化的主要形式。可以预见,在我国,初绿化也将成为屋顶绿化的主流^[3]。

初绿化形式的结构一般分为防水层、泄水层、过滤层、种植层和植被层或者防水层、过滤层、种植层和植被层^[4]。泄水层一般使用颗粒较大、空隙率大的材料如陶粒、碎石等,起到排泄多余积水的作用;过滤层一般使用天然或人工合成材料制作的织物,作用是截留种植层中的细颗粒材料,防止土壤流失^[5];种植层是支持植物生长并与气候等因素直接接触的层次,在屋顶绿化各层中,处于最重要的地位,其材料组成和结构形式是区别屋顶绿化不同形式的关键,从结构上分类,一般有 3 类:基材形式,也称工程土壤形式(engineering soil)、基材种植板(块)形式(substrate board);植被毯+基材形式(vegetation matting+substrate)^[6];工程土壤形式(engineering soil)由于可用材料众多,价格便宜,使用灵活,是应用最广泛的。本研究在总结前人的研究成果的基础上,归纳出配制初绿化基材的基本配制原则和要求,并在这些原则的指导下,采用盆栽试验方法,配制了一种新的初绿化基材。

1 初绿化基材——工程土壤的配制原则和要求

综合国内外有关初绿化基材的配制的文献^[1, 5, 7],特别是德国 FLL(2008 英文版)的总结^[8],笔者对初绿化基材配制的基本原则和要求进行归纳。

1.1 经济性原则

要求基材的组成材料廉价、易获得;绿化施工技

术易操作,造价低;绿化维护费用低;不因屋顶绿化而需要对结构加固处理——要求组成材料轻质。相对于常规屋顶,屋顶绿化费用不能高出太多。出于经济性考虑,初绿化工程土壤应尽量使用当地材料,并努力实现废物循环利用^[9]。

1.2 持久性原则

这是一个相对的概念,是相对于防水材料的寿命而言的。屋顶绿化应在在防水材料的寿命期限内,不明显衰退,基材不因水土流失、风化、矿化或腐烂而发生大量减少乃至消失。这就要求屋顶绿化基材应以性质稳定的无机材料为主,含有的易腐烂的有机质不能太多,FLL(2008 版)建议不要超过 65 g/L^[8]。Beattie 等建议有机质含量在 10%~25%(体积比)^[10]。

1.3 环保性原则

基材组成材料应无毒、环保,符合相关环保标准;绿化施工技术不应对环境造成不可接受的危害;屋面径流应符合国家地表水质要求;屋面不应有扬尘和土壤流失等污染。这就要求屋顶绿化应该使用缓释肥^[11],且容易污染屋面径流的有机质含量不能太多;易于造成土壤移动、流失和扬尘的细颗粒土不能太多,FLL(2008 版)建议基材中壤土不要超过 15%(体积比)^[8],Beattie 等(2004)建议基材中有机质含量在 10%~25%之间^[10]。

1.4 适合屋顶绿化植物生长

基材的含水量、pH 值、含盐量、养分含量、三相比等指标要符合屋顶绿化植物生长需要。基材有利于植物抗旱和扎根固定。为持续供应养料和减少屋面径流污染,屋顶绿化施肥应选择缓释肥^[11]。FLL(2008 版)建议初绿化基材指标^[8]如表 1 所示。

1.5 满足其它功能要求

屋顶绿化基材作为一种人造的工程土壤,往往需要完成一些其它的功能,如吸收、截留部分或全部屋面径流,减轻城市内涝^[12];以及吸收径流中污染物,净化屋面径流的功能等^[13]。

表 1 FLL(2008 版)建议初绿化基材指标

体积最大含水率/%	pH 值	含盐量/(g·L ⁻¹)	N/(mg·L ⁻¹)	P ₂ O ₅ /(mg·L ⁻¹)	K ₂ O/(mg·L ⁻¹)	最大含水时空气含量/%
35~65	6.0~8.5	≤3.5	≤80	≤50	≤500	≥10

这些要求很多时候可以同时兼顾。譬如,要完成吸收和截留部分或全部屋面径流的功能,就要求屋顶绿化基材多孔,渗透性适中,这与植物生长要求的三相比可以兼顾。但更多时候几个要求之间是矛盾的,此时,需要在相互矛盾的要求中寻求折中。比如,细颗粒材料(一般是壤土)的含量就是这样,从植物抗旱和营养保持考虑,含量应该多一些好;可如果考虑基材密度、基材渗透性、水土流失控制等,其含量应该越少越好。折中考虑,就有了上述 FLL(2008)建议值。上述有机物含量也是在植物生长需要、屋面环境保护和基材持久性要求的折中。正是考虑这些居多因素,屋顶绿化基材的组成一般为无机轻质粗颗粒材料、经腐烂除臭的有机质、细颗粒材料(一般为壤土)和缓释肥组成^[4],它们以适当比例组成,能基本兼顾上面的要求。

2 已有的可用作初绿化基材的技术方案及分析

已经公开的发明和其它技术资料提供了几种可用于初绿化基材的技术方案。(1)以无土轻质矿物材料为主要成分,添加肥料、保水剂等的技术方案(如发明“绿化用无机栽培基质”,申请号:200410072723.9)^[14];(2)以农田或耕地表土为主要成分,添加肥料等的技术方案(如发明“一种绿化防漏节能屋面的建构方法”,申请号:96100525.4)^[15];(3)以有机质为主要成分,添加长效肥料、保水剂等的技术方案(如发明“一种屋顶绿化基体材料及其制备方法”,专利号:200610019301.4)^[16];(4)以固体废弃物为主要成分,添加长效肥等技术方案,如“屋顶绿化系统及绿化方法”,申请号:200910063086.1)^[17]。殷丽峰等 2006 年在《屋顶绿化基质的选择及绿化种植模式的建立》一文中给出草炭、有机肥料(微生物肥料+蛭石)、珍珠岩、沙等 4 种材料作为人工轻质材料的原料,但是没有给出具体配方^[18]。上述专利的具体配方详见参考文献 [3]。

运用前述初绿化基材——工程土壤的配制原则和要求,就会发现上述技术方案存在一些问题。如中国科学院华南植物研究所的“屋顶绿化长效轻型基质配方”使用泥炭土和黄壤土太多,绿化层密度会较大,不能满足轻质的要求,也不利于土壤保持和屋面环境保护。

另外,泥炭土是北方草原经过多年才形成的腐植质沉积物,开采使用会破坏当地的生态。而且,将泥炭土从遥远的北方运往南方,是不经济的;王俊维申请的专利“绿化用无机栽培基质”的配方属完全无土

栽培配方,材料是轻质的,由于没有添加任何细颗粒材料作为粘结材料和保水保肥材料,绿化层是松散和漏肥漏水的,不利于植物的防风固定和抗旱保肥;武汉理工大学 2006 年申请的专利“一种屋顶绿化基体材料及其制备方法”主要构成材料是有机物。这在屋顶上是不适合的,因为有机物的快速变质腐烂会污染屋面径流,进而污染城市水体。并且随着材料的分解和水流侵蚀,绿化层将很快消失分解,屋顶绿化也随之退化消失,不具有持久性;殷丽峰在《屋顶绿化基质的选择及绿化种植模式的建立》一文中给出的配方同样存在松散、整体性差的问题,草炭(泥炭土的另一称呼)的使用也是不环保和不经济的。

通过文献分析发现,国内科技文献还没有报道符合前述初绿化基材——工程土壤的配制原则和要求的技术方案。

3 材料与方法

本研究按照前述的配置原则和要求,采用有代表性植物,用盆栽的形式配制一种适合中部地区气候条件的基材。考虑到中部地区夏天有连续伏旱数 10 d 的天气,需要提高基材的保水性,决定适当提高细颗粒——壤土的含量。为了使壤土能固化,不移动和流失,适量加入少量水泥,加入水泥的想法借鉴了植被混凝土护坡绿化技术^[19]。为降低含水泥的基材 pH 值和提高基材生物活性,新发明了一种屋顶绿化添加剂,本研究同时验证屋顶绿化添加剂的使用效果。

3.1 试验材料

陶粒、壤土、酒糟、水泥、缓释肥及少量屋顶绿化添加剂,黑麦草(*Lolium perenne* Linn.)和狗牙根 [*Cynodon dactylon* (Linn.) Pers.]植物种子和垂盆草(*Sedum sarmentosum* Bunge)植物。试验用壤土取自襄樊学院校门外的田野,壤土的基本理化性质见表 2。

研究用水泥为襄樊华新水泥有限公司生产的 32.5 普通硅酸盐水泥。研究所用酒糟来自于襄樊三九酿造厂,酒糟经过充分腐烂、晾晒处理,没有臭味。酒糟含水率为 10%。试验选取圆球型膨胀黏土陶粒,其基本技术指标如表 3 所示。

表 2 试验用壤土指标

液限/%	干容重/ (g · cm ⁻³)	有机质/ %	黏粒含量/ %	pH 值
86	1.8	1.5	64.59	7.3

注:用锥式液限测试仪测定液限,容重、pH 值按照土壤检测标准 NY/T 1121.4-2006 测定。

表 3 试验用陶粒技术指标

类型	堆积密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	粒径/mm	常压 24 h 吸水率/%	筒压强度/MPa	软化系数
膨胀黏土陶粒	450	3~25	25	0.5	0.7

注:检测在襄樊学院建筑工程学院建材实验室进行,检测遵照《轻集料试验方法》国标(GB2842-81)测定。

3.1.5 屋顶绿化添加剂 本研究使用专门为屋顶绿化研制的添加剂,功能是调节含水泥的基材 pH 值和增加基材的生物活性。

3.1.6 植物 选择狗牙根和黑麦草主要是考虑这两种草分布广泛,黑麦草代表冷季型草类,狗牙根代表暖季型草类;而垂盆草代表了景天科植物,被广泛用在屋顶绿化中^[20]。

3.2 试验方法

为了得到植物所需的最佳配比,于 2009 年 4 月 12 号(气温 $12\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$)在襄樊学院 2 号楼楼顶进行了黑麦草和狗牙根二种植物的试验,基材配制所用方法为:以陶粒,壤土,酒糟,水泥为因素,每因素取 3 个水平(表 4),做无交互作用的正交试验 $L_9 3^4$ 。基材装入盆口直径 15 cm,盆底直径 12 cm,高 20 cm 塑料花盆,每配比装花盆 9 个(即每配方重复 9 次),在基材上表面距离盆口 5 cm 时,分别撒上黑麦草和狗牙根种子 100 粒,再在其上覆盖 1 cm 基材。种后,每天喷水湿润一次(各盆用水量一致),4 月 22 号记录每盆发芽种子的数目。

随后,为了验证选取的配方是否适合景天科植物生长,以及验证屋顶绿化添加剂是否能促进植物的发芽和生长,取最不利于狗牙根和黑麦草发芽的配方、和该配方+少量屋顶绿化添加剂,分别栽种垂盆草、播种狗牙根和黑麦草,方法同上。4 月 23 号用两种配方分别栽种 6 盆垂盆草,每盆栽种 3 株,栽种时修剪枝蔓,高度 3 cm。播种狗牙根和黑麦草各 9 盆,5 月 3 号计算其发芽率。10 月 13 号测量增长高度。

表 4 数据统计因素及水平 L

水平	A 壤土	B 酒糟	C 陶粒	D 水泥
1	2.4	1.08	6.0	0.36
2	2.0	0.72	5.0	0.18
3	1.6	0.36	4.0	0

3.3 数据处理

试验数据用 SPSS 12.0 处理,包括极差分析,均值比较(使用配对样本 T 检验法),且检验前进行方差齐次性检验。

4 试验结果

4.1 正交试验两种植物发芽情况

从表 5 可以看出,狗牙根的发芽率明显低于黑麦草

的发芽率(所有配方中,配方 4 的 $t_4 = t_{\min} = 9.6$, $P_4 = 0.000 < 0.05$);在水泥用量较大时,狗牙根的发芽率随水泥用量增加而下降很快,黑麦草的发芽率也下降很快。

对于狗牙根,影响其发芽的 4 个因素重要顺序是:主 D→A→C→B 次;只考虑发芽率,最佳配比是 $A_2 B_3 C_1 D_3$ 。对于黑麦草,影响其发芽的 4 个因素重要顺序是:主 D→C→A→B 次。只考虑发芽率,最佳配比是 $A_2 B_2 C_3 D_2$;两种草的最不利配方是配方 9 ($A_3 B_3 C_2 D_1$)。

从配 1、配 2、配 3、配 4 以及配 7、配 8、配 9 可以看出,狗牙根的发芽率与水泥一壤土比呈负相关,即单位壤土中水泥的含量越高,狗牙根发芽率越低。但是,从全部配比看,狗牙根的发芽率与水泥一壤土比的相关关系不明显(图 1),说明其它两个因素与水泥一壤土比有相互作用。

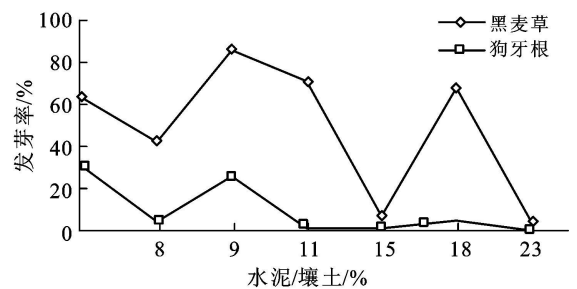


图 1 水泥一壤土比与狗牙根和黑麦草发芽率的关系

从配 1、配 2、配 3 以及配 7、配 8、配 9 可以看出,黑麦草的发芽率与水泥一壤土比呈负相关关系,即单位壤土中水泥的含量越高,黑麦草发芽率越低。但是,从其它配比和全部配比看,黑麦草的发芽率与水泥一壤土比的相关关系不明显(图 1),说明其它两个因素与水泥一壤土比有相互作用。

4.2 3 种植物在最不利配方和最不利配方+屋顶绿化添加剂下的发芽和生长情况

试验用最不利为配方为 9 ($A_3 B_3 C_2 D_1$),试验结果见图 2—3。9 盆配方 9 的狗牙根发芽率为 0,黑麦草为 6%,6 个月平均增高 6.5 cm;而 9 盆配方 9+屋顶绿化添加剂狗牙根平均发芽率为 42%,6 个月平均增高 28.5 cm;黑麦草为发芽率 70%,6 个月平均增高 34.7 cm。狗牙根和黑麦草在配方 9 和配方 9+屋顶绿化添加剂下发芽率差异显著 ($t_{黑} = 67$, $P = 0.000 < 0.05$);6 个月后它们的增长在两种配方下也差异显著 ($t_{黑} = 18$, $P = 0.000 < 0.05$)。

表5 试验结果记录

编号	A	B	C	D	狗牙根发芽数量(平均值)	黑麦草发芽数量(平均值)
配方1	1	1	1	1	1	7
配方2	1	2	2	2	4	42
配方3	1	3	3	3	28	53
配方4	2	1	2	3	30	43
配方5	2	2	3	1	5	68
配方6	2	3	1	2	26	86
配方7	3	1	3	2	1	71
配方8	3	2	1	3	34	93
配方9	3	3	2	1	0	4

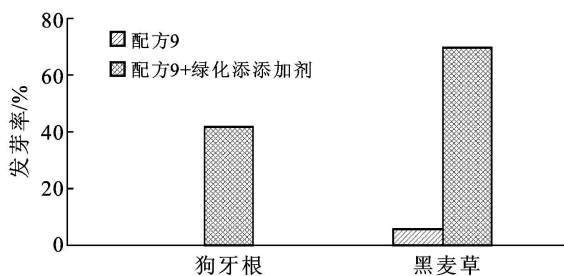


图2 两种植物在两种配方下的发芽率

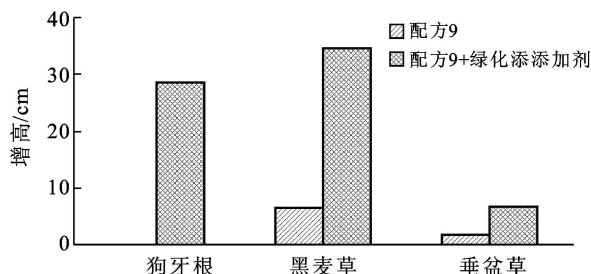


图3 三种植物在两种配方下的生长情况

经过6个月的生长,6盆配方9的垂盆草全部存活,平均增高1.7cm,而6盆配方9+屋顶绿化添加剂的垂盆草也全部存活,平均增高6.8cm;增高差异显著($t=5.6, P=0.031 < 0.05$)

4.3 几种特征配方基材理化指标

选取最有利于两种草发芽的配方 A₂ B₃ C₁ D₃, A₂ B₂ C₃ D₂ 和最不利于两种草发芽的配方 A₃ B₃ C₂ D₁, 以及最不利配方 A₃ B₃ C₂ D₁+屋顶绿化添加剂的配方,测试表6指标。

表6 几种配方的理化指标

配方	体积有效含水率/%	干容重/(g·cm ⁻³)	pH值	N/(mg·L ⁻¹)	P ₂ O ₅ /(mg·L ⁻¹)	K ₂ O/(mg·L ⁻¹)	最大含水时空气含量/%
A ₂ B ₃ C ₁ D ₃	38	0.89	7.2	70	43	426	15
A ₂ B ₂ C ₃ D ₂	39	0.92	8.2	73	45	439	14
A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	34	0.87	10.5	65	40	406	16
A ₃ B ₃ C ₂ D ₁ +屋顶绿化添加剂	34.5	0.87	8.5	67	45	488	16

注: 含盐量、容重、pH值按照标准 NY/T 1121.4-2006 测定, 土壤水分按照标准 NY/T 52-1987 测定。

5 分析与讨论

影响两种植物发芽最主要的因素是水泥, 水泥在基材里存在, 可以引起壤土 pH 值升高(经检测, 水泥: 壤土=8%时, pH 值已经达到 9.7), 壤土板结。这两个因素对植物生长不利。如前所述, 水泥的好处是可以固结细颗粒的壤土, 防止壤土移动和流失, 从而提高基材的营养含量、保水保肥和缓冲性能。因此, 水泥的用量应该是在保证植物发芽率(水泥用量越低越好)与保证水泥流失(水泥用量越高越好)之间的平衡。从两种植物发芽率看, 对于耐受碱度与狗牙根相近的植物, 基材中水泥一壤土比不宜超过 18%; 黑麦草耐碱性比狗牙根高, 但是, 水泥一壤土比也不宜超过 23%。

本试验虽然选取了水泥含量最高的配比栽种了景天植物垂盆草, 从试验结果看, 垂盆草的耐碱性能良好。由于国外研究工作已经证明^[9], 景天科植物在

类似本研究中的无水泥配方中, 生长良好, 所以, 至少可以断定, 垂盆草有很强的基材适应性, 能在高水泥一壤土比的基材上栽种和生长, 但其它种类的景天科植物的耐碱性如何, 还需进一步研究。同样, 对于景天植物的种子在碱性基材上的发芽试验, 也有待进一步研究; 另外, 没有研究水泥用量与基材抗蚀性的关系, 这在以后研究中需要考虑。

本研究提供的配方含有细颗粒材料比国外提供的 15% 参考含量高^[8], 本研究细颗粒材料含量在 19%~35%, 从表 6 可以看出, 基材中细颗粒材料越高, 有效含水量越高。有利于植物的抗旱。但是, 本研究没有考虑细颗粒材料对基材的渗透性的影响, 需要后继研究探明规律。

试验中所有配方中狗牙根的发芽率明显低于黑麦草发芽率, 可能的解释是黑麦草抗碱性比狗牙根强, 但是由于狗牙根是暖季型植物, 而播种时温度只有 12℃~28℃, 影响了狗牙根的发芽率, 而且狗牙

根种子比黑麦草小很多,跟基材接触不如黑麦草好,影响种子的吸涨和发芽。究竟哪种因素是主要的,需要进一步研究。

本研究表明屋顶绿化添加剂用在高水泥—壤土比(23%)的基材中,能显著降低基材碱性,显著提高两种草的发芽率,显著促进垂盆草的生长。但研究只用了一种水泥—壤土比的基材配方,要探明屋顶绿化添加剂的在不同水泥—壤土比的基材中的合适添加量,以及可用的最高水泥—壤土比,还需进一步研究。

6 结论

(1) 配制的含水泥土19%~35%的初绿化基材能让狗牙根和黑麦草发芽有一定发芽率。对于狗牙根,基材中影响其发芽的4个因素重要顺序是:主D(水泥)→A(壤土)→C(陶粒)→B(酒糟)次;最佳配比是A₂B₃C₁D₃。对于黑麦草,影响其发芽的4个因素重要顺序是:主D→C→A→B次,最佳配比是A₂B₂C₃D₂。

(2) 基材中水泥的用量对狗牙根和黑麦草的发芽率影响显著。对于狗牙根,基材中水泥—壤土比不宜超过18%;麦草耐碱性比狗牙根高,但是,基材中水泥—壤土比也不宜超过23%。

(3) 垂盆草有很好的耐碱性,能在水泥—壤土比为23%的基材上生长。

(4) 屋顶绿化添加剂用于水泥—壤土比为23%的最不利配方A₃B₃C₂D₁中,可显著降低基材碱性,从而极大提高两种草的发芽率,促进垂盆草的生长。

[参 考 文 献]

- [1] 瓦尔特·科尔布(德),塔西洛·施瓦茨(德). 屋顶绿化[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 叶瑞兴. 浅谈城市屋顶绿化的植物配置与设计[J]. 福建林业科技, 2007, 34(1): 220-223.
- [3] 叶建军, 余世孝, 郭声波, 等. 已有建筑屋顶绿化的探讨[J]. 襄樊学院学报, 2009, 30(2): 65-68.
- [4] 维尔弗雷德·舒马赫. 绿色种植屋面在德国[J]. 中国建筑防水, 2005(8): 23-25.
- [5] Pledge E. Green roofs, ecological design & construction[M]. Atglen, Schiffer books, 2005.
- [6] Molineux J C, Fentiman H C, Gange C A. Characterising alternative recycled waste materials for use as green roof growing media in the U. K. [J]. Ecological Engineering, 2009, 35(10): 1507-1513.
- [7] Snodgrass E C, Snodgrass L L. Green roof plants: A resource and planting guide[M]. USA: Timber Press, 2006.
- [8] FLL. Duidelines for the planning, construction and maintenance of green roofing(English version)[M]. Germany Troisdorf: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., 2008.
- [9] 叶建军, 鄢朝勇, 郭声波. 利用固体废弃物进行屋顶绿化的探讨[C] // 海口: 中国硅酸盐学会年会“固体废弃物在城镇房屋建筑材料的应用研究”, 房建材料分会, 2006.
- [10] Beattie D, Berghage R. Green roof media characteristics; the basics[C] // Portland Toronto: Greening rooftops for sustainable commuties, North American green roof conf., 2004.
- [11] Emilsson T, Berndtsson J C, Mattsson J E. Effect of using conventional and controlled release fertiliser on nutrient runoff from various vegetated roof systems [J]. Ecological Engineering, 2007, 29(3): 260-271.
- [12] VanWoert N D, Rowe D B, Andresen J A, et al. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth[J]. J. Environ. Qual., 2005, 34(3): 1036-1044.
- [13] 万静. 屋顶绿化新技术与城市雨水利用[J]. 技术与市场: 园林工程, 2005(7): 22-25.
- [14] 王俊维. 绿化用无机栽培基质: 中国, 200410072723. 9 [P]. 2005-05-11.
- [15] 吴永良. 一种绿化防漏节能屋面的建构方法: 中国, 96100525. 4 [P]. 1996-10-30.
- [16] 武汉理工大学. 一种屋顶绿化基材材料及其制备方法: 中国, 200610019301. 4 [P]. 2006-11-15.
- [17] 叶建军, 许文年, 余世孝. 屋顶绿化系统及绿化方法: 中国, 200910063086. 1 [P]. 2009-07-08.
- [18] 殷丽峰, 李树华. 屋顶绿化基质的选择及绿化种植模式的建立[J]. 风景园林, 2006(4): 46-49.
- [19] 许文年, 叶建军, 周明涛, 等. 植被混凝土护坡绿化技术若干问题探讨[J]. 水利水电技术, 2004, 35(10): 50-52.
- [20] 周伟伟, 王雁, 杜静中. 干旱胁迫对景天属植物生理生化特性的影响[J]. 林业科学研究, 2009(6): 829-834.